МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ XVII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

18–22 апреля 2011 г.

В трех томах

Том 1

Томск 2011

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической
С56 конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 581 с.

Сборник содержит статьи, разделенные по секциям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения; материаловедение; информатика и управление в технических системах; физические методы в науке и технике; контроль и управление качеством; теплоэнергетика; дизайн и технология обработки материалов; наноматериалы, нанотехнологии и новая энергетика; круглый стол «философия техники»; круглый стол «проблемы организации научно-технического творчества молодежи».

Представляет интерес для специалистов, исследователей в сфере материаловедения, машино- и приборостроения, энергетики, контроля и управления качеством, а также по проблемам НИРС в вузах.

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Материалы предоставлены в авторской редакции

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2011
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2011

СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Чубик П.С.	д.т.н., профессор, ректор ТПУ, председатель оргкомитета
2. Власов В. А.	д.ф.-м.н., профессор, проректор по НРиИ, сопредседатель оргкомитета
3. Шепотенко Н.А.	к.ф-м.н., начальник УМАД НУ
4. Зольникова Л. М.	начальник отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь
5. Негруль В.В.	к.ф.-м.н., начальник отдела ЦТТ НУ
6. Сидорова О.В.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
7. Кайрова Н.Н.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
8. Сивков А.А.	д.т.н., профессор кафедры ЭПП ЭНИН, председатель секции №1
9. Хрущев Ю.В.	д.т.н., профессор кафедры ЭСС ЭНИН, сопредседатель секции № 1
10. Колчанова В. А.	к.т.н., доцент кафедры ТОЭ ЭНИН, сопредседатель секции № 1
11. Силушкин С.В.	ст.преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции №2
12. Темник А. К.	к.т.н., зав. отделом ИНК, сопредседатель секции №2
13. Губарев В.А.	к.ф.-м.н., доцент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 2
14. Мойзес Б. Б.	к.т.н., доцент кафедры АРМ ИК, председатель секции №3
15. Ефременков Е.А.	к.т.н., доцент кафедры ТАМП ИК, сопредседатель секции №3
16. Соколов А. П.	к.т.н., доцент кафедры ТПМ ИПР, сопредседатель секции №3
17. Муравлев О. П.	д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции №4
18. Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент, зав. каф. ЭПЭО ЭНИН, сопредседатель секции №4
19. Усачева Т.В.	к.т.н., доцент кафедры ЭМКМ ЭНИН, сопредседатель секции № 4
20. Евтушенко Г.С.	д.т.н., профессор, зам. директора ИНК , председатель секции №5
21. Пеккер Я. С.	к.т.н., профессор, зав. каф. БМК СибГМУ, сопредседатель секции 5
22. Аристов А.А.	к.т.н., доцент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 5
23. Киселева Е.Ю.	к.т.н., ассистент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 5
24. Зенин Б.С.	к.т.н., доцент кафедры ММС ИФВТ, председатель секции № 6
25. Егоров Ю.П.	к.т.н., доцент кафедры МТМ ИФВТ, сопредседатель секции № 6
26. Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент кафедры ММС ИФВТ, сопредседатель секции № 6
27. Мельников А.Г.	к.т.н., зав. кафедрой МТМ ИФВТ, сопредседатель секции № 6
28. Рудницкий В.А.	к.т.н., доцент кафедры ИКСУ ИК, сопредседатель секции № 7
29. Алексеев А.С.	ассистент кафедры ИКСУ ИК, сопредседатель секции № 7
30. Аврамчук В.С.	к.т.н., доцент кафедры АиКС ИК, сопредседатель секции № 7
31. Потылицын А.П.	д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8
32. Вергун А.П.	д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТИ, сопредседатель секции № 8
33. Гоголев А.С.	к.ф-м.н., н.с. кафедры ПФ ФТИ, сопредседатель секции № 8
34. Кулешов В.К.	д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9
35. Бразовский В.В.	к.т.н., докторант ИНК, зам. председателя секции № 9
36. Калиниченко А.Н.	ст. преподаватель каф. ФМПК ИНК, зам. председателя секции № 9
37. Заворин А.С.	д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСиПГУ ЭНИН, председатель секции №10
38. Беляев Л.А.	к.т.н., доцент, зав. кафедрой АТЭС ЭНИН, сопредседатель секции № 10
39. Тайлашева Т.С.	к.т.н., ст. преп. кафедры ПГСиПГУ ЭНИН, сопредседатель секции №10
40. Кухта М.С.	д.ф.н., профессор кафедры АРМ ИК, председатель секции № 11
41. Серяков В.А.	ассистент кафедры АРМ ИК, сопредседатель секции № 11
42. Дронов В.В.	инженер кафедры АРМ ИК, сопредседатель секции № 11
43. Громов А.А.	д.т.н., профессор кафедры ТСН ИФВТ, председатель секции 12
44. Митина Н.А.	к.т.н., доцент кафедры ТСН ИФВТ, сопредседатель секции 12
45. Степанов А.А.	д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»
46. Громов А. А.	д.т.н., профессор, зам. проректора по НРиИ, председатель Круглого стола «Мобильность молодых ученых и развитие международных научных связей»
47. Решетова А.А.	к.т.н., начальник отдела ОМИП НУ, сопредседатель Круглого стола Мобильность молодых ученых и развитие международных научных связей»
48. Маслова С.В.	к.ф.н., доцент кафедры СОЦ ГФ, куратор иногородних участников конференции

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

1. **Зольникова Л.М**., нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции
2. **Сидорова О.В**., эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
3. **Сивков А.А**., д.т.н., проф. кафедры ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1
4. **СилушкинС.В**., ст. преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции № 2
5. **Мойзес Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры АРМ ИК, председатель секции № 3
6. **Муравлев О.П**., д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4
7. **Евтушенко Г.С**., д.т.н., профессор, зам.директора ИНК, председатель секции № 5
8. **Зенин Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры ММС ИФВТ, председатель секции № 6
7. **Рудницкий В.А**., к. т. н., доцент кафедры ИКСУ ИК, председатель секции № 7
8. **Потылицын А.П**., д.ф.- м.н., профессор, зав.кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8
9. **Кулешов В.К**., д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9
10. **Заворин А.С**., к.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСиПГУ ЭНИН, председатель секции 10
11. **Кухта М.С**., д.ф.н., профессор каф. АРМ ИК, председатель секции № 11
12. **Громов А.А**., д.т.н., профессор каф. ТСН ИФВТ, председатель секции 12

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

1. **Зольникова Л.М**., нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции
2. **Сидорова О.В**., эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
3. **Сивков А.А**., д.т.н., проф. кафедры ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1
4. **СилушкинС.В**., ст. преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции № 2
5. **Мойзес Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры АРМ ИК, председатель секции № 3
6. **Муравлев О.П**., д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4
7. **Евтушенко Г.С**., д.т.н., профессор, зам.директора ИНК, председатель секции № 5
8. **Зенин Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры ММС ИФВТ, председатель секции № 6
7. **Рудницкий В.А**., к. т. н., доцент кафедры ИКСУ ИК, председатель секции № 7
8. **Потылицын А.П**., д.ф.- м.н., профессор, зав.кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8
9. **Кулешов В.К**., д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9
10. **Заворин А.С**., к.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСиПГУ ЭНИН, председатель секции 10
11. **Кухта М.С**., д.ф.н., профессор каф. АРМ ИК, председатель секции № 11
12. **Громов А.А**., д.т.н., профессор каф. ТСН ИФВТ, председатель секции 12

СЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК РАЗМЕЩЕНИЯ И МОЩНОСТИ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ «КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ» ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ И УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ ВЕЛИЧИНЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Акимжанов Т.Б.

Научный руководитель: Харлов Н.Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: www.tigerofkz@mail.ru

Силами сотрудников «Регионального учебно-научно-технологического центра ресурсосбережения» при Национальном Исследовательском Томском Политехническом университете было проведено инструментальное обследование электрических сетей 110/35/10 кВ филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Бурятэнерго». Целью данного инструментального обследования является снижение потерь активной мощности и электроэнергии в сети 110/35/10 кВ и улучшение качества напряжения за счет улучшения качества управления реактивной мощностью.

Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить балансы реактивной мощности. Балансы реактивной мощности подстанций 110 кВ складываются из расходной части реактивных нагрузок подстанций, приложенных к шинам 10(6) и 35 кВ и потерь реактивной мощности в понижающих трансформаторах. Приходная часть баланса обеспечивается реактивной мощностью источников и генерацией реактивной мощности линиями. Поскольку нагрузки электрической сети 110 кВ без проведения определенных мероприятий не обеспечивают требуемое потребление реактивной мощности, балансы устанавливаются на повышенном напряжении в ряде случаев опасном для подстанционного оборудования. При «естественных» нагрузках подстанций 110/35/10(6) кВ и 110/10(6) направление потоков реактивной мощности в линиях, как правило, не совпадает с направлением потоков активной мощности. Обеспечение балансов реактивной мощности на более низких уровнях напряжения и изменение направлений реактивных потоков обеспечивается путем подключения в определенных узлах сети дополнительных реактивных нагрузок в виде шунтирующих реакторов.

Рассмотрим возможность снижения потерь и улучшения качества электрической энергии в электрической сети 110 кВ «Татаурово – Могойто» путем оптимального размещения шунтирующих реакторов на шинах 10 кВ подстанций. Для определения наиболее перспективных с данной точки зрения подстанций исследуются «коэффициенты чувствительности» величины потерь и уровней напряжения к изменениям величины реактивной мощности. Данные коэффициенты представляют собой частные производные потерь электроэнергии в сети и максимальных напряжений в одном из узлов сети. Для их вычисления проводятся расчеты режимов при естественных нагрузках и поочередно расчеты режимов при измененных нагрузках подстанции в стороны уменьшения и увеличения реактивной мощности (±1 МВАр). По полученным значениям и определяются частные производные.

На основе проведенных измерений, выполненных в рамках договора [1], были выявлены все расчетные нагрузки подстанций подключенных к электрической сети «Татаурово – Могойто». Расчетные нагрузки определены для трех характерных периодов суток: утреннего максимума нагрузок (9-00), вечернего максимума нарузок (23-00) и ночного минимума нагрузок (4-00). Данные расчетные нагрузки используются для дальнейших расчетов по выбору оптимального места и мощности установки реакторов.

В качестве основного средства расчетов применялся программный комплекс ДАКАР.

В табл. 1. приведены результаты расчетов перечисленных коэффициентов чувствительности по отношению к изменению реактивных нагрузок на подстанциях «Могойто», «Баянгол», «Усть-Баргузин», «Прибайкальская». Наибольшее значение имеют коэффициенты чувствительности первых трех подстанций, что означает, что на данных подстанциях шунтирующие реакторы могут использоваться наиболее эффективно как для снижения потерь, так и для регулирования напряжения. Эффективность использования реакторов на подстанции «Прибайкальская» заметно ниже.

Таблица 1

Значения коэффициентов чувствительности потерь активной мощности и максимального напряжения к реактивной мощности компенсирующих устройств на подстанциях транзита «Татауровo» – «Могойто» (лето 2010 года) (нормальная схема питания)

Подстанция	ΔP, МВт			U_{max}, кВ			$\frac{\partial P}{\partial Q}, \frac{МВт}{МВар}$	$\frac{\partial U}{\partial Q} \frac{кВ}{МВар}$
	–1, МВар	0, МВар	1, МВар	–1, МВар	0, МВар	1, МВар		
	09:00							
Могойто	0.952	0.878	0.821	121.213	120.000	120.000	–0.0655	–0.606
Баянгол	0.957	0.878	0.820	120.988	120.000	120.000	–0.0685	–0.494
Усть–Баргузин	0.933	0.878	0.832	120.473	120.000	120.000	–0.0505	–0.236
Прибайкальская	0.881	0.878	0.872	120.333	120.000	120.000	–0.0045	0.000

На рис. 1, 2, 3 и 4 в графическом виде приведены зависимости потерь активной мощности в сети 110 кВ от величины реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанций соответственно «Могойто», «Баянгол», «Усть-Баргузин», «Прибайкальская» для утреннего максимума.

В табл. 2 представлена сводная информация об оптимальном использовании шунтирующих реакторов на шинах 10 кВ подстанций, позволяющая окончательно оценить и сравнить оказываемый шунтирующими реакторами эффект.



Рис. 1. Зависимость потерь активной мощности в сети 110 кВ от реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Могойто» (09:00)



Рис. 2. Зависимость максимальных напряжений в сети 110 кВ от реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Баянгол» (09:00)

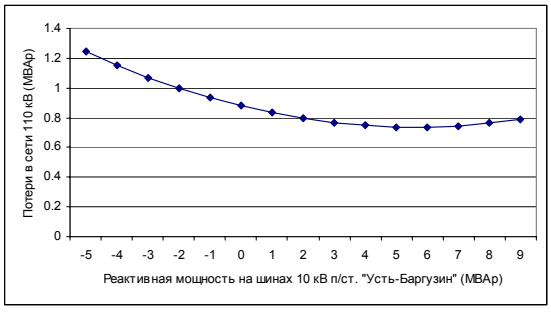


Рис. 3. Зависимость максимальных напряжений в сети 110 кВ от реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Усть-Баргузин» (09:00)

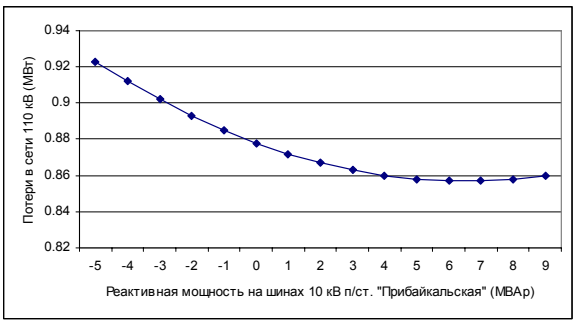


Рис. 4. Зависимость потерь активной мощности в сети 110 кВ от реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Прибайкальская» (09:00)

Таблица 2

Сводная таблица эффекта шунтирующих реакторов на шинах 10 кВ подстанций при утреннем максимуме

Подстанция	Оптимальная реактивная мощность, МВАр	Напряжение сети при оптимальной реактивной мощности, кВ	Потери в сети при оптимальной реактивной мощности, МВт
Могойто	4	112,229	0,811
Баянгол	4	113,683	0,790
Усть-Баргузин	5	114,809	0,793
Прибайкальская	6	119,162	0,874

Для установки шунтирующих реакторов в утренний максимум наилучшим образом подходит подстанция «Баянгол». Оптимальная реактивная мощности в данном случае составляет около 4 МВАр. Уровень потерь в сети при этом составляет около 0,811 МВт, уровень напряжения на шинах 110 кВ – находится в допустимых пределах (113,683 кВ).

Список литературы

1. Проведение работ по режимным замерам и расчетам режимов компенсации реактивной мощности в электрических сетях. Том 4 «Повышение качества управления реактивной мощностью и разработка мероприятий для снижения потерь электрической энергии в сети филиала МРСК Сибири «Бурятэнерго»: отчет о НИР (х/д тема 22-96/10 «У») / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ). Региональный учебно-научно-технологический центр ресурсосбережения; рук. Харлов Н.Н.; исп.: Литвак В.В.-Томск, 2010. – 85 с.

ТРАНСФОРМАТОРЫ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ

Александров Н.В., Манусов В.З.

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: alexandrov-88@mail.ru

Открытие в 1986 г. высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в керамике, на основе оксидов меди, лантана и бария, дало мощный толчок развитию сверхпроводящих трансформаторов (СПТ) энергетического назначения, всего сверхпроводникового электрооборудования. Спустя десять лет, в лабораториях крупных энергетических компаний и научно-исследовательских институтов промышленно развитых стран мира (США, Япония, Китай, Германия, Ю.Корея) стартовали многообещающие проекты трёхфазных и однофазных ВТСП трансформаторов различной мощности и уровней напряжения.

ВТСП-трансформаторы по сравнению с традиционными обладают значительными техническими преимуществами, а именно:

- снижение нагрузочных потерь при номинальном токе на 90%, что увеличивает КПД трансформатора;
- уменьшение массогабаритных показателей трансформатора до 40%;
- ограничение токов короткого замыкания (КЗ), что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- уменьшение уровня шума.
- очень низкие потери холостого хода и короткого замыкания.

Кроме того, использование жидкого азота в ВТСП трансформаторах позволит, помимо основной функции хладагента, получить надежную, высокоэффективную изоляцию, отличающейся от обычной традиционной изоляции такими параметрами, как нестарение, экологическая чистота, противопожарная безопасность. При этом мощность, затрачиваемая на охлаждение СПТ, снижается в 20 раз по сравнению с мощностью, затрачиваемой на охлаждение обычных силовых трансформаторов [1].

Разновидность конструкций СПТ и их отдельных элементов значительно шире по сравнению с аналогичными вариантами традиционных силовых трансформаторов.

Обмотки первых ВТСП-трансформаторов изготовлялись из так называемых проводов первого поколения (1G) на основе серебряной матрицы с микроканалами, в которых находится сверхпроводящая керамика, как правило, Bi–Sr–Ca–Cu–O (BSCCO). Однако, технология 1 G обладает рядом недостатков: 1) необходимость деформировать ВТСП материал в процессе прокатки (отсюда – многократные отжиги); 2) токонесущая способность полученных проводов висмутовой системы падает уже в магнитных полях ~1 Тл (что ограничивает их применение в ряде устройств); 3) высокая стоимость, определяемая не в последнюю очередь дороговизной серебряной матрицы. С разработкой ВТСП- проводов второго поколения (2G) на основе сверхпроводника Y-Ba-Cu-O (YBCO) стало целесообразно использовать их в качестве обмоток трансформаторов, в связи с более лучшими технико-экономическими показателями провода. Преимущества 2G заключаются в том, что они обладают большей плотностью критического тока, способностью ограничивать ток короткого замыкания, ограничивать броски тока нагрузки, быстро восстанавливать сверхпроводящие свойства.

Стоит отметить, что проблема снижении динамических потерь в обмотках не имеет однозначного решения. Динамические потери в обмотках связаны с качеством используемых сверхпроводников (критическая плотность тока в собственном поле при максимально возможной длине куска) и анизотропией сверхпроводящего материала. Для примера, качественная ВТСП 1G лента производства AMSC – Jc=115 А, l < 1000 м. Во избежание увеличения динамических потерь и снижения токонесущей способности проводов, катушку после намотки подвергают длительному отжигу в специальной печи для устранения возможных механических напряжений и дефектов в структуре сверхпроводника, возникших в результате его деформации.

Для уменьшения действия магнитного поля на сверхпроводник при большом числе первичных и вторичных обмоток, применяют многослойные экранирующие обмотки из медного проводника [2].

Очень часто для изготовления обмоток трансформатора используют модули двойных галет, простое применение которых неблагоприятно из-за увеличения динамических потерь за счёт сильной анизотропии ВСТП-1G. Однако чередование таких модулей высокого и низкого напряжения (соответственно первичной и вторичной обмоток),

расположенных на общем стержне магнитопровода (рис. 1), ведёт к снижению потерь [4].

Другим способом борьбы с динамическими потерями является снижение индукции в магнитопроводе путём увеличения числа витков в обмотках, но этот способ увеличивает общий расход сверхпроводника.

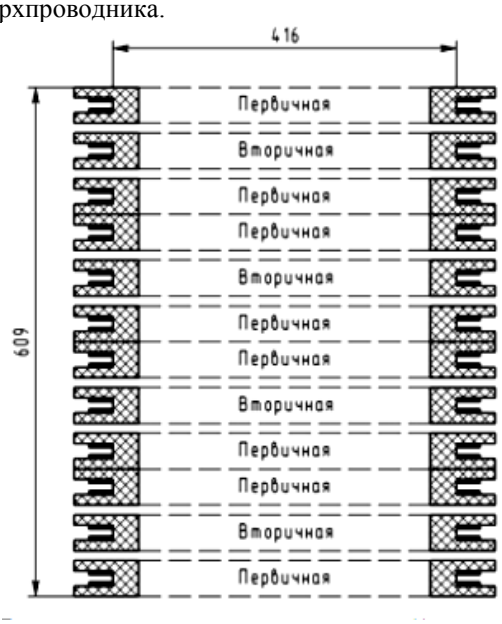


Рис. 1. Чередующиеся модули двойных галет первичной и вторичной обмоток

Наряду с перечисленными, наиболее распространенный способ борьбы с динамическими потерями в сверхпроводниках – понижение рабочей температуры до 65-66 К, в результате чего увеличивается диапазон рабочих полей и токов.

Магнитопроводы ВТСП-трансформаторов могут быть изготовлены из ферромагнитного материала или без него. Стоит отметить, что однозначно не решен вопрос какое исполнение магнитопровода наиболее выгодно: “тёплое” (снаружи криостата) или “холодное” (внутри криостата). “Холодное” исполнение, с одной стороны, способствует упрощению конструкции криостата и уменьшению размеров магнитной системы, с другой стороны, вносит дополнительные теплопритоки, увеличивая энергозатраты на охлаждение. Снижения теплопритоков можно достичь использованием в качестве материала магнитопровода аморфных сталей, имеющих очень низкие тепловыделения (0,2 Вт/кг при 1,4 Т и 100 К), или обычной холоднокатаной электротехнической стали с улучшенными характеристиками. “Тёплое” исполнение магнитопровода приводит к более сложной конструкции криостата, выполняемого в виде полого цилиндра, что увеличивает размер магнитной системы, но вместе с тем уменьшает теплопритоки в холодную часть. При этом в качестве материала магнитопровода можно использовать сравнительно дешёвую тонколистовую рулонную электротехническую сталь (марок 3404, 3405, 3406), допускающую магнитную индукцию до 1,6-1,65 Т. Подобная конструкция более эффективна для однофазных трансформаторов. В трёхфазных трансформаторах аналогичного исполнения потребуются дополнительные токовводы для электрической связи обмоток [2].

Предпринимались попытки включения ВТСП трансформатора (630 кВА; 18,7 кВ/420 В) с “тёплым” магнитопроводом, созданного в рамках совместного проекта ABB, EdF (Electricite de France), American Superconductor и SIG (Services Industriels de Geneve), в действующую сеть. Однако ВТСП обмотки не были оптимизированы для использования на переменном токе, потери в них оказались неприемлемо высокими (3 Вт на 1 кА·м), поэтому в сети трансформатор проработал чуть более года и был выведен из сети. Второй проект этой же группы исполнителей – ВТСП трансформатор мощностью 10 МВА (63 кВ/21 кВ) в 2001 г. прошел полный цикл лабораторных испытаний и в 2002 г. был включен в энергосистему Франции.

По данным Министерства энергетики США, сделавшего подробный анализ возможного применения ВТСП-трансформаторов мощностью до 30 МВА, затраты на весь срок службы при эксплуатации ВТСП-трансформаторов будут наполовину меньше по сравнению с затратами на обслуживание традиционно применяемых трансформаторов. Совершенствование технологии производства ВТСП трансформаторов и её доведение до промышленных масштабов позволит наладить их коммерческий выпуск и постепенную замену трансформаторов традиционного исполнения.

Список литературы

1. Лутидзе Ш.И., Джафаров Э.А. Сверхпроводящие трансформаторы. М.: Научтехлитиздат, 2002.
2. Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики», 2006, 3, вып 4.
3. Лизунов С. Д., Лоханин А. К. Проблемы современного трансформаторостроения в России // Электричество. – 2000. – № 8, 9
4. Черноплеков Н. А. Сверхпроводниковые технологии: современное состояние и перспективы практического применения // Вестник РАН. – 2001. – № 4.
5. Информационный бюллетень “Сверхпроводники для электроэнергетики” 2005, 2, вып. 2
6. IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2291.
7. IEEE Trans. Appl. Supercond. 2001, 14, 1498.

АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФАЗ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ

Анохин Б.А

Новосибирский государственный технический университет
630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: anohinba@yandex.ru

Преимущества двухцепных воздушных линий как средних, так и высших классов напряжения, по сравнению с одноцепными воздушными линиями соответствующих классов напряжения в основном определяются:

- организацией резервированного питания особо ответственных потребителей (при выходе из строя одной цепи питание объекта осуществляется по оставшейся в эксплуатации второй цепи),
- уменьшением полосы отчуждения при строительстве ВЛ определенной мощности по сравнению со строительством одноцепных ВЛ.
- уменьшение затрат на строительство линии, по сравнению с вариантом сооружения двух взаиморезервируемыходноцепных линий (особо актуально в стесненных условиях и при высокой стоимости земельных участков).

К одному из преимуществ двухцепной ВЛ также можно отнести эффект дополнительного увеличения пропускной способности, за счет более полной компенсации потокосцеплений фаз по прямой последовательности, и как следствие уменьшение продольного сопротивления линии.

На рис. 1 приведена характерная конструкция двухцепной опоры.

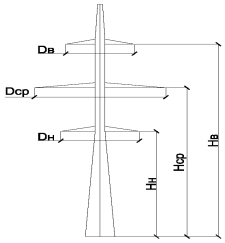


Рис. 1. Стальная двухцепная опора.

Установившийся режим в шестипроводной линии описывается в общем случае следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} -\frac{dU_x}{dx} = Z_6 \cdot I_x \\ -\frac{dI_x}{dx} = Y_6 \cdot U_x \end{cases}, \qquad (1)$$

где:

$U_x = (U_{a1x}\ U_{b1x}\ U_{c1x}\ U_{a2x}\ U_{b2x}\ U_{c2x})^T$;

$I_x = (I_{a1x}\ I_{b1x}\ I_{c1x}\ I_{a2x}\ I_{b2x}\ I_{c2x})^T$;

$Z_6 = (Z_{ij})_{i=1,j=1}^{6,6}$; $Y_6 = (Y_{ij})_{i=1,j=1}^{6,6}$;

где Z_{ii}, Z_{ij}, Y_{ii}, Y_{ij} – собственные и взаимные сопротивления и проводимости фаз.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) в фазных координатах является затруднительным. Переход к модальным координатам позволяет получить систему уравнений относительно несвязанных между собой переменных [1].

Система уравнений (1) приводится к уравнению второго порядка относительно тока или напряжения.

$$\frac{d^2U_x}{dx^2} - Z_6 \cdot Y_6 \cdot U_x = 0, \qquad (2)$$

или

$$\frac{d^2I_x}{dx^2} - Y_6 \cdot Z_6 \cdot I_x = 0. \qquad (3)$$

Произведение матриц $Z_6 \cdot Y_6$ представляет собой матрицу квадратов коэффициентов распространения линии.

$$Z_6 \cdot Y_6 = (\gamma_{ij}{}^2)_{i=1,j=1}^{6,6}.$$

Из теории матриц следует, что матрицы $Z_6 \cdot Y_6$ и $Y_6 \cdot Z_6$ приводится к диагональному виду при помощи матрицы собственных векторов S

$$\gamma_м^2 = S^{-1} \cdot Z \cdot Y \cdot S = S_T \cdot Y \cdot Z \cdot S_T^{-1} = \begin{pmatrix} \gamma_1{}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \gamma_6{}^2 \end{pmatrix}$$

Современная вычислительная техника позволяет без труда получить преобразующую матрицу S [2].

Уравнения (2) и (3) после преобразования примут вид

$$\frac{d^2U_{mx}}{dx^2} - \gamma_м^2 \cdot U_{mx} = 0, \qquad (3)$$

или

$$\frac{d^2 \cdot I_{mx}}{dx^2} - \gamma_{мт}^2 \cdot I_{mx} = 0, \qquad (4)$$

где $U_{мх} = S^{-1} \cdot U_x$, $I_{мх} = S_T \cdot I_x$.

В результате для каждой модальной переменной имеет место решение аналогичное решению для однопроводной линии

$$\begin{cases} U_{vo} = U_{vп} \cdot ch(\gamma_v \cdot l) + I_{vп} \cdot Z_{vw} \cdot sh(\gamma_v \cdot l) \\ I_{vo} = \frac{U_{vп} \cdot sh(\gamma_v \cdot l)}{Z_{vw}} + I_{vп} \cdot ch(\gamma_v \cdot l), \end{cases} \qquad (5)$$

где: v – соответствующая мода; U_{vo}, $U_{vп}$, Y_{vo}, $Y_{vп}$ – режимные параметры на соответственно отправном и приемном концах линии для v-й моды; γ_v, Z_{vw} – коэффициент распространения и волновое сопротивление -й моды.

Уравнения (5) ни что иное как уравнения n-полюсника

где $A_\nu = ch(\gamma_\nu \cdot l)$, $B_\nu = Z_{w\nu} \cdot sh(\gamma_\nu \cdot l)$,

$C_\nu = \frac{sh(\gamma_\nu \cdot l)}{Z_{w\nu}}$, $D_\nu = ch(\gamma_\nu \cdot l)$ – коэффициенты четырехполюсника.

Коэффициенты многополюсника, определяемого системами уравнений (5) будут иметь вид:

$$A_{m6} = \begin{pmatrix} A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & A_6 \end{pmatrix}; \quad B_{m6} = \begin{pmatrix} B_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & B_6 \end{pmatrix};$$

$$C_{m6} = \begin{pmatrix} C_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & C_6 \end{pmatrix}; \quad D_{m6} = \begin{pmatrix} D_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & D_6 \end{pmatrix}$$

После перехода от модальных координат к фазнымимеем

$$\begin{cases} U_o = A_6 \cdot U_п + B_6 \cdot I_п \\ I_o = C_6 \cdot U_п + D_6 \cdot I_п \end{cases} \quad (7)$$

где $A_6 = S \cdot A_м \cdot S^{-1}$, $B_6 = S \cdot B_м \cdot S_T$,

$C_6 = S_T^{-1} \cdot B_м \cdot S^{-1}$, $D_6 = S_T^{-1} \cdot B_м \cdot S_T$.

При решении ряда задач, в том числе при определении пропускной способности линии, целесообразно преобразовать полученные уравнения для двухцепной линии в случае параллельной работы цепей к эквивалентным уравнениям для одноцепной линии. Для трехфазного эквивалента уравнения будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} U_{oэ} = A_3 \cdot U_{пэ} + B_3 \cdot I_{пэ} \\ I_{oэ} = C_3 \cdot U_{пэ} + D_3 \cdot I_{пэ} \end{cases}. \quad (8)$$

Принцип приведения шестипроводной линии к эквивалентной трехпроводной при параллельной работе цепей в данном докладе не приводится.

О пропускной способности линии, можно судить по матрице продольных сопротивлений Z_3, равной $Z_3 = B_3$.

Для оценки пропускной способности линии по прямой последовательности необходимо найти взаимное сопротивление линии по прямой последовательности $Z_{оп}$. Преобразуя матрицу сопротивлений к симметричным составляющим

Тогда имеем

$$Z_{3сим} = S_{сим}^{-1} \cdot Z_3 \cdot S_{сим},$$

где $S_{сим} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}$, $a = e^{j\frac{2\cdot\pi}{3}}$.

Первый диагональный элемент матрицы $Z_{3сим}$ представляет сопротивление линии прямой последовательности $Z_{оп}$.

Поскольку предел пропускной способности обратно пропорционален величине взаимного сопротивления, то по соотношениям величин $Z_{оп}$ для разных вариантов размещения фаз на опоре, можно выбрать вариант с наибольшей пропускной способностью, т.е. с наименьшим $Z_{оп}$.

На основе полученной модели выполнен анализ и предложено оптимальное расположение фаз для двухцепной линии 220 кВ. В расчете принята типовая геометрия стальной двухцепной опоры 220 кВ, марка провода линии АС 300/39, длина линии L=200 км.

Предложены три варианта расположения фаз на опоре (рис. 2):вариант 1 – традиционное расположение, варианты 2, 3 – варианты с чередованием фаз. Для вариантов 2,3 расположение фаз выбрано таким образом, чтобы разноименные фазы 1-й и 2-й цепи находились на ближайшем расстоянии.

Результаты расчета для каждого из вариантов (указаны в таблице) показали, что более предпочтительными являются варианты 2 и 3.Уменьшение сопротивления линии токам прямой последовательности по вариантам 2 и 3 составило около 10% по сравнению с вариантом 1.

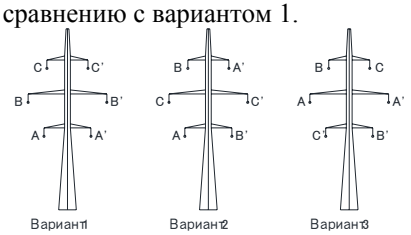


Рис. 2 Варианты расположения фаз на опоре (фазы первой цепи A,B,C; фазы второй цепи A`,B`,C`)

Таблица

Оценка пропускной способности двухцепных линий различных конструкций

Вариант по рис. 2	1	2	3
Модуль взаимного сопротивления линии по прямой последовательности, Ом	39,81	35,94	35,94
Соотношение пропускной способности для разных вариантов, %	100	90,3	90,3

Варианты 2 и 3 с точки зрения пропускной способности оказались равнозначными. Однако, если принять во внимание тот факт, что при ударе молнии в опору напряжение на опоре по высоте распределяется неравномерно (наибольшие уровни перенапряжений приходятся либо на верхние траверсы, либо на нижние [3]), в целях исключения перекрытия на обе цепи линии, на верхних и нижних траверсах рекомендуется расположить фазы одной цепи.

Выводы

Показана возможность увеличения пропускной способности линии за счет изменения расположения фаз на двухцепной опоре. Увеличение пропускной способности составило около 10% по сравнению с вариантом традиционного расположения фаз.

Список литературы

1. Красильникова Т.Г. Исследование схем транспозиции дальних и сверхдальних линий электропередачи / диссертация на соискание ученой степени к.т.н – Новосибирск: НГТУ, 2005.
2. Гайворонский А.С., Клепиков А.В., Прокофьева Е.Н. Линейные разрядники как средство грозозащитыВЛ (Анализ зарубежного и отечественного опыта) // Сборник докладов Второй Российской с международным участием научно-практической конференции «ЛЭП 2006». – Новосибирск, 2006.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ

Артемьев А.Ю.

Научный руководитель: Шакиров В.А., к.т.н., доцент

Братский государственный университет, 665709, Россия, г. Братск, ул. Макаренко, 40
E-mail: artuniverse@mail.ru

Использование возобновляемых источников энергии позволяет повысить эффективность и надежность тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и приравненных к ним территориях.

Районы севера характеризуются высоким ветровым потенциалом, что обуславливает актуальность исследований возможности использования ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Одной из наиболее перспективных территорией для использования энергии ветра является республика Саха (Якутия) [1].

Оценка возможной выработки ВЭУ является важной задачей, от качества решения которой зависит экономическая эффективность проекта.

На практике используются два варианта расчета возможной выработки. Первый – с использованием результатов наблюдений на метеостанциях, с расчетом по повторяемости скоростей ветра. Второй вариант расчета основан на использовании аппроксимации данных повторяемости скоростей ветра распределением Вейбулла, Рэлея, Рейлиха и др. [2]

К недостатку этих методов можно отнести сложность дальнейшего учета востребованности электроэнергии потребителями по графику нагрузок. Второй вариант расчета имеет меньшую точность.

Также известен метод непосредственного расчета выработки ВЭУ. Энергия, выработанная ВЭУ за период измерений, определяется по формуле

$$W = \sum_{i=1}^{N} P(V_i) T_i \qquad (1)$$

где $P(V_i)$ – электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра V_i на i-м интервале измерения, кВт; T_i – продолжительность интервала измерения, ч.

Недостатком метода является необходимость в подробных метеорологических данных о скорости ветра в течение нескольких лет.

В проводимом исследовании анализ мест размещения и оценка возможной выработки проводилась по данным измерений метеостанций с 2001 по 2010 года. Оценка возможной выработки в исследовании проводилась с использованием выражения (1), электрическая мощность $P(V_i)$ для каждого часа измерения определялась по мощностным характеристикам исследуемых ВЭУ российского и иностранного производства.

Анализ эффективности использования ВЭУ проводился в два этапа. На первом этапе выполнялся сравнительный анализ районов размещения по данным измерений метеостанций с приведением к высоте ВЭУ:

$$V_i = V_{изм} \left(\frac{H_i}{H_{изм}} \right)^m$$

где V_i – скорость ветра на высоте H_i, *м/с*, $V_{изм}$ – скорость ветра на высоте флюгера метеостанции $H_{изм}$, *м/с*, m – степенной коэффициент, зависящий от средней скорости ветра на высоте флюгера метеостанции [2].

Например, для районов метеостанций Саскылах и Кюсюр представлены результаты выработки ВЭУ Eurowind 20 в таблице 1. Суммарная выработка ВЭУ отличается на 1,9%, поэтому для сопоставления районов размещения необходим дополнительный анализ.

Таблица 1

Результаты расчета выработки электроэнергии

Год	Район метеостанции Кюсюр		Район метеостанции Саскылах	
	$W_{выраб}$, тыс. кВт·ч	$W_{востр}$, тыс. кВт·ч	$W_{выраб}$, тыс. кВт·ч	$W_{востр}$, тыс. кВт·ч
2001	41,632	36,876	23,684	19,752
2002	35,136	29,472	24,535	19,946
2003	46,866	40,951	26,474	21,950
2004	17,421	13,894	24,94	20,906
2005	21,486	17,428	27,501	23,029
2006	21,521	16,775	24,812	21,099
2007	18,135	14,818	25,71	21,768
2008	22,681	18,292	28,077	23,607
2009	17,686	13,771	24,863	20,774
2010	20,473	16,972	27,477	22,923
2001-2010	263,037	219,249	258,073	215,754

При анализе может быть проведено:

1) сопоставление среднегодовых скоростей ветра с данными многолетних испытаний. В течение 7 лет в районе метеостанции Кюсюр наблюдались меньшие значения средней скорости, а в районе Саскылах 10 лет наблюдалась большие значения среднегодовых скоростей (рис. 1). Можно ожидать повышения выработки ВЭУ в районе метеостанции Кюсюр;

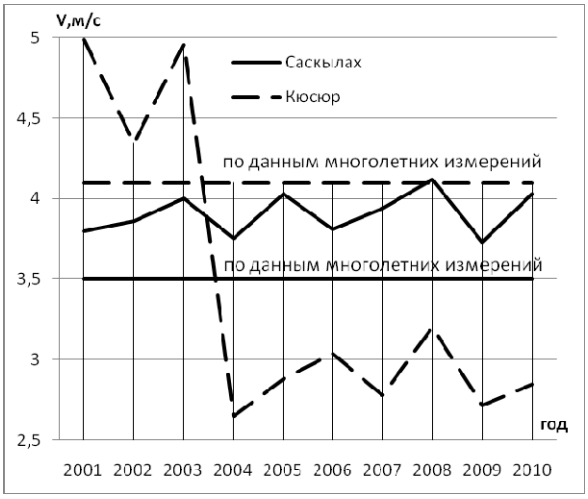


Рис. 1. Среднегодовые скорости ветра

2) сопоставление повторяемости скоростей ветра в часах (рис. 2), сопоставление выработки ВЭУ на каждом интервале скорости мощностной характеристики (рис. 3). В течение с 2001 по 2010 на метеостанции Кюсюр около 50% времени, на метеостанции Саскылах – около 40% времени наблюдалась скорость до 3 м/с.

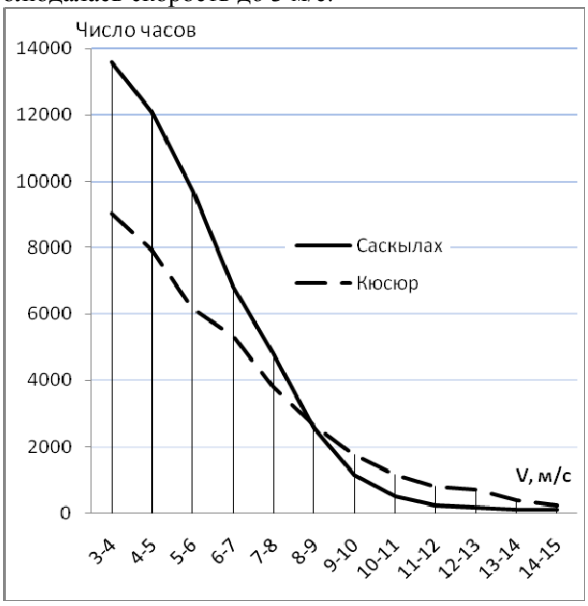


Рис. 2. Повторяемость ветра по скорости

Выработка в районе Саскылах обеспечена большим числом часов на малоэффективном участке характеристики ВЭУ, в то время, как выработка в районе Кюсюр обеспечена работой ВЭУ на высокоэффективном участке.

Графики, отражающие выработку электроэнергии на участках мощностных характеристик, позволяют определять наиболее эффективные ВЭУ для данной местности.

На втором этапе исследования проводился выбор ВЭУ для намеченных населенных пунктов с учетом графика электрических нагрузок. В таблице 1 приведен пример оценки востребованной электроэнергии.

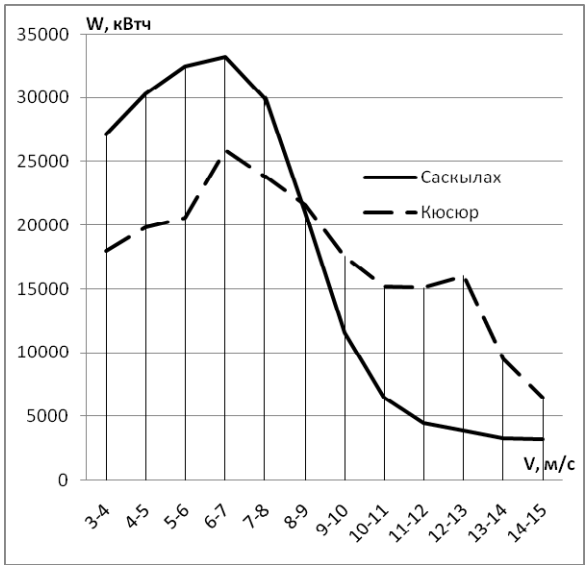


Рис 3. Выработка ВЭУ на различных участках мощностной характеристики

Наиболее эффективные ВЭУ из рассмотренных в исследовании приведены в табл. 2. Экономический эффект от экономии топлива приведен к 1 кВт установленной мощности ВЭУ для возможности их сопоставления.

Таблица 2

Результаты расчета экономического эффекта

Год	Кюсюр				Саскылах			
	Eurowind 2	Eurowind 20	Eurowind 1	Мельников ВЭУ-10	Eurowind 2	Eurowind 100	Eurowind 20	Мельников ВЭУ-10
	Тыс. руб/кВт установленной мощности							
2001	9,2	7,7	8,0	7,7	3,4	2,6	2,6	2,1
2002	6,8	5,5	5,6	5,4	3,5	2,9	2,7	2,4
2003	10,9	9,0	9,9	8,9	4,2	3,4	3,3	2,9
2004	1,3	0,9	0,2	0,4	3,9	3,2	3,0	2,9
2005	2,6	1,9	1,6	1,6	4,6	3,8	3,6	3,5
2006	2,4	1,7	1,3	1,4	3,9	3,0	3,0	2,7
2007	1,8	1,2	0,5	0,8	4,1	3,2	3,2	2,9
2008	3,0	2,2	1,8	1,9	4,8	4,1	3,8	3,7
2009	1,4	0,9	0,2	0,5	3,7	3,0	2,9	2,7
2010	2,5	1,8	1,3	1,4	4,5	3,7	3,6	3,3
2001-2010	41,6	32,8	30,4	30	40,5	32,8	31,8	28,9

Проведен расчет возможных сроков окупаемости с оценкой отклонений. Для некоторых ВЭУ при благоприятных условиях срок окупаемости может составлять 5 лет.

Список литературы

1. Лукутин Б.В., Киушкина В.Р. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.
2. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РЭС 0,4–10 кВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ахметшин А.Р.

Научный руководитель: Федотов А. И., д.т.н., профессор

Казанский государственный энергетический университет
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51
E-mail: ahmetshin.ar@rambler.ru

Для электросетевых компаний соблюдение нормативного уровня напряжения является актуальной проблемой. На производстве и в быту используется множество электроприборов, в состав которых входят элементы крайне чувствительные к отклонениям напряжения от допустимых значений [1]. Сбой в их работе может обусловить выход из строя оборудования или расстройство технологических процессов. В свою очередь, это приводит к экономическим потерям для электросетевых компаний, так как потребитель вправе потребовать не только замену вышедшего из строя оборудования, но и денежные средства от недоотпуска продукции [2].

Линии электропередачи (ЛЭП), спроектированные по нормам электропотребления более чем десятилетней давности, уже не обладают требуемой пропускной способностью. В результате напряжение у потребителей снижается за допустимый уровень.

В настоящее время появилось новое отечественное электрооборудование, позволяющее решить проблему обеспечения нормальных показателей качества электроэнергии (ПКЭ) у потребителей РЭС. К такому можно отнести пункты автоматического регулирования напряжения (ПАРН), выпускаемые компанией ЗАО “Инновационная Энергетика” для напряжений 10 кВ, а также вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) типа ТВМГ, выпускаемые компанией ООО “СКЭ-Электро”, предназначенные к установке в сетях напряжением 0,4 кВ.

В работе рассматривается целесообразность их применения и приводится экономическая оценка в сравнении с реконструкцией ЛЭП.

ПАРН предназначены для регулирования напряжения в электрических сетях 6-10 кВ трехфазного переменного тока частотой 50 Гц.

ВДТ выполнен на базе однофазного масляного автотрансформатора наружной установки, имеющего общую и последовательную обмотку. Последовательная обмотка имеет 32 ступени для регулирования напряжения в пределах ± 10%. Регулирование осуществляет переключатель ответвлений. В составе ПАРН может быть два или три ВДТ.

При включении ПАРН по схеме неполного треугольника (используются два ВДТ) диапазон регулирования напряжения составляет ± 10 %. При включении ПАРН по схеме полного треугольника (используются три ВДТ) диапазон регулирования напряжения составляет ± 15 % [3].

Применение ПАРН позволяет решить следующие задачи: увеличение пропускной способности существующих линий для подключения новых потребителей; передача электроэнергии по линиям 6 и 10 кВ на большие расстояния; обеспечение качества электроэнергии, в том числе устранение несимметрии напряжений в линиях.

Для выявления особенностей использования вольтодобавочных устройств в качестве примера приведен участок районной электрической сети (рис. 1). Протяженность линии от РП №1 до РП №2 составляет 18,5 км. Используются провода марки АС – 50 и марки А – 50. Напряжение в центре питания (РП №1) 10,5 кВ, tgφ=0,4. Цифрами по всей протяженности ЛЭП обозначаются номера опор, среднее расстояние между которыми 60 м.

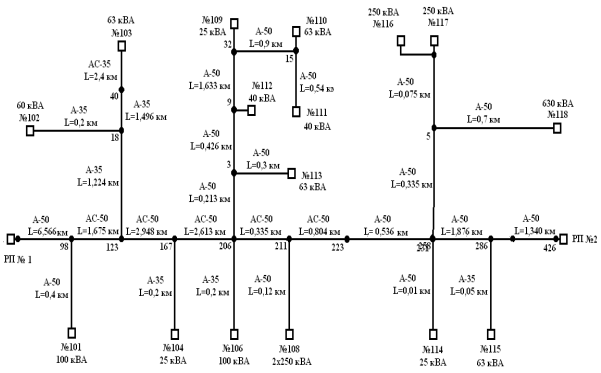


Рис. 1. Однолинейная схема участка ЛЭП

При передаче дополнительной мощности до ТП №115 равной 890 кВт в часы максимума возникают отклонения напряжения до 10 %.

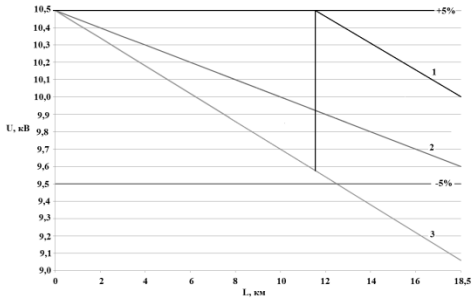


Рис. 2. Изменение напряжения на участке ЛЭП: 1 – установка ПАРН; 2 – замена провода на АС – 120; 3 – при передаче дополнительной мощности

По результатам расчета были сделаны следующие выводы (рис. 2):

- подключение нового потребителя приводит к недопустимому отклонению напряжения для конечных подстанций электропередачи;
- решить проблему с уровнем напряжения возможно при установке ПАРН, состоящего из двух ВДТ, после опоры № 167 или при перевесе провода на всей электропередачи.

Условием для дальнейшего выбора оптимального варианта являются наименьшие денежные затраты.

На рис. 3 приведена стоимость реконструкции ВЛ 10 кВ и стоимость установок ПАРН. Ориентировочная стоимость ПАРН предоставлена Перинским Т. В. начальником технического отдела ЗАО “Инновационная Энергетика”. Стоимость реконструкции ВЛ 10 кВ будет составлять для Республики Татарстан – 700 тыс. руб. за км [4].

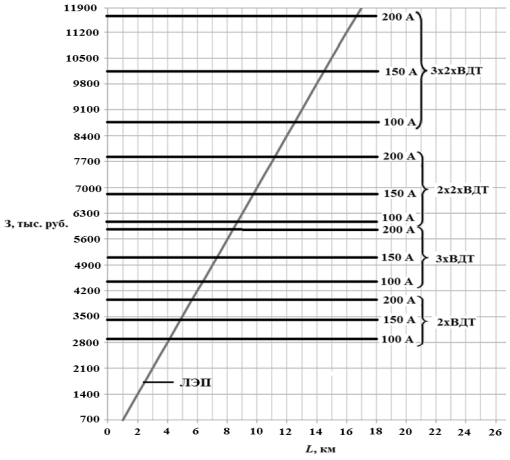


Рис. 3. Стоимость реконструкции ВЛ 10 кВ и стоимость установок ПАРН

Из рис. 3 следует, что для участка ЛЭП 10 кВ установка ПАРН дешевле, чем перевес провода. Таким образом, за счет установки ПАРН нормальный уровень напряжения восстановится у 12 понизительных подстанций.

При ограниченном числе подстанций, где отклонения напряжения выходят за допустимые пределы, целесообразна установка ВДТ на стороне 0,4 кВ на базе трансформаторов ТВМГ. Основное предназначение ТВМГ: автономное регулирование напряжения на каждой фазе; компенсация несимметрии фазных напряжений при несимметричных нагрузках [5].

Ориентировочная стоимость ТВМГ предоставлена генеральным директором ООО “СКЭ-Электро” Дороховым С.М. составляет 650 тыс. руб.

Для определения экономической эффективности установки в сети 0.4 кВ вольтодобавочных устройств в качестве примера рассмотрен существующий участок ЛЭП на 0.4 кВ с низким качеством напряжения в конце линии. Общая длина участка 1.520 км. На рис. 3 приведена диаграмма изменения напряжения в течение суток.



Рис. 4. Изменение напряжения за сутки: а – на КТП; б – на отдаленном потребителе

Из рис. 4 видно, что на КТП напряжение завышено, а в конце фидера напряжение занижено.

Коэффициент несимметрии напряжения у потребителей превышает в два раза предельно допустимое значение [1] и составляет 9%.

Отклонение напряжения у потребителей превышает больше чем в два раза предельно допустимое значение [1] и составляет 23 %.

Стоимость замены провода на СИП:

$З_L = C_L * L = 780 * 1.520 = 1185$ тыс. руб.,

где C_L – стоимость реконструкции линии, тыс. руб./км (средняя стоимость реконструкции ЛЭП на напряжение 0.4 кВ для Республики Татарстан равна 780 тыс.руб./км; L – длина ЛЭП, км.

Установка ТВМГ дешевле реконструкции ЛЭП. С помощью него на данном участке ЛЭП можно решить ряд задач, способствующих улучшению ПКЭ, важнейшими из которых является стабилизация напряжения в пределах, прописанных в НТ, включая часы максимума нагрузок, а также уменьшению несимметрии напряжения.

Список литературы

1. ГОСТ 13109. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с. (Серия «Высшее образование»).
3. Ахметшин А.Р. Увеличение пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // IV Слет молодых энергетиков Республики Башкортостан: Сборник докладов молодежной научно-технической конференции. – Уфа: Издательство “Скиф”, 2010 – 586 с., илл.
4. Приложение к протоколу заседании Правления ОАО “РАО “ЕЭС России” от 21.01.2008 № 1805пр
5. Сайт компании ООО “СКЭ – ЭЛЕКТРО” URL: http://www.ske-electro.ru (дата обращения: 08.02.11)

ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Баранов В.А.

Научный руководитель Шмойлов А.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dar14@sibmail.com

Ограничителями вырабатываемых синхронным генератором электрических величин являются допустимые роторный ток возбуждения $i_f^{\text{пд}}$ и статорный ток $i^{\text{пд}}$. Первый не должен превышать на 6% номинальное значение роторного тока $i_{f\text{н}}$, т.е. $i_f^{\text{пд}} = 1,06 i_{f\text{н}}$, а второй – на 5% статорного номинального тока , т.е. $i^{\text{пд}} = 1,05 i_{\text{н}}$. Данные предельные соотношения для каждого режима генератора могут быть наглядно отображены на круговой векторной диаграмме рис. 1 для заданного значения фазного напряжения *u*. Первая окружность (правая активная часть в виде сплошной дуги, а левая в виде пунктира) сформирована из центра левого конца вектора напряжения *u* радиусом предельной ЭДС в поперечной оси $e_q^{\text{пд}f}$, пропорциональной предельному току возбуждения $i_f^{\text{пд}}$. Вторая окружность (левая активная часть в виде сплошной дуги, а правая в виде пунктира) определена из центра правого конца вектора напряжения *u* радиусом предельного падения напряжения $i^{\text{пд}} z_{\text{г}}$ на синхронном сопротивлении $z_{\text{г}}$ от предельного статорного тока $i^{\text{пд}}$. В поле активной части окружностей показаны четыре предельные векторные диаграммы: сплошными линиями в точке пересечения окружностей; пунктиром в правой части, определяемой предельным током возбуждения; в левой части две диаграммы, определяемые предельным статорным током в виде точек и штрих-пунктира, последняя при предельном угле $\delta_4 = 90^\circ$ между напряжением *u* и предельной ЭДС в поперечной оси $e_q^{\text{пд}}$ по условию тока статора. На двух предельных диаграммах в виде пунктира и точек показаны также векторные диаграммы возможных рабочих режимов (сплошные линии). Как рабочие, так и предельные электрические величины определяются соответственно углами нагрузки $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, и углами между напряжением и предельными ЭДС в поперечной оси $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$. ЭДС в поперечной оси в относительных единицах как предельной $e_{q*}^{\text{пд}} = e_q^{\text{пд}} / u_{\text{н}}$, так и в рабочем режиме $e_{q*} = e_q / u_{\text{н}}$, ($u_{\text{н}}$- номинальное напряжение генератора) практически равно относительному значению предельного тока возбуждения $i_{f*}^{\text{пд}} = i_f^{\text{пд}} / i_{fxx}$ при базисном токе возбуждения холостого хода i_{fxx}.

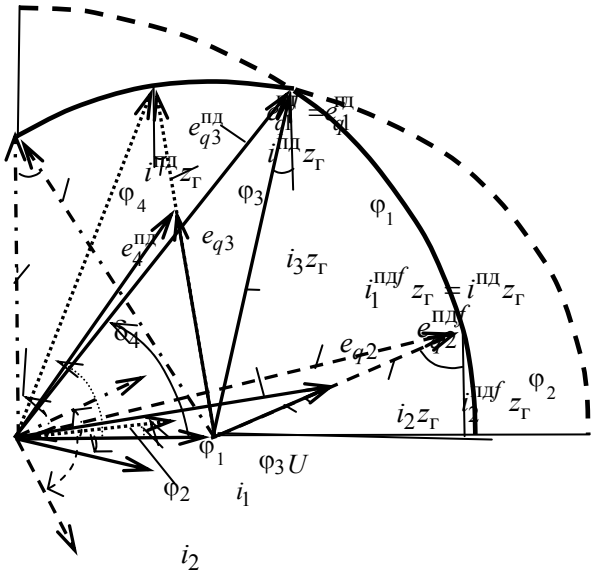


Рис. 1. Диаграмма рабочих и предельных режимов станционной электропередачи: φ – угол тока I относительно напряжения u, δ – угол ЭДС в поперечной оси e_q относительно напряжения u, верхний индекс «пд» означает предельно-допустимую электрическую величину по условию предельного тока статора, а с добавлением индекса f по условию тока ротора, нижний индекс q использован для обозначения ЭДС в поперечной оси, г для обозначения синхронного сопротивления генератора, а цифровой номер – для обозначения рабочих режимов

Используемые в эксплуатации части дуг окружностей показаны сплошными линиями, а не используемые пунктиром. Точка сочленения используемых дуг может быть найдена из уравнения предельной ЭДС по условию тока возбуждения $e_q^{\text{пд}f}$, выраженной через предельные величины по условию предельного тока статора, $i^{\text{пд}}$, т.е. $e_q^{\text{пд}f\,2} = (u + i^{\text{пд}} z_{\text{г}} \sin\varphi)^2 + (i^{\text{пд}} z_{\text{г}} \cos\varphi)^2$, которое наиболее практично разрешается относительно $\sin\varphi$ и угла φ между током и напряжением статора т.е. $\sin\varphi = (e_q^{\text{пд}f\,2} - u^2 - i^{\text{пд}2} z_{\text{г}}^2) / 2 i^{\text{пд}} z_{\text{г}} u$, а

φ равно арксинусу приведенного отношения, причем $e_q^{\text{пд}f} = i_{f*}^{\text{пд}} u_{\text{н}}$, где $u_{\text{н}}$ – номинальное напряжение генератора.

Предельный ток статора $i^{\text{пд}}$ (левая часть круговой диаграммы относительно точки сочленения окружностей рис. 1) остается неизменным. Ток же статора $i^{\text{пд}f}$ по условию предельного тока ротора (правая часть диаграммы) меняется и может быть найден из квадратного уравнения, полученного из выражения гипотенузы предельной ЭДС $e_{q2}^{\text{пд}f}$ в поперечной оси для правого участка диаграммы, т.е. режимами, определяемых токами и углами загрузки генератора типа i_2 и φ_2, также предельным статорным током $i_2^{\text{пд}f}$ по условию предельно допустимого тока возбуждения $i_f^{\text{пд}}$

$$e_{q2}^{\text{пд}f\,2} = (u + i_2^{\text{пд}f} z_{\text{г}} |\sin\varphi_2|)^2 + (i_2^{\text{пд}f} z_{\text{г}} |\cos\varphi_2|)^2 .$$

Отсюда можно найти

$$i_2^{\text{пд}f} = -\frac{u}{z_{\text{г}}}|\sin\varphi_2| \pm \sqrt{(\frac{u}{z_{\text{г}}}|\sin\varphi_2|)^2 - \frac{u^2 - e_2^{\text{пд}f\,2}}{z_{\text{г}}^2}} .$$

Полученные ранее [1] результаты показывают, что точка сочленения дуг предельных режимов разных типов генераторов (рис. 1) может характеризоваться весьма разными значениями параметров. Поэтому чтобы контролировать предельные электрические величины в эксплуатационных условиях, необходимо для каждого генератора предварительно построить круговые векторные диаграммы, по которым в зависимости от точки сочленения дуг окружностей, можно оценивать предельные запасы по интересующим электрическим величинам для случаев как предельной величины тока возбуждения (правая часть диаграммы), так и предельной величины тока статора (левая часть диаграммы).

Зная предельный ток статора $i^{\text{пд}}$ (левая часть диаграммы) и его допустимое значение $i^{\text{пд}f}$ по условию допустимого значения тока возбуждения (правая часть диаграммы), можно для каждого рабочего режима загрузки генератора найти предельно допустимое значение полной, активной и реактивной мощности агрегата, т.е. $s^{\text{пд}} = 3ui^{\hat{}\,\text{пд}} = n^{\text{пд}} + jq^{\text{пд}}$ по допустимому току статора. $s^{\text{пд}f} = 3ui^{\hat{}\,\text{пд}f} = n^{\text{пд}f} + jq^{\text{пд}f}$ по допустимому току ротора. Значения мощностей можно сравнить с фактическими текущими мощностями $s = 3ui^{\hat{}} = n + jq$ и определять запасы режима генератора по активной и реактивной мощности.

Несложно при этом найти реактивную мощность, принимаемую генератором из сети при недовозбуждении генератора (левая часть диаграммы). Это может быть выполнено так. Сначала нужно определить $i_2^{\text{пд}f}$, но для левой части диаграммы, т.е. токи типа $i_3^{\text{пд}f}$, $i_4^{\text{пд}f}$ и по выражению для $i_2^{\text{пд}f}$ с подстановкой в него углов φ_3 и φ_4. Далее найти разности комплексов $\delta i_3^{\text{пд}} = i_3^{\text{пд}f} - i_3^{\text{пд}}$, $\delta i_4^{\text{пд}} = i_4^{\text{пд}f} - i_4^{\text{пд}}$, в которых $i_3^{\text{пд}}$ и $i_4^{\text{пд}}$ равны по величине $i^{\text{пд}}$, но с разными углами: соответственно φ_3 и φ_4. Сопряженные комплексы полученных разностей умножить на напряжение на выводах генератора. В результате получатся псевдомощности $\delta s_3^{\text{пд}f}$, $\delta s_4^{\text{пд}f}$, т.е.:

$$\delta s_3^{\text{пд}f} = 3u\delta i_3^{\hat{}\,\text{пд}} = \delta n_3^{\text{пд}f} + \delta q_3^{\text{пд}f} ,$$

$$\delta s_4^{\text{пд}f} = 3u\delta i_4^{\hat{}\,\text{пд}} = \delta n_4^{\text{пд}f} + \delta q_4^{\text{пд}f} .$$

Реактивная составляющая псевдомощностей $\delta q_3^{\text{пд}f}$, $\delta q_4^{\text{пд}f}$ является реактивной мощностью, которую генераторы получают из сети в режиме недовозбуждения.

При нанесении на диаграмму рис. 1 фактических электрических величин предельные запасы могут быть идентифицированы наглядно. Диаграмма, таким образом, является математической моделью или алгоритмом режимов генератора, которая может использоваться для диспетчерского ведения режимов.

Кроме запасов по токам статора и ротора, диаграмма позволяет также контролировать режимы генератора в части статической устойчивости по приближению угла δ между напряжением на выводах *u* и ЭДС e_q в поперечной оси синхронных электрических машин к 90°. Используя рекомендуемые запасы по статической устойчивости в нормальных и послеаварийных условиях, например, [2] можно графически определять возможность (вероятность) потери статической устойчивости генератора.

Диаграмма рис. 1 может использоваться для разработки измерительных устройств и систем контроля генератора по предельным величинам.

Список литературы

1. Батурин А.А. Контроль предельных режимов синхронного генератора: Энергетика: экология, надежность, безопасность // Тр. XI всерос. студ. науч.-техн. сем. В 2-х т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – Т. 1 – С. 146–151.

2. Электротехнический справочник: В 4-х т., Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов) – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 964 с.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Бардаков О.А.

Научный руководитель: Шуликин С.Н. ст. преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30E-mail: olegkz85@mail.ru

В современной энергетике принято направление на замену морально устаревших кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией на кабели с изоляцией на основе сшитого полиэтилена. Наибольшее распространение среди которых получили однофазные кабели. Неотъемлемой частью силового кабеля на среднее напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена является металлический проволочный экран. Необходимость применения которого, возникает из-за высокого напряжения в токопроводящей жиле. Металлический экран позволяет устранить электрическое поле на поверхности кабеля, но в тоже время, заземление которого более чем в одном месте, приводит к появлению в нем значительных токов (потерь мощности). [1]

Борьба с потерями в экранах связана с недоиспользованием пропускной способности кабеля, и как следствие завышение сечения токопроводящей жилы, что в свою очередь ведет к повышению стоимости кабельной линии.

Для снижения потерь в экране применяются специальные схемы заземления (соединения) экранов, такие как:

- частичное разземление экранов;

заземление с транспозицией экрана.

Применение данных схем требует использование специальных устройств транспозиции (транспозиционная муфта с ОПН, транспозиционные колодцы) и специальные соединительные кабельные муфты с разделением экрана, что приводит к усложнению монтажа и испытаний кабельных линий, а в конечном итоге ведет к значительному повышению затрат на монтаж и эксплуатацию кабельной линии. [2]

Индуцируемые токи в проволочном экране также возможно уменьшить с увеличением магнитной проницаемости разделительного слоя, расположенного между электропроводящим экраном по изоляции и металлическим экраном.

Учитывая вышеизложенное, одним из перспективных направлений борьбы с потерями в экранах является разработка конструкции силового кабеля с магнитодиэлектрическим экраном, расположенным между изолированной токопроводящей жилой и металлическим экраном, применение которого позволит снизить величину продольных токов в экране.

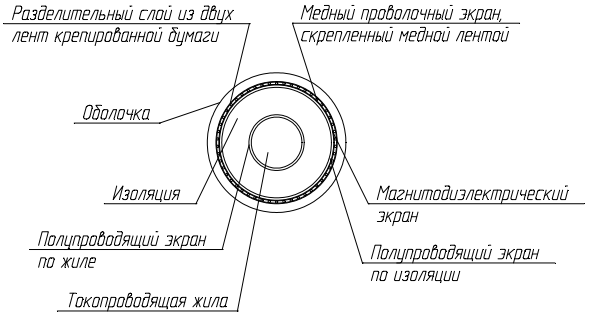


Рис. 1. Конструкуия силового кабеля с магнитодиэлектрическим экраном

На рис. 1. представлена конструкция силового кабеля с магнитодиэлектрическим экраном содержащая токопроводящую жилу и последовательно расположенные на ней наложенные экструзией первый экран из электропроводящей сшитой полимерной композиции, изоляцию из сшитой композиции полиэтилена, второй экран из электропроводящей сшитой полимерной композиции, магнитодиэлектрический экран в виде полимерной ленты с феромагнитным мелкодисперсным наполнителем [3, 4] (размер частиц от 0,2 до 50 мкм) наложенной методом обмотки, металлический экран из медных проволок, скрепленных спирально наложенной с зазором медной лентой, разделительный слой в виде двух лент крепированной бумаги, наложенной методом обмотки, экструдированную оболочку из полимерной композиции. (ТУ 16.К71-025-96 и ТУ 16.К71-273-98).

Применение данного конструктивного элемента (магнитодиэлектрического экрана) приводит к увеличению сопротивления металлического экрана переменному току, что позволяет:

- снизить электрические потери в экране, а значит увеличить пропускную способность кабеля;
- снизить величину напряжения в экране при нормальных и аварийных режимах, т.е. повысить надежность работы кабеля и безопасность его обслуживания.

Магнитодиэлектрический экран представляет собой полимерную ленту с ферромагнитным (мелкодисперсным) наполнителем, накладываемую на кабель методом обмотки.

Для оценки эффективности применения магнитодиэллектрического экрана в программе ELCUT проводилось моделирование кабельной линии состоящей из трех одножильных кабелей на среднее напряжение (рис. 2.) с изоляцией из сшитого полиэтилена, проложенных в плоскости.



Рис. 2. Прокладка кабельной линии в плоскости

На рис. 3. показана картина распределения магнитных полей кабельной линии на напряжение 35 кВ проложенной в плоскости, в которой применялись кабели стандартной конструкции без применения магнитодиэлектрического экрана.

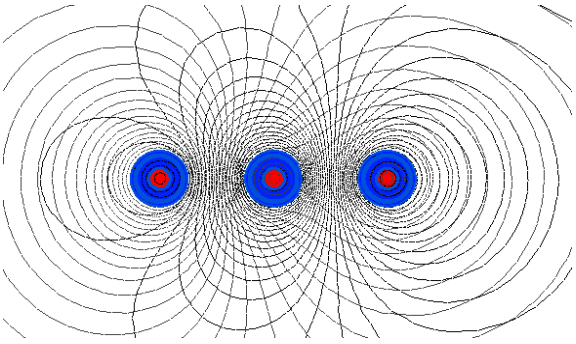


Рис. 3. Распределение магнитных полей со стандартной конструкцией силового кабеля без магнитодиэлектрического экрана

По результатам полученным при моделировании определили: что максимальная плотность тока индуцируемая в медном проволочном экране составила $j=2{,}41*10^6$ А/м^2

На рис. 4. представлена аналогичная предыдущей кабельная линия, отличающаяся тем, что здесь применялись кабели той же конструкции но с применением магнитодиэлектрического экрана.

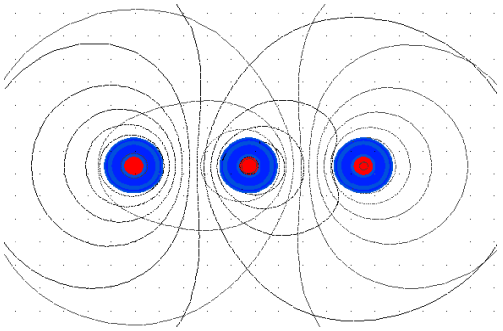


Рис. 4. Распределение магнитных полей с конструкцией кабеля в которой применяется магнитодиэлектрический экран

С применением магнитодиэлектрического экрана интенсивность магнитного поля снижается, и максимальная плотность тока наводимая в экране составила $j=3{,}18*10^5$ А/м^2

Применение магнитодиэлектрического экрана приводит к незначительному увеличению себестоимости кабеля (3-7%), при этом позволяет снизить величину токов наводимых в экране с I=60 А до I=8 А. В результате чего пропускная способность кабеля увеличивается, а также исключаются дорогостоящие монтажно-эксплуатационные затраты на этапе проектирования кабельного изделия.

Список литературы

1. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии М.:Энергоатомиздат, 1996. С 241.
2. Дмитриев М. В. Однофазные силовые кабели 6-500 кВ. Потери в экранах и эффективность транспозиции // Новости электротехники. 2010. № 6. С. 23-26.
3. Гордиенко В.П., Мустяца О.Н., Сальников В.Г. Влияние дисперсности частиц неорганической добавки на структуру и свойства линейного полиэтилена. //Пластические массы. 2007.№ 12. С. 11-13.
4. Рамазанов М.А., С.Дж. Керимли., Садыхов Р.З. Влияние постоянного магнитного поля на прочностные, диэлектрические и магнитные свойства композиций на основе полимеров и ферромагнетиков. // Пластические массы. 2005. №10. С. 5-6.

СРАВНЕНИЕ ОТКЛИКОВ НА ИМПУЛЬСНОЕ И ГАРМОНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУКТУРЫ ИЗ МОДАЛЬНЫХ АНТИПОДОВ ПЛОСКОГО ТРЕХЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М.

Научный руководитель: Газизов Т.Р.

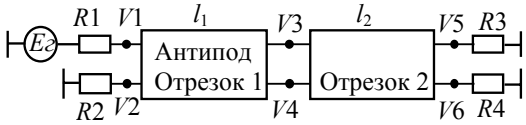
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: ivan-bevzenko@yandex.ru

Важную роль в обеспечении качества электроэнергии при электроснабжении объектов играет помехозащищенность. Часто помехи передаются по проводникам, что приводит к нарушению нормального функционирования объектов. Новой угрозой стали сверхкороткие импульсы, способные вывести аппаратуру из строя. Это вынуждает создавать специальные устройства защиты, основанные на новых технических принципах [1]. Зная такие параметры кабеля как длина (l) и разность погонных задержек мод ($\Delta\tau$), можно осуществлять деление опасного сверхкороткого импульса на два импульса в двое меньшей амплитуды. Каскадное соединение трехпроводных отрезков даст деление каждого импульса на два импульса вдвое меньшей амплитуды [2].

В работе [3] показано, как проблема защиты от сверхкоротких импульсов может усугубиться из-за явления разложения и последующего восстановления импульса (РПВИ). Для реализации РПВИ необходимо, чтобы один отрезок линии передачи был антиподом относительно другого отрезка.

В предыдущих работах рассматривался только временной отклик исследуемых структур на импульсное воздействие. Есть предположение, что при гармоническом воздействии можно достичь деления исходного импульса больше чем в два раза по амплитуде, не прибегая к последовательному делению каскадного соединения отрезков.

Цель этой работы – выполнить сравнение откликов на импульсное и гармоническое воздействия структуры из модальных антиподов плоского трехжильного кабеля ВВГп−3×1,5.



Рису. 1. Эквивалентная схема исследуемой структуры

Моделировалась структура из двух отрезков, один из которых является антиподом относительно другого. Эквивалентная схема структуры изображена на рис. 1, где $Eг$ – генератор э.д.с., R_1–R_4 – резисторы (для согласования линии), l_1, l_2– длины отрезков, $V1$–$V5$ – вычисляемые формы напряжения импульсного сигнала.

В системе компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT [4] построено поперечное сечение кабеля марки ВВГп−3×1,5 с воздушным зазором между слоями изоляции (рис. 2*а*, где ε_{r1}=1, ε_{r2}=3, ε_{r3}=3, ε_{r4}=1, А – активный проводник, к которому подключен генератор импульса; О – опорный проводник; П – пассивный проводник, H − внешняя изоляция). На рис. 1*б* показан увеличенный фрагмент воздушного зазора, толщиной h=0,02 мм. Воздействие подается между активным и опорным проводниками, а напряжение вычисляется относительно опорного проводника. Длина отрезка 2 оставалась неизменной (l_2=1,3 м), длина отрезка 1 подбиралась согласно (1), где $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ – разность погонных задержек четной и нечетной мод отрезков 1 и 2. Параметры импульса воздействия: форма – трапеция; время нарастания t_r=100 пс; время спада t_f=100 пс; время плоской вершины t_a=200 пс, амплитуда э.д.с. 1 В.

$$l_1 = -l_2 \cdot \Delta\tau_1 / \Delta\tau_2 \qquad (1)$$

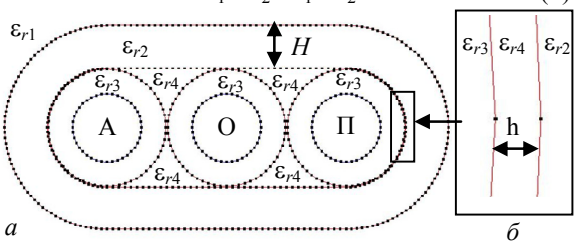


Рис. 2. Поперечное сечение кабеля ВВГп−3×1,5

В табл. 1 представлены параметры исследуемой структуры, где l_1 и l_2 – длина отрезков 1 и 2, H_1 и H_2 – внешняя изоляция отрезков 1 и 2. В работе [5] показано, что изменение параметров диэлектрического слоя оказывает влияние на погонные задержки. Таким образом, антипод моделируется изменением значения ε_{r2}.

Таблица 1

Параметры структуры

l_1, м	l_2, м	H_1	H_2
1,30294	1,3	ε_{r2}=15,01	ε_{r2}=3,01

В табл. 2 приведены амплитуды импульсов ($V1$, $V5$, $V3_1$, $V3_2$), полученные при вычислении временного отклика (рис. 3). $V1$, $V5$, $V3$ – соответствующие формы сигналов на ближнем, дальнем концах кабеля и на стыке между отрезками 1 и 2.

Таблица 2

Амплитуды импульсов

$V1$, В	$V3_1$, В	$V3_2$, В	$V5$, В
0,46	0,28	0,22	0,44

В табл. 3 представлены параметры отрезков исследуемой структуры, где **C** и **L** – матрицы емкости и индуктивности.

Таблица 3

*Матрицы **C** и **L** отрезков 1 и 2*

Параметры	Отрезок 1		Отрезок 2	
C, пФ/м	81,862	-23,9469	55,4699	-10,0066
	-23,9469	81,862	-10,0066	55,4699
L, нГн/м	458,652	111,158	458,652	111,158
	111,158	458,652	111,158	458,652

В табл. 4 представлены параметры отрезков исследуемой структуры, где Z_e и Z_o – волновые сопротивления четной и нечетной мод, $Z = \sqrt{Z_e \cdot Z_o}$ – согласующие сопротивления на концах отрезков, τ_e и τ_o – погонные задержки четной и нечетной мод.

Таблица 4

Параметры отрезков 1 и 2

Параметры	Отрезок 1	Отрезок 2
Z_e=Z_{11}+Z_{12}, Ом	99,1903	111,953
Z_o=Z_{11}–Z_{12}, Ом	57,3076	72,8502
Z_s, Ом	75,3947	90,3093
τ_e, нс	5,74462	5,08974
τ_o, нс	6,06366	4,76998
$\Delta\tau$, нс	0,31904	0,319761

На рис. 3 показан временной отклик исследуемой структуры, а на рис. 4 – частотный.

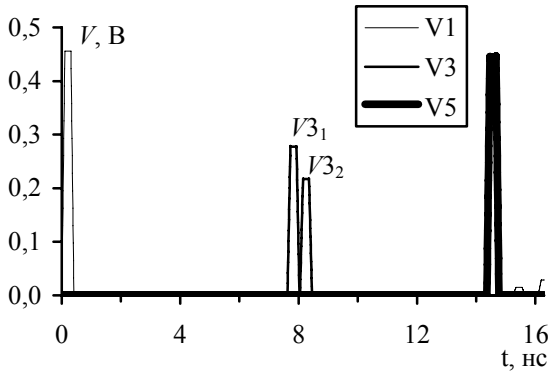


Рис. 3. Временной отклик

Из рис. 4 следует, что на частоте 1,21 ГГц амплитуда на стыке между отрезками 1 и 2 может снизиться до значения 0,012 В ($V3$). Таким образом, при гармоническом воздействии можно достичь ослабления сигнала в 40 раз, не прибегая к последовательному делению каскадного соединения отрезков. Из рис. 3 и 4 видно, что амплитуда сигнала в конце структуры может восстановиться до значения амплитуды в начале структуры (потери в проводниках и диэлектриках не учитывались). Учет и использование данного явления могут оказаться весьма актуальными.

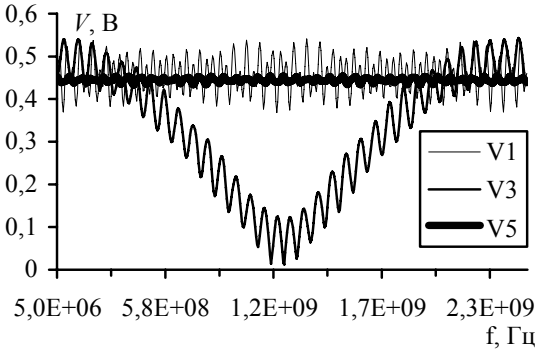


Рис. 4. Частотный отклик

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации постановления 218 Правительства РФ.

Список литературы

1. *Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов. Технологии ЭМС. №4. 2006. С. 40–44.*
2. *И.Г. Бевзенко, А.М. Заболоцкий. Модальная фильтрация как средство защиты от сверхкоротких импульсов // Томск: 4-ая Межд. научно-практическая конф. «Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития», 31 октября – 3 ноября 2007 г. С. 258–260.*
3. *Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение и восстановление импульса в линиях передачи. Электромагнитные волны и электронные системы. №11. 2006. С. 4–7.*
4. *www.talgat.org*
5. *Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Влияние параметров дополнительного диэлектрического слоя на погонные задержки кабеля марки АППВ-3×6 // Томск: Томский политехнический университет, XIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2008», 24 марта – 28 марта 2008 г. С. 13–14.*

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Бедретдинов Р.Ш., Соснина Е.Н.

Научный руководитель: Соснина Е.Н., к.т.н., доцент

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24
E-mail: sosnina@nntu.nnov.ru

Применение систем бесперебойного электроснабжения позволяет предотвратить перебои в работе и выход из строя ответственных потребителей электроэнергии. Такие системы строятся на основе источников бесперебойного питания (ИБП), источников резервного питания и автономных резервных источников, например, дизель-генераторных установок.

В таблице 1 приведена классификация и область применения ИБП.

Таблица 1

Классификация и область применения ИБП

Мощность / Параметры		Малой мощности (0,25-3 кВА)	Средней мощности (3-10 кВА)	Большой мощности (10 кВА и более)
Конфигурация входных/выходных фаз	1:1	+	+	–
	3:1	–	+	+
	3:3	–	+	+
Автономный		+	+	+
Время резервного питания		5÷30 мин; 0,5÷24 ч.	5÷30 мин; 0,5÷24 ч.	5÷30 мин; 0,5÷24 ч.
Сфера быта		+	–	–
Серверы, сетевое оборудование		+	+	–
Телекоммуникации		–	+	+
Тяжелая промышленность		–	–	+

Основными электроприемниками сферы быта являются ПК, ноутбуки, сетевое оборудование, принтеры, бытовая звуковоспроизводящая аппаратура. К следующей группе электроприемников относятся серверы, сетевое оборудование, системы медицинской диагностики и управления, образование, банковские системы, терминалы, устройства автоматики. Телекоммуникация включает в себя базовые телекоммуникационные станции, межсетевые коммуникации, системы теле- и радиовещания. К сфере тяжелой промышленности относится энергетика, нефтегазовая промышленность, телекоммуникационные центры.

В настоящее время наиболее распространены ИБП следующих типов защит:

1) ИБП с переключением (*Off-Line UPS*);

2) ИБП, взаимодействующий с сетью (*Line-Interactive UPS*);

3) ИБП с двойным преобразованием энергии (*On-Line UPS*).

На рис. 1 приведены структурные схемы указанных типов ИБП [1].

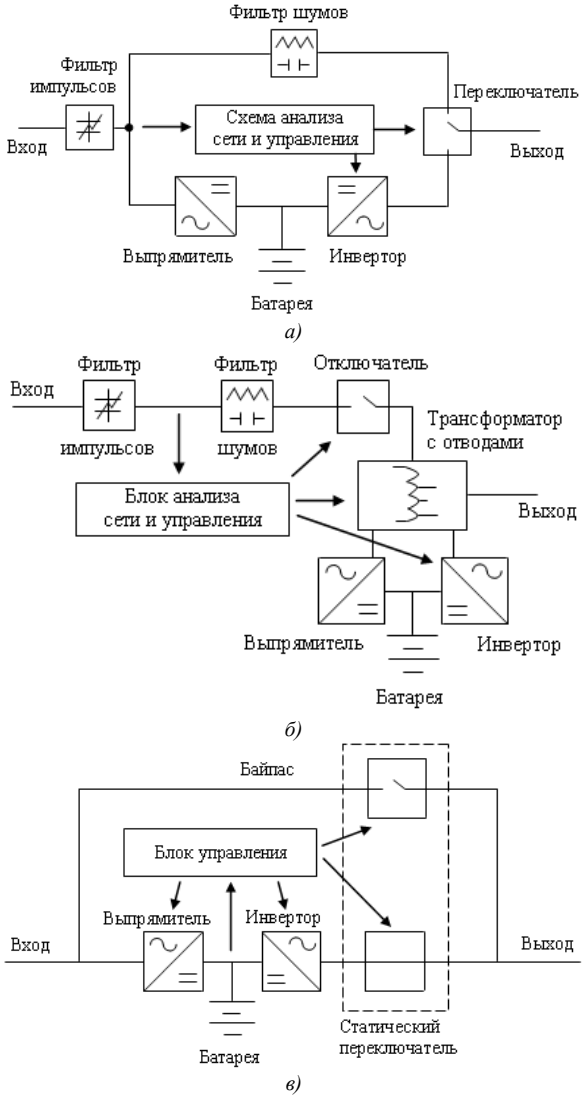


Рис. 1. Структурные схемы ИБП: а) Off-Line UPS; б) Line-Interactive UPS; в) On-Line UPS

Off-line UPS (рис. 1, а) – это самые дешевые и простые ИБП. Применяется для защиты некритичной нагрузки от отключения напряжения в районах со стабильным напряжением без серьезных помех.

Line-interactive UPS (рис. 1, б) – данные ИБП средние по стоимости и самые распространенные на рынке ИБП. Применяется для защиты не очень ответственной нагрузки в районах, не имеющих серьезных помех.

On-Line UPS (рис. 1, б) – это ИБП с максимальным классом защиты. Применяется для защиты критичной ответственной нагрузки в районах с серьезными помехами.

Проведен сравнительный анализ рассмотренных ИБП [3], показавший., что *on-line* ИБП по свойствам заметно отличаются от ИБП других типов. Онлайновые машины гарантируют полную защиту от всех возникающих аварий, в отличие от ИБП *off-line* и *line-interactive*, которые, например, не защищают от сбоев, вызванных нестабильностью частоты.

Следует отметить, однако, что широко используемые подходы не позволяют оказывать активное воздействие на компенсацию возможного отрицательного влияния установок потребителей на параметры качества электрической энергии, питающей сети, а также на эффективность её использования.

Предлагается принципиально новая технология для бесперебойного электроснабжения потребителей на основе комплексного использования новых и возобновляемых источников энергии (ветрогенератор, солнечные батареи и др.), общепромышленной сети, автономного генератора (дизель-генератор) и накопителей энергии [2]. В отличие от существующих схемотехнических решений, использующих последовательное преобразование параметров электрической энергии, предлагается архитектура *On-line,* состоящая из двух параллельных линий преобразования, регулирования и стабилизации параметров электрической энергии. Линии питания, объединенные на выходных трехфазных шинах, работают синхронно на общую нагрузку. На основе предложенной технологии создан экспериментальный образец устройства сопряжения разнородных источников энергии с потребителем (УСИЭ) мощностью 10 кВА. На Рис. 2 показана структурная схема УСИЭ.

Постоянство питания нагрузки обеспечивается за счет поочередного подключения одного из двух первичных источников электропитания: основная сеть – единая энергосистема (ЕЭС); резервный автономный источник (дизель-генератор ДГ).

Линия основного преобразования, являющаяся базовым блоком, состоит из следующих узлов: БЭМП – устройство измерений, контроля и защиты (подключаемый внешний модуль); АВР – устройство автоматического включения резервного питания; ТТС – трансформаторно-тиристорный стабилизатор переменного напряжения. Дополнительная линия преобразования предназначена для подключения устройств аккумулирования электроэнергии и альтернативных источников электропитания.

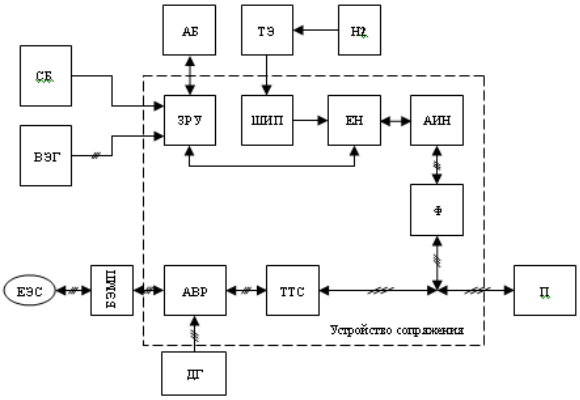


Рис. 2. Структурная схема устройства сопряжения

В состав дополнительной линии входят: ЕН – емкостной накопитель; ЗРУ – зарядно-разрядное устройство; ШИП – широтно-импульсный преобразователь; АИН – автономный инвертор напряжения; Ф – фильтр. Емкостной накопитель является источником питания автономного инвертора напряжения. Зарядно-разрядное устройство обеспечивает сопряжение выходных параметров напряжения ветроэлектрогенератора с ЕН через промежуточную буферную аккумуляторную батарею (АБ), солнечных батарей с АБ, АБ с ЕН. ШИП производит заряд конденсаторов ЕН от топливных элементов (ТЭ). Стрелки на линиях связи структурной схемы УСИЭ (рис. 2) обозначают направления потоков мощности электрической энергии между отдельными структурными элементами и источниками питания. АИН помимо электропитания потребителя от различных источников электроэнергии может поддерживать качество электрической энергии, регламентируемое ГОСТ 13109-97.

Предложенная технология позволяет обеспечить бесперебойность электроснабжения потребителей, требуемое качество электроэнергии, повысить эффективность использования альтернативных источников энергии, расширяя область их применения, как в быту, так и на производстве.

Список литературы

1. Источники бесперебойного питания. Сетевые фильтры. – М.: МИРЭА, 2008. -11с.
2. Система бесперебойного энергоснабжения, патент на полезную модель № 78012, 10.11.2008 г.
3. Бедретдинов Р.Ш., Соснина Е.Н. Технические решения по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии XVI Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: Материалы докладов. – Н.Новгород: Изд. Гладкова О.В., 2011.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА АДАПТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ И ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Беляев Н.А.

Научный руководитель Хрущёв Ю.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: I_am@sibmail.com

Одно из направлений развития электроэнергетики составляет разработка и совершенствование систем автоматического управления процессами электроэнергетических систем (ЭЭС). К ним в частности относятся устройства точной автоматической синхронизации генераторов и частей ЭЭС. Совершенствование таких устройств предполагает снижение продолжительности процедуры синхронизации и повышение качества сопровождающих переходных процессов.

Общим недостатком существующих систем синхронизации является отсутствие формализованной процедуры перевода используемых параметров состояния генераторов и частей ЭЭС к необходимым для точной синхронизации значениям. Вследствие чего используются такие действия, как подгонка и ожидание, которые по своему существу вносят неопределённость в задачи повышения точности и уменьшения длительности достижения конечных значений используемых для точной синхронизации режимных параметров [1, 2]. Так, например паспортное время включения на параллельную работу для синхронизатора СПРИНТ-М варьируется от 1 до 30 минут, для синхронизатора SYNCHROTACT от 0,5 до 15 минут [3, 4].

Более эффективным для решения этой и других задач автоматического управления представляется подход, развиваемый в Томском политехническом университете. Суть этого подхода заключается в приложении методов автоматического управления программным движением объектов [5], к задачам автоматического управления динамическими переходами электроэнергетических систем [6] в том числе и к задаче синтеза устройств адаптивной синхронизации генераторов с сетью.

Устройство адаптивной синхронизации – это микропроцессорное устройство, способное в ходе реального времени анализировать результаты текущих измерений, формировать на их основе программные (желаемые) траектории движения (ПТД) для параметров синхронизации, формировать законы управления, обеспечивающие движение в некоторой окрестности ПТД и корректировать ПТД в ходе процесса в соответствии с результатами измерений и анализа. Свойство адаптивности в данном случае означает, что необходимые конечные значения параметров синхронизации с заданной точностью достигаются при наличии неопределённых внешних возмущений и неполной информации о свойствах и условиях функционирования синхронизируемых объектов [5].

Параметрами синхронизации в рассматриваемой задаче являются параметры относительного движения векторов напряжения генератора $\underline{U}_Г$ и сети $\underline{U}_C$: относительное ускорение $\alpha=\alpha_{U\text{г}}-\alpha_{U\text{с}}$, относительная скорость $\upsilon=\omega_{U\text{г}}-\omega_{U\text{с}}$ и относительное значение угла $\delta=\delta_{U\text{г}}-\delta_{U\text{с}}$. Цель построения ПТД состоит в том, чтобы в течение интервала управления $T_У$ (к моменту $t=t_T$ на рисунке 1) она обеспечивала плавный переход всех обозначенных компонентов к нулевым значениям: $\delta_{pT} = 0$; $\upsilon_{pT} = 0$; $\alpha_{pT} = 0$.

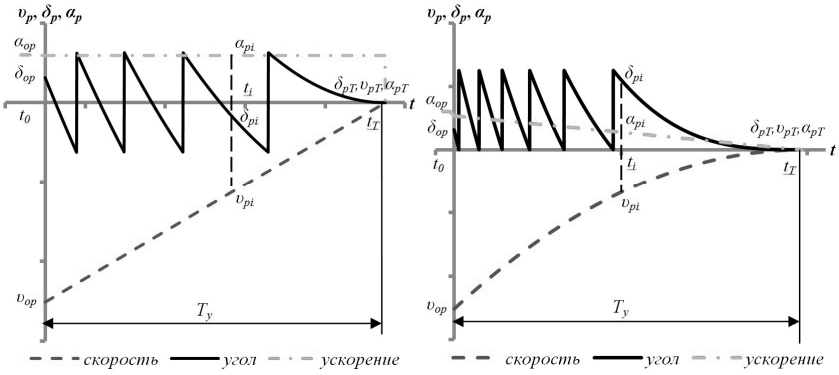
Основным управляющим воздействием применительно к задаче синхронизации генератора с сетью является изменение мощности турбины (P_T), через которую может быть выражено относительное ускорение на основании уравнения движения ротора генератора (1).

$$\alpha = \frac{(P_T - P)\omega}{T_j}, \qquad (1)$$

где T_j – постоянная инерции ротора (с), ω – угловая скорость (рад/с), P – мощность генератора (о.е.).

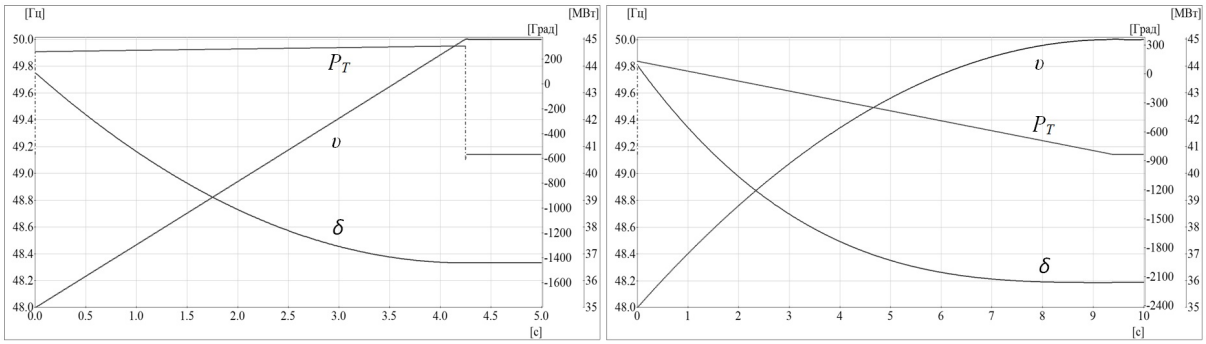
На основе проведённых исследований и с учётом ограничений, вводимых реальными устройствами воздействия на турбину, в настоящее время выделено два наиболее перспективных алгоритма построения ПТД: равноускоренного движения (рис. 1, а) и равномерно ускоренного движения (рис. 1, б).

Алгоритм равноускоренного движения предполагает обеспечение постоянного относительного ускорения на всём интервале управления. В конце интервала управления относительный угол δ_p и относительная скорость υ_p приобретают нулевые значения, а ускорение обнуляется скачком.



а) б)

Рис. 1. Примеры построения ПТД по алгоритмам:
а – равноускоренного движения, б – равномерно ускоренного движения



а) б)

Рис. 2. Результаты моделирования процесса синхронизации по алгоритмам ПТД:
а – равноускоренного движения, б – равномерно ускоренного движения

Алгоритм равномерно ускоренного движения подразумевает линейное изменение ускорения таким образом, чтобы к концу интервала управления все параметры относительного движения векторов напряжения плавно подходили к нулевым значениям.

Реализация управляющих воздействий в задаче синхронизации частей энергосистем может осуществляться не только посредством изменения вращающих моментов турбин. Воздействия могут быть сформированы с помощью гибких устройств управления – FACTS-устройств [1,6] и любых других устройств, позволяющих произвести точную коррекцию параметров для успешной синхронизации.

В ходе исследовательской работы было проведено моделирование алгоритмов работы устройства адаптивной синхронизации в программном комплексе Mustang на основе вышеназванных алгоритмов построения ПТД. При этом воспроизводилась следующая схемно-режимная ситуация: энергосистема состоит из двух изолированных районов. Изменение параметров синхронизации осуществляется с помощью регулирующих устройств первого энергорайона, второй энергорайон моделируется шинами бесконечной мощности. Инерционность исполнительных органов не учитывается.

Полученные результаты моделирования представлены на рисунке 2. В силу особенностей моделирующего комплекса зависимость относительного угла от времени представлена в виде убывающей кривой.

Как видно из рисунка 2 представленные ранее алгоритмы синхронизации удалось полностью повторить в ходе моделирования.

Исходя из результатов моделирования, можно сделать вывод о целесообразности развития принятого подхода применительно к разработке устройств точной автоматической синхронизации генераторов и частей ЭЭС. Важной задачей при этом является синтез измерительного блока, способного производить достаточное по точности измерение параметров относительного движения векторов напряжения, включая относительное ускорение и его первую производную.

Список литературы

1. Абеуов Р.Б. Синтез адаптивных синхронизаторов для мини-энергосистем с управлением по программным траекториям движения генераторов и подсистем: Дисс. канд. техн. наук / ТПУ. – Томск, 2008. – 167 с.

2. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 2000. – 504 с.: ил.

3. Устройство точной автоматической синхронизации «СПРИНТ-М». Руководство по эксплуатации. ЗАО «Союзэлектроавтоматика», 2009

4. SYNCHROTACT. Synchronizing and paralleling devices and systems. Datasheet. ABB, 2007.

5. Тимофеев А.В. Построение адаптивных систем управления программным движением.– Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1980.– 88 с.

6. Хрущёв Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. – Томск: STT, 2001. –

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАПРАВЛЕННЫХ ГРАФОВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

Бутина Ю.А.

Научный руководитель: Прутик А.Ф, ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: julia19may2006@sibmail.com

В электроэнергетических системах возможны различные отклонения от нормального режима работы, такие, как снижение напряжения или частоты, локальные или системные аварии. В синхронно работающих сбалансированных электроэнергетических системах все элементы и участки должны работать в едином режиме, который необходимо постоянно поддерживать.

Для решения задач поддержания устойчивости энергосистем применяются современные системы противоаварийной автоматики (ПА), построенные на базе микропроцессорной техники и современных информационных технологий, что позволяет использовать весь потенциал быстродействия, точных расчетов места повреждения. ПА применяется с целью обеспечения стабильности энергосистемы, предотвращения возможности развития аварий и минимизации их последствий.

Таким образом, возникает вопрос о качественном моделировании ПА. Сегодня не существует математических моделей ПА, которые позволили бы адекватно воспроизвести процессы в данных устройствах во всех режимах работы ЭЭС.

Для обеспечения адекватности моделирования ПА необходимо учитывать особенности их аппаратных реализаций и характеристики измерительных трансформаторов, к которым они подключаются.

С помощью метода направленных графов можно разработать математические модели, которые учитывали бы указанные особенности. Данный метод позволяет определить передаточные функции на основе схем замещения ПА, учитывающих все особенности данных устройств.

В данной работе представлено математическое моделирование работы автоматической частотной разгрузки (АЧР), выполненной на основе индукционного реле типа ИВЧ-011 [1].

Согласно методу направленных графов первым этапом решения задачи о моделировании работы АЧР является составление направленного (сигнального) графа, соответствующего схеме замещения анализируемого устройства.

На рис. 1 представлена схема замещения реле ИВЧ-011 и трансформатора напряжения (TV), который подключен параллельно к реле ИВЧ-011.

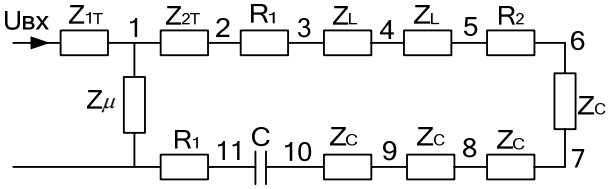


Рис. 1. Схема замещения трансформатора напряжения и реле ИВЧ-011

Трансформатор напряжения представлен на рис. 1 первичным сопротивлением – Z_{1T}, вторичным – Z_{2T}, сопротивлением намагничивания – Z_{μ}. Реле ИВЧ-011 состоит из двух контуров: индуктивно-емкостного и индуктивно-активного. На схеме замещения (рис. 1) Z_L – сопротивления индуктивно-активного контура, Z_C – сопротивления индуктивно-емкостного, R1 и R2 – сопротивления реостата и резистора, C – емкость конденсатора.

Далее согласно правилам составления графов, составим граф приведенной схемы (рис. 2). На рисунке 2 обозначены:

$$Y_{Э1} = Y_{\mu} + Y_{1T} + Y_{2T}, Y_{Э2} = Y_{2T} + Y_1, Y_{Э3} = Y_1 + Y_L,$$

$$Y_{Э4} = Y_L + Y_L, Y_{Э5} = Y_L + Y_2, Y_{Э6} = Y_2 + Y_C, Y_{Э7} = Y_C + Y_C,$$

$$Y_{Э8} = Y_C + Y_C, Y_{Э9} = Y_C + Y_C, Y_{Э10} = Y_{CK} + Y_C, Y_{Э11} = Y_{CK} + Y_1.$$

Передаточная функция между любыми двумя узлами (i,j) определяется по правилу Мэзона (1):

$$W_{ij}(p) = \frac{U_j(p)}{U_i(p)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \Pi_k (1 - \Delta_k)}{1 - \Delta}. \qquad (1)$$

Используя (1), вычислим передаточную функцию между узлами 6 и 7 в схеме (рис. 1) по ее графу (рис. 2). Формула (1) для передаточной функции $W_6(p)$ записана ниже (2), где

$b = Y_{2T}^2 / Y_{Э1} \cdot Y_{Э2}$, $c = Y_1^2 / Y_{Э2} \cdot Y_{Э3}$, $d = Y_L^2 / Y_{Э3} \cdot Y_{Э4}$,

$e = Y_L^2 / Y_{Э4} \cdot Y_{Э5}$, $f = Y_2^2 / Y_{Э5} \cdot Y_{Э6}$, $j = Y_C^2 / Y_{Э6} \cdot Y_{Э7}$,

$k = Y_C^2 / Y_{Э7} \cdot Y_{Э8}$, $l = Y_C^2 / Y_{Э8} \cdot Y_{Э9}$, $m = Y_C^2 / Y_{Э9} \cdot Y_{Э10}$,

$n = Y_{CK}^2 / Y_{Э10} \cdot Y_{Э11}$;

1-Δ=1-[b+c+d+e+f+j+k+l+m+n]+[b(d+e+f+k+l+
+m+n)+c(e+f+j+k+l+m+n)+d(f+j+k+l+m+n)+e(j+k+
+l+m+n)+f(k+l+m+n)+j(l+m+n)+k(m+n)+ln]-[bd(f+
+j+k+l+m+n)+ce(j+k+l+m+n)+df(k+l+m+n)+ej(l+m+
+n)+fk(m+n)+jln]+[bdf(k+l+m+n)+cej(l+m+n)+
+dfk(m+n)+ejln]-[bdfk(m+n)+cejln].

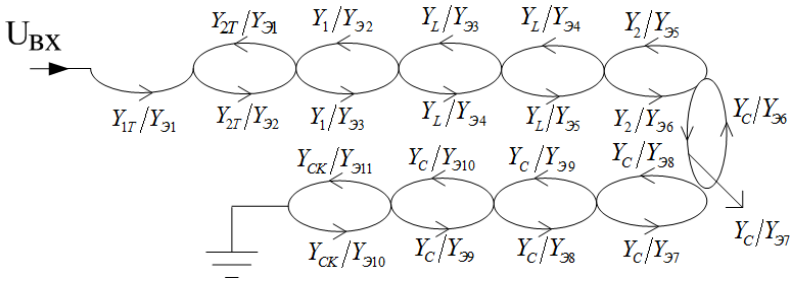


Рис. 2 Граф для рассматриваемой схемы замещения

$$W_6(p)=\frac{Y_{1T}/Y_{Э1}\cdot Y_{2T}/Y_{Э2}\cdot Y_1/Y_{Э3}\cdot Y_L/Y_{Э4}\cdot Y_L/Y_{Э5}\cdot Y_2/Y_{Э6}\cdot(1-[n+m+l+k]+[n\cdot(l+k)+m\cdot k])}{1-\Delta}. \quad (2)$$

Для $W_7(p)$ формула (2) составляется аналогично.

Следовательно, передаточная функция для расчета напряжения между узлами 6 и 7 равна

$$W_{6-7}(p)=W_6(p)-W_7(p). \quad (3)$$

Далее определим падение напряжения на участке 6-7 (рис. 1).

$$U_{вых}(p)=W_{6-7}(p)\cdot U_{вх}(p), \quad (4)$$

$U_{вх}(p)$ определяется вторичным фазным напряжением TV, равным $100/\sqrt{3}$ В. Согласно формулам (1),(2),(3), (4), вычисленное падение напряжения на участке 6-7 (рис. 1) составляет 21,614 В.

С помощью передаточной функции можно провести частотный $(p=j\omega)$ анализ устройства (рис. 3).

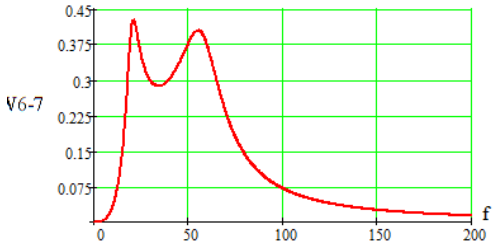


Рис. 3 Амплитудно-частотная характеристика

В соответствии с теорией точности и чувствительности, чувствительность выходного сигнала к изменению параметров схемы определяется приведенным выражением:

$$\Delta W=(W_I-W_R)+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial W}{\partial p_i}\Delta p_i. \quad (5)$$

В формуле (5) выражение $\frac{\partial W}{\partial p_i}$ является коэффициентом чувствительности W к изменению p_i. Для нашего примера был рассчитан коэффициент чувствительности $W_{6-7}(p)$ к отклонению значений параметров реле ИВЧ-011 реостата R1, резистора R2 и конденсатора C. Расчет был выполнен в программе Mathcad.

Значение сопротивления реостата R1 в реле ИВЧ-011 лежит в диапазоне от 400-600 Ом [2].

Результаты при различных значениях сопротивления реостата R1 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета

Значение сопротивления R1, Ом	Коэффициент чувствительности
400	$6{,}621*10^{-4}$
500	$8{,}995*10^{-4}$
600	$1{,}087*10^{-3}$

Судя по результатам табл.1 видно, что передаточная функция $W_{6-7}(p)$ обладает малым коэффициентом чувствительности к изменению параметра R1.

Значение сопротивления резистора R2 регулируется в диапазоне от 1000-1200 Ом [2]. Результаты расчета при различных значениях резистора R2 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета

Значение сопротивления R2, Ом	Коэффициент чувствительности
1000	$1{,}135*10^{-3}$
1100	$8{,}829*10^{-4}$
1200	$6{,}533*10^{-4}$

Согласно результатам табл.2 видно, передаточная функция $W_{6-7}(p)$ обладает малым коэффициентом чувствительности к изменению сопротивления R2.

Следующим этапом работы является исследование полученной передаточной функции во временной области.

Список литературы

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. – М.: Энергоатомиздат,1989.-446 с.

2. Инструкция по проверке и настройке реле частоты типа ИВЧ-011, 1962.

ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КОАКСИАЛЬНОМ МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ

Васильева О.В., Исаев Ю.Н.

Научный руководитель: Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

Магнитное поле плазменного укорителя можно представить как суперпозицию независимых ортогональных полей создаваемых плазменным шнуром $\mathbf{H}_{Пл} = H_\phi(r)$ (аксиальное поле) и индуктором $\mathbf{H}_{Инд} = \{H_r(z,r), H_z(z,r)\}$.

Поскольку нас интересует поле в области ограниченным электродным стволом, то поле индуктора в этой области можно считать однородным не зависящем от координат, и имеющем только z – компоненту $H_z = \text{const}$. Напомним, что линии равного векторного потенциала A есть, силовые линии магнитного поля. Кроме магнитных полей имеется и электрическое поле электродной системы ствол-жгут определяемое выражениями:

$$\varphi(x,y) = -\frac{U_0}{\ln(R_2/R_1)}\ln\left(r(x,y)/R_2\right),$$

$$E(x,y) = -\frac{d\varphi(x,y)}{dr} = \frac{U_0}{\ln(R_2/R_1)}\frac{1}{r(x,y)}$$

Компоненты по осям x и y будут соответственно:

$$E_x(x,y) = \frac{U_0}{\ln(R_2/R_1)}\frac{x}{x^2+y^2},$$

$$E_y(x,y) = \frac{U_0}{\ln(R_2/R_1)}\frac{y}{x^2+y^2}$$

Для ограничения траектории движения частиц в пределах ствола введена потенциальная функция $U(x,y)$ – "потенциальная яма" имеющая аналитический вид:

$$U(x,y) = \beta\left[1 - \mathrm{e}^{-\rho(x,y)^{48}\alpha}\right],$$

и ее силовая функция, которая определяется выражением:

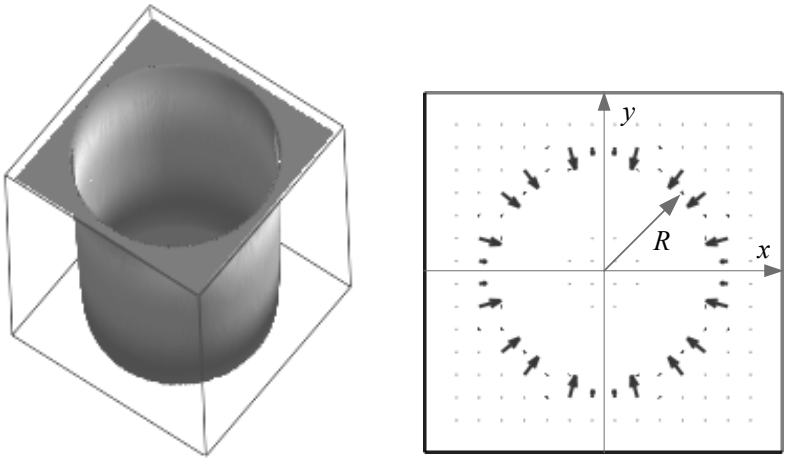
$$\mathbf{F} = -\nabla U(x,y),$$

$$F_x(x,y) = -48\,\beta\,\rho(x,y)^{46}\alpha x\,\mathrm{e}^{-\rho(x,y)^{48}\alpha},$$

$$F_y(x,y) = -48\,\beta\,\rho(x,y)^{46}\alpha y\,\mathrm{e}^{-\rho(x,y)^{48}\alpha}$$

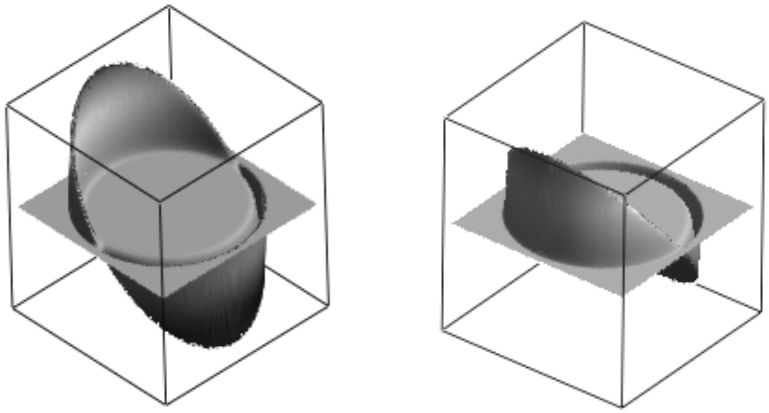
Входящие безразмерные коэффициенты имеют значения: $\beta = 10^4$, $\alpha = 10^{-60}$.

Пространственный вид потенциальной функции и силового поля представлены на рис. 1 и 2.



а) б)

Рис. 1. а) пространственное распределение потенциальной ямы $U(x,y)$; б) силовое поле $\mathbf{F}(x,y) = -\nabla U(x,y)$



а) б)

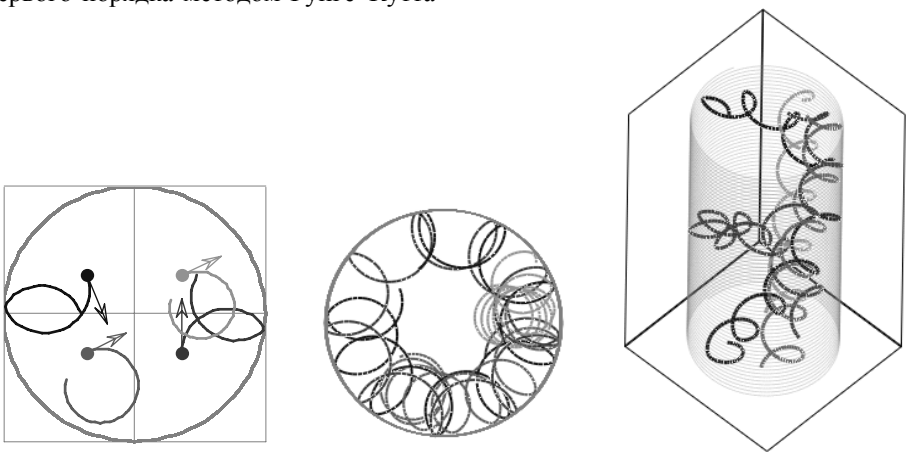
Рис. 2. Компоненты градиента потенциальной функции $\mathbf{F}(x,y) = -\nabla U(x,y)$ $F_x = -\partial U(x,y)/\partial x$, $F_y = -\partial U(x,y)/\partial y$ *: а) по оси x; б) по оси y*

На основе полученных соотношений запишем уравнение динамики заряженных частиц в электромагнитных полях в векторной форме [1]:

$$m\ddot{\mathbf{r}} = e\mathbf{B}\times\mathbf{v} + e\mathbf{E} - \nabla U(\mathbf{r})$$

$$\mathbf{B} = \mathrm{rot}(\mathbf{A}) = \begin{pmatrix} \mathbf{e_x} & \mathbf{e_y} & \mathbf{e}_z \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{pmatrix}.$$

Далее уравнение динамики заряженных частиц решалось с помощью дифференциальных уравнений первого порядка методом Рунге–Кутта с фиксированным шагом с числом дискретизации $N = 10^3$. Все частицы имели одинаковую массу, заряд (+) и продольную компоненту скорости. Начальные значения поперечных скоростей и исходных координат частиц задавались различные. Относительные значения поперечных скоростей и координаты по отношению к радиусу электрода приведены на рисунке 3. Из картины видно, что при больших поперечных скоростях получаются большие радиусы. При заданной конфигурации электромагнитного поля частицы движутся по спирали.



а) б) в)

Рис. 3. а) начальные положение координат и поперечные величины и направления скоростей; б) проекция траектории частиц на плоскость x, y; в) вид пространственной траектории частиц

Траектория, усредненная по Ларморовскому периоду, тоже представляет собой спираль более низкой частоты [2]. Таким образом, при распространении частиц, центр окружности, по которой вращаются частицы в поперечной плоскости, движется по низкочастотной спирали. Соприкасаясь со стенками, частицы вызывают эрозию, в результате которой изменяется масса плазмы. То есть, масса пучка меняется по колебательному закону.

Таким образом, представлен промежуточный этап разрабатываемой математической модели коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

Список литературы

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.Теоретическая физика Т. 2: Теория поля. – М.: Наука, 1992. – 664 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1992. – 664 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ОТКЛЮЧЕНИЯ

Верещагин Д.М., Герасимов Д.Ю.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: vere@sibmail.com

Автоматические выключатели с естественным воздушным охлаждением (автоматы) предназначены для отключения тока при коротких замыканиях (КЗ), перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, для оперативных включений и отключений электрических цепей.

Согласно статистическим данным на промышленных предприятиях и гражданских объектах часты случаи, когда при однофазном КЗ в сети до 1000 В защитный аппарат не срабатывает и не отключает поврежденный участок. Это может привести к следующим негативным явлениям: попаданию персонала под напряжение; переходу однофазного КЗ в другие виды КЗ; перегреву оболочек кабелей и корпусов электрических аппаратов [1].

Во время обрыва тока КЗ в выключателях низкого напряжения наблюдается сильное взаимодействие между электрической дугой и изоляционными материалами разрядной камеры. Это взаимодействие играет ключевую роль в поведении дуги и как результат сказывается на эффективности обрыва дуги.

Стекловолокна в качестве каркаса, широко используются для упрочнения диэлектрических материалов реактопластиков. В процессе КЗ воздействие дуги приводит к частичной абляции материала полимерной матрицы, что приводит к проявлению стекловолокон на поверхности. Далее, непосредственное взаимодействие дуги и стекловолокон во многих случаях приводит к нежелательному эффекту: дуга перестает вбрасываться в дугогасительную камеру и продолжает «гореть» между контактами. Что приводит к отказу в работе выключателя.

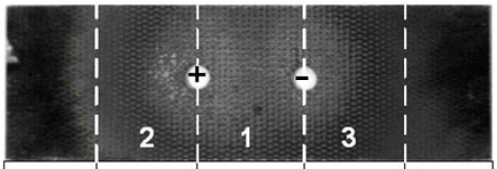
В связи с этим исследование поверхностных свойств диэлектрических материалов после воздействия дуги отключения является одной из актуальных задач.

В качестве источника электропитания использовался колебательный LC-контур, состоящий из мощного емкостного накопителя энергии (емкость C = 48 мФ, зарядное напряжение $U_{зар}$ = 0,5÷1,5 кВ) и катушки индуктивности – реактора (L = 210 мкГн) [2].

Для адекватной эмитации процесса отключения тока КЗ, в автоматических выключателях, необходимо адекватно воспроизвести приэлектродное падение напряжения на дуге. Реализовать это можно с помощью макетного устройства с параллельным расположением электродов, которое адекватно имитирует условия существования дугового разряда между контактами выключателя. Принципиальная и электрическая схема макетного устройства, а также схема регистрации основных параметров представлены в [3].

Исследования проведены с использованием электродов – CuW (75%:25%). Расстояние от электродов до поверхности исследуемого диэлектрика 10 мм. Разряд между электродами инициировался путем электровзрыва проводника. В качестве проводника использовалась медная проволочка (диаметр 0,2 мм). В экспериментах регистрировались рабочий ток $i(t)$ и напряжение $U(t)$ на электродах макетного устройства. Подведенная к ускорителю энергия W определялась интегрированием кривой мощности. Она менялась путем изменения зарядного напряжения $U_{зар}$ от 0,5 до 1,5 кВ. В качестве диэлектрического материала использовался стеклотекстолит.

Исследования фазового состава поверхности диэлектрика проведены методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Shimadzu XRD6000 (CuK_{α}-излучение). Дифрактограммы сняты с трех областей, показанных на фотографии поверхности на рис. 1.



Phase	%	%	%	CSR, nm
W	5,9	15,2	4,0	500-100
Cu, CuO	traces	traces	traces	-
SiO_2, C, melamine	94,1	84,8	96,0	10,0

Рис. 1. Исследуемые области стеклотекстолита, материал электродов CuW $\ell_{e\text{-}s}$ =10 мм, U_1=1,5 кВ, W_a=17,3 кДж

На рис. 2 приведена дифрактограмма исходного образца и экспериментальный спектр, соответствующий участку 1 поверхности. Дифрактограммы с других участков поверхности (2, 3)

имеют аналогичный характер за исключением меньшей интенсивности рефлексов, соответствующих фазе кристаллического вольфрама. Для анализа использовалась программа полнопрофильного анализа «PowderCell 2.4» и базы данных «PDF4+». Анализ показал, что основу материала поверхности составляют аморфизированные фазы диоксида кремния и melamin. Об этом свидетельствует наличие размытого диффузионного гало на широком диапазоне углов Брэгга 2Θ (10 grade – 35 grade) с максимумом на 2Θ=24 grade.

На дифрактограмме поверхности однозначно идентифицируются все основные отражения кристаллической фазы вольфрама. Анализ уширения рефлексов W свидетельствует об относительно большом размере областей когерентного рассеяния (ОКР) (или размере частиц) этой фазы. Дисперсная медь практически отсутствует на поверхности образца. Оценочные данные о массовом соотношении фаз приведены в таблице на рис. 1. Наибольшее содержание W установлено в зоне 1, в промежутке между зондирующими электродами.

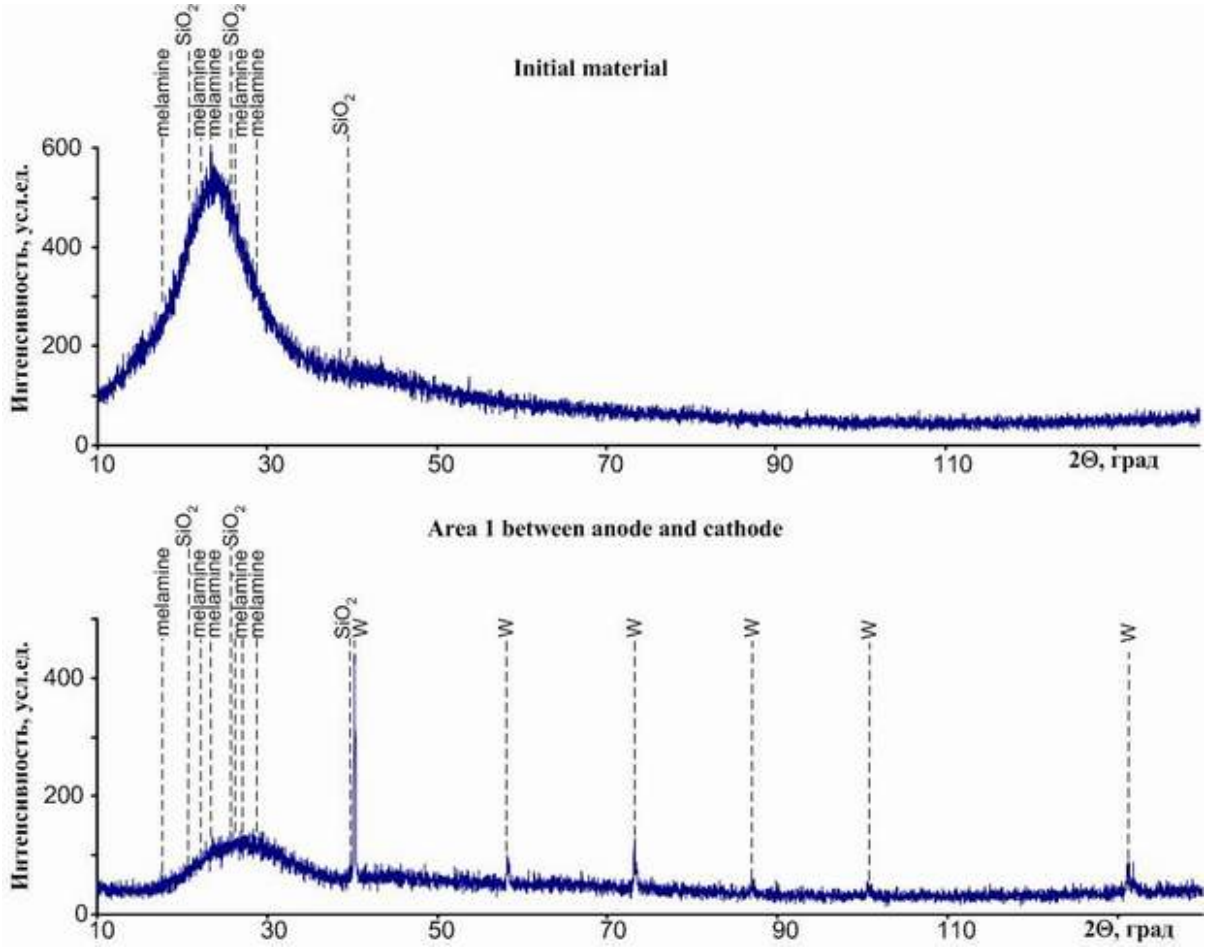


Рис. 2. Дифрактограмма образца и экспериментальный спектр, соответствующий участку 1.

Список литературы

1. *Мельников М.А.* Внутризаводское электроснабжение: Учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 159с.
2. *Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д.* Источник электропитания для исследования электрической дуги отключения // Современные техника и технологии. XV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых / Сборник трудов. Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ. 4-8 мая 2009. – с.26-28.
3. *Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д.* Исследование динамики электрической дуги отключения // Материаловедение, технологии и экология в 3-м тысячелетии. Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых (19-21 октября 2009 г., Томск, Россия). – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2009. – с. 45-48.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Верещагин Д.М., Герасимов Д.Ю.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: vere@sibmail.com

При гашении электрической дуги и отключении тока короткого замыкания в выключателях низкого напряжения происходит взаимодействие плазмы дуги отключения и поверхностью диэлектрического материала в дугогасительной камере. Это приводит к частичной абляции материала поверхности диэлектрика, его термическому разложению, деструкции поверхности и ее загрязнению углеродными продуктами разложения и частицами металла, эродированного с поверхности контактных элементов выключателя. В результате происходит ухудшение диэлектрических свойств поверхности, снижению поверхностного электрического сопротивления и электрической прочности, что является причиной отказов выключателей низкого напряжения.

Таким образом, становится актуальным исследование влияния воздействия электрической дуги на диэлектрические характеристики поверхности диэлектрических материалов, используемых в конструкциях выключателей низкого напряжения.

Для данного эксперимента был выбран материал стеклотекстолит. Схема эксперимента приведена в работе [1]. В ходе эксперимента оставались постоянными: материал исследуемого диэлектрика стеклотекстолит, материал основных электродов CuW(75-25), геометрия макетного устройства, расстояние от конца основных электродов до поверхности образца $\ell_{e\text{-}s}$=10 мм.

На рис. 1а) приведены типичные кривые основных энергетических характеристик дугового разряда при U_l=1.5 кВ, W_c=54 кДж, W_a=16-19 кДж.

На рис. 1б) приведена серия осциллограмм высоковольтного зондирующего импульса $U_b(t)$ и тока $i_{sc}(t)$ между зондирующими электродами при разных Δt_p. На графиках указаны значения Δt_p и W_a, величина пробивного напряжения U_b, и время от начала нарастания напряжения до момента пробоя Δt_b.

На рис. 2 приведены аналогичные кривые для опытов с U_l=0.5 кВ, W_c=6 кДж, W_a=2-3 кДж.

Из рис. 1 видно, что при параметрах дуги U_l=1.5 кВ, W_a=16-19 кВ. Пробой промежутка происходит за фронтом на спадающей части импульса и Δt_p<8.5 мс. Величина пробивного напряжения U_b≈3,2 кВ. Некоторое снижение уровня напряжения относительно 3,4 кВ обусловлено протеканием по зондируемой поверхности предпробивного тока i_{sc}=10-20 А. Сравнимый уровень U_b≈3,2 кВ при Δt_p=2,1 мс получен при U_l=1,0 кВ и W_a=8-9 кДж (рис. 2)

Уменьшение Δt_p<20 мс сопровождается существенным увеличением предпробивного тока, заваливанием фронта импульса и снижением пробивного напряжения. Характерной особенностью опытов при минимальной энергии дуги при U_l=0.5 кВ, W_a=2-3 кДж является существенное снижение U_b при сопоставимых Δt_p и пробивных токов i_b.

В холодном состоянии при выдержке после воздействия Δt_p в несколько минут, пробой не происходил ни при каких условиях. Снижение электрической прочности поверхности диэлектрика при уменьшении энергии воздействующего дугового разряда может быть объяснено эффектом самоочищения поверхности.

Более мощные плазменные потоки уносят с поверхности углеродные продукты размножения и частицы металла, эродированного с электродов.

Это является также косвенным подтверждением того, что пробой промежутка происходит по поверхности диэлектрика, а не по газовой среде. Следует отметить, что при минимальном уровне энергии дуги W_a=2-3 кДж пробой всегда происходит на фронте импульса напряжения, а не на спадающей части как в случаях с относительно высокой энергией 8-16 кДж.

Кроме того, возможной причиной снижения пробивного напряжения при W_a=2-3 кДж и максимальном токе разряда ~3,0 кА является то, что плазменные потоки отклоняются на небольшой угол и зоны максимальной эрозии материала сближаются. Это приводит к относительно высокой выработке промежутка между зондирующими высоковольтными электродами и ухудшению диэлектрических свойств этого промежутка.

Таблица 1

Удельная эрозия δm с поверхности диэлектрика после первого воздействия.

U_l, кВ	W_a, кДж	δm_d, г/кДж
1,5	15,6-18,6	0,014
1,0	8,4	0,014
0,5	2,6	0,018

Таблица 2

Удельная эрозия δm с поверхности диэлектрика после нескольких (N) воздействий.

U_1, кВ	W_a, кДж	N	δm_d, г/кДж
1,25	17,1	2	0,012
0,5	2,6	5	0,012

В таблице 1 показано, что удельная эрозия δm_d материала в однократных опытах с разной энергией дуги увеличивается с увеличением энергии. Сравнение с данными таблицы 2 показывает, что δm_d однократного воздействия существенно больше, чем средняя δm_d после нескольких последовательных воздействий. Это обусловлено меньшими затратами энергии на выработку поверхностного слоя полимерного материала, не связанного стекловолоконной арматурой при первом воздействии.

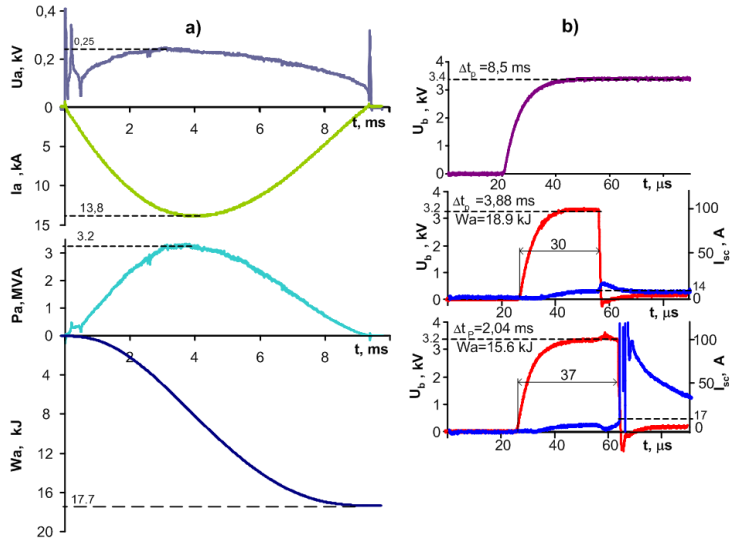


Рис. 1. Типичные кривые основных энергетических характеристик дугового разряда при U_1=1,5 кВ, W_c= 54 кДж, W_a= 16-19 кДж.

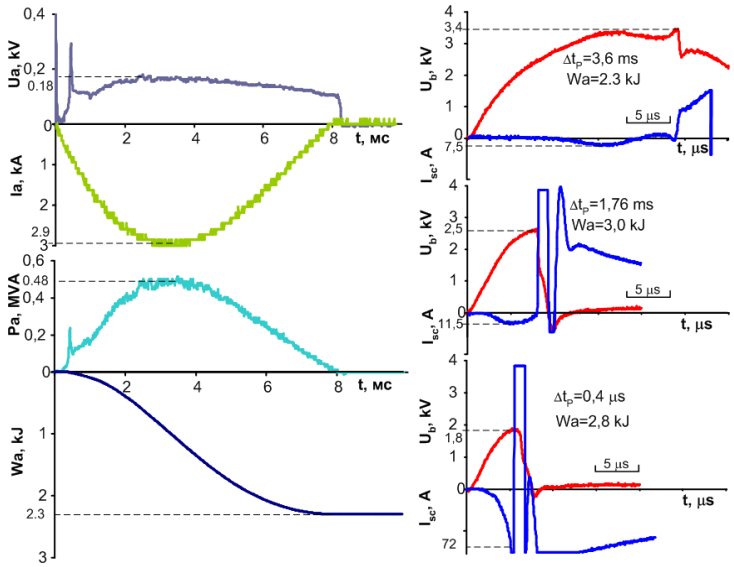


Рис. 2. Типичные кривые основных энергетических характеристик дугового разряда при U_1=0,5 кВ, W_c= 6 кДж, W_a=2-3 кДж.

Список литературы

1. Д.Д. Шеметов, Д.Ю. Герасимов. Влияние материала контактных элементов выключателя на электрическую прочность диэлектриков после воздействия плазмы разряда // Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: труды VII Международной конференции студентов и молодых учёных. Россия, Томск, 20–23 апреля 2010 г. / под ред. Г.В. Ляминой, Е.А. Вайтулевич. – Электрон. текст. дан. – Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, 2010. – Режим доступа: http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2010.pdf. – 952 с. – PDF формат, версия 1.5. – Систем треб. Adobe Acrobat 6.0 и выше. – ISBN 978-5-98298-626-9. с. 213-215.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА»

Волков А.В., Петров Б.И.

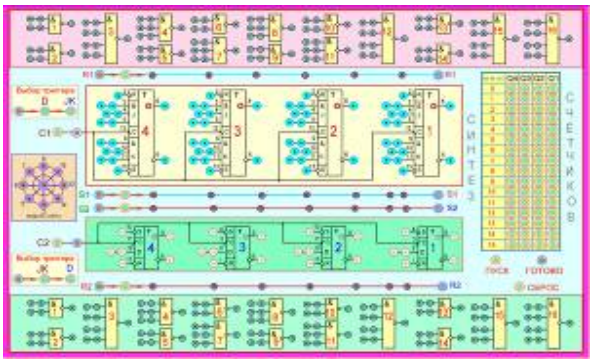
Научный руководитель: Петров Б.И., доцент

Мордовский государственный университет, 430000, Россия, г. Саранск, ул. Б.Хмельницкого , 39
E-mail: elsoldador@rambler.ru

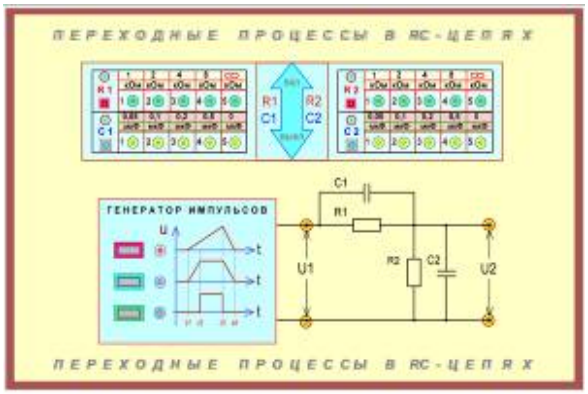
Одним из важнейших элементов учебного процесса при подготовке инженера электронной техники является лабораторный практикум. Целью лабораторного практикума является более глубокое понимание и усвоение теоретического материала разделов изучаемого курса, а также получение практических навыков работы с различными устройствами радиоэлектронной аппаратуры. Большое значение имеют также эстетическое выполнение внешнего вида стенда, понятные условные графические и буквенно-цифровые обозначения на передней панели. Все это, заинтересовывает и повышает интерес учащегося к выполнению данной лабораторной работы. Для учебной дисциплины «Электронные цепи и микросхемотехника» были, разработаны и внедрены в учебный процесс шесть лабораторных стендов. **Лабораторный стенд «Синтез счетчиков».** На передней панели стенда расположены (рисунок 1а) наборное поле, содержащее четыре JK-триггера, четыре D-триггера, элементы И-НЕ и индикатор функционирования синтезированного счетчика. Индикатор показывает состояние счетчика после каждого входного счетного импульса. Индикатор содержит пять столбцов, в которых указаны номера счетных импульсов и состояние разрядов счетчика. Если в каком-либо разряде счетчика после прихода очередного счетного импульса устанавливается «лог.1», это индицируется зажиганием светодиода в соответствующей клетке таблицы индикатора. Выбор типа триггера счетчика осуществляется нажатием соответствующей кнопки (выбор триггера) на передней панели стенда. Выбранный тип триггера индицируется зажиганием светодиода у соответствующей надписи. Установочные сигналы Rl, SI, R2, S2 имеют состояние «лог.0» или «лог.1» в зависимости от выбранного типа триггеров . Индикация значений сигналов Rl, SI, R2, S2 осуществляется светодиодами. Величина модуля счета задаётся соответствующим блоком, расположенным в левой части передней панели. При выбранном модуле счета в индикаторе заполняется число строк, равное модуля счета. Иногда, в учебных целях, представляет интерес просмотр всех строк индикатора, несмотря на заданный коэффициент модуля счета. Для этого предусмотрен режим, в котором заполняется все строки индикатора. Выбор этого режима осуществляется переключением тумблера, расположенного на задней панели стенда. Для удобства работы со стендом состояния прямых выходов триггеров дублируются с помощью светодиодов . Подача счетных импульсов на соответствующие входы С триггеров индицируется светодиодами, расположенными около символов С1 и С2. Если уровень сигнала С1 (или С2) имеет значение «лог1», то соответствующий светодиод загорается. Счетные импульсы автоматически поступают на собранный счетчик с периодом примерно 1 с. Для удобства автоматический режим может быть заменен на ручной. Это осуществляется переключением тумблера «Режим работы», расположенным на задней панели стенда. В этом случае подача единичного счетного импульса осуществляется нажатием кнопки «СИ(ручн.)». (В некоторых модификациях данного стенда этот режим может отсутствовать). Некоторые типы счетчиков, имеющие запрещенные комбинации, при попадании в последние самостоятельно выбраться из них не могут. В случае установки счетчика в запрещенную комбинацию необходим принудительный перевод счетчика в одно из разрешенных состояний. Обычно это реализуется с помощью комбинационного автомата, на входы которого поступают сигналы со всех разрядов счетчика. При попадании счетчика в одно из запрещенных состояний на выходе комбинационного автомата, в этом случае, формируется уровень «лог.0». Последний подается на один из установочных входов Rl, SI, R2, S2 в блоке вывода счетчика из запрещенных состояний, что приводит к установке счетчика в одно из разрешенных состояний. Очевидно, что к одной из шин Rl, SI, R2, S2, которая устанавливается в «лог.0» с выхода комбинационного автомата, должны быть подключены установочные входы триггеров счетчика таким образом, чтобы обеспечить переход счетчика из запрещенной комбинации в одну из разрешенных. Правильность реализации данного автомата может быть проверена с помощью светодиодных индикаторов XI,...,X4, расположенных в правой верхней и в правой нижней частях передней панели стенда. Для проверки комбинационного автомата на его входы подаются установочные сигналы Rl, SI, R2, S2, комбинации

которых можно изменять с помощью соответствующих кнопок. В левой верхней и в левой нижней частях передней панели расположены гнезда «лог.0» и «лог.1», используемые при реализации комбинационных автоматов. **Лабораторный стенд «Исследование схем триггерных устройств».** Лабораторный практикум по курсу «Электронные цепи и микросхемотехника» включает в себя два учебных стенда под общим названием «Исследование схем триггерных устройств». Первый стенд предназначен для изучения схем асинхронных и синхронных RS-, R-, S- и E- триггеров, RS-, T- и JK- триггеров типа MS, а также схем DL- триггеров. Второй стенд (на рисунке не показан) предназначен для изучения схем триггеров с динамическим управлением D-, T- и JK- типов, а также схем DV- и T- триггеров, реализованных на основе D- триггера и схем D-, T- и TV-триггеров, реализованных на основе JK- триггеров. **Лабораторный стенд «Исследование мультивибратора на операционном усилителе».**На передней панели стенда изображены принципиальные электрические схемы различных генераторов прямоугольных импульсов. В центре панели расположена принципиальная электрическая схема мультивибратора, выполненного на операционном усилителе. Элементы этой схемы могут принимать четыре разных значения, которые выбираются с помощью соответствующих кнопок. Для удобства работы контрольные точки мультивибратора на операционном усилителе расположены на отдельном поле. Справа, слева, а также внизу передней панели расположены десять схем генераторов, выполненных на транзисторах, триггере Шмита, операционных усилителях, элементах И-НЕ и Исключающее ИЛИ. Подключая к гнездам контрольных точек этих схем осциллограф, учащийся может наблюдать форму сигналов в этих точках, Изучая процессы в контрольных точках различных схем генераторов, анализируя и сравнивая их, учащийся лучше понимает и запоминает не только схемотехнические особенности приведенных генераторов, но и процессы, происходящие в них. **Лабораторный стенд «Исследование переходных процессов в RC-цепях».** Стенд предназначен для изучения прохождения импульсов различной формы через RC-цепи (рис. 1б). Генератор вырабатывает импульсы трех форм:

1. треугольный импульс;
2. трапецеидальный импульс;
3. прямоугольный импульс.



а)



б)

Рис.1 Внешний вид лицевых панелей: а) синтез счетчиков, б) исследование переходных процессов в RC-цепях.

Выбор формы сигнала, подаваемого на исследуемую схему, осуществляется нажатием соответствующей кнопки в блоке генератора импульсов. При этом в блоке загорается светодиод, указывающий на форму выбранного сигнала. В RC-цепи каждый из элементов (R1, R2, C1, C2) может принимать пять разных значений, включая R1, R2 равны бесконечности и C1, C2 равны нулю. Таким образом, из представленной RC-цепи можно получить: дифференцирующую и интегрирующую RC-цепи, а также форсирующую, апериодическую цепи и делитель напряжения. Выбор величины параметров элементов осуществляется нажатием соответствующих кнопок. При этом в ячейке, содержащей выбранный параметр, загорается светодиод.

Список литературы

1. Петров Б. И., Беспалов Н. Н., Кошевая Е. А., Электронные цепи и микросхемотехника: лабораторный практикум // Саранск: Изд-во Мордовского. Университета, 2007.- 68 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ ПО ОДНОМУ ПРОВОДУ

Глушков Е.Н., Ильин П.А.

Научный руководитель Хан В.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pa_ilin@mail.ru

Современное технократическое общество невозможно представить без многочисленных электроприборов. При этом на выработку электроэнергии тратятся значительные ресурсы, как материальные, так и людские. КПД современных линий электропередач (ЛЭП) составляет 90-95 %. С учетом всего технического прогресса и всех новейших технологий суммарные потери составляют 5-10%. Очевидно, что проблема снижения потерь электроэнергии при передаче требует активного поиска новых путей ее решения, новых подходов к выбору соответствующих мероприятий, к проведению исследований по разработке методов снижения потерь. Сегодня проблема ресурсосбережения выходит на одно из первых мест в мире.

Целью нашей работы является осуществление передачи энергии по одному проводу с высокой эффективностью и объяснение процессов протекающих при передаче энергии.

Известен эксперимент изобретателя Авраменко С. В. в ходе которого, передавали по линии Л мощность, равную 1,3 кВт. Такой вывод автор делает на основании того, что ярко светятся три лампочки, суммарная мощность которых составляла как раз названную величину. Источником питания служил машинный генератор с частотой 8 кГц. Длина вольфрамового провода Л с диаметром, равным 15 мкм, составляла 2,75 м. Электрическое сопротивление такого провода намного превышало сопротивление медных проводов аналогичной длины для передачи электроэнергии 1,3 кВт. Здесь должны быть большие потери электроэнергии, а провод накаляться (излучать тепло). Но сообщается, что вольфрамовый провод оставался холодным. Поэтому линия передачи «не имела сопротивления», похожая на «сверхпроводник» при комнатной температуре. Результаты исследований, позволяющие объяснить наблюдаемый эффект, в работе отсутствовали[1]

Для проведения исследований нами собраны две экспериментальные установки. Первая установка (рис. 1) состоит из генератора и схемы представляющей собой преобразователь постоянного напряжения в переменное, которым питается трансформатор Т. Трансформатор имеет следующие характеристики: катушка 1 – 6 витков медного провода диаметром 0,15 мм, катушка 2 – 20 витков медного провода диаметром 0,25 мм, катушка 3 содержит 1800 витков медного провода диаметром 0,12 мм.

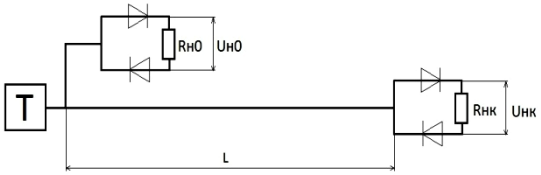


Рис. 1. Измерительная схема первой установки

В качестве проводящей линии использовался медный провод диаметром 0,12 мм. На концах линии были установлены диодные вилки, в качестве нагрузки использовались сопротивления по 75 Ом на каждой вилке. Длина линии менялась от 1 м до 40 м. Напряжение снималось с использованием осциллографа по схеме, изображенной на рис. 1. Одновременно с измерением напряжения измерялось отставание напряжений по времени относительно друг друга. Батарея питания в трансформаторе была заменена источником питания, с возможностью варьирования напряжением. На вход трансформатора подавалось напряжение 5 В с силой тока 500 мА. Сила тока измерялась микроамперметром. На рис. 2 представлен график зависимости напряжений на концах линии от ее длины.

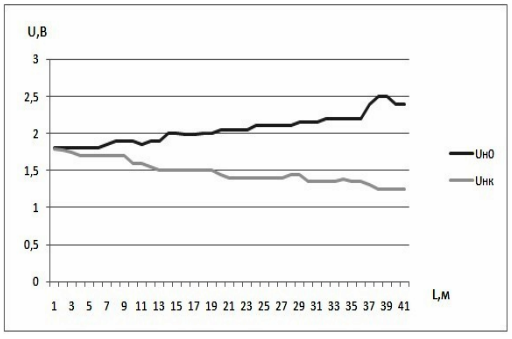


Рис. 2. График зависимости напряжений от длины линии

Uн0 – напряжение на вилке, установленной на входе линии;

Uнк – напряжение на вилке, установленной на выходе линии.

Начиная с длины провода 10 метров отмечается повышение напряжения на первой вилке, вероятно, это связанно с тем, что измерения проводились многоканальным осциллографом, его ка-

налы связанны общей землей. Поэтому рассчитали среднее значение напряжения на первой вилке и рассчитали среднюю мощность.

$W_{0ср}=U_{н0}^2/R_{н0}=2.056^2/75=0.0564$ Вт

Рассчитали мощность на второй вилке при *L*=20 и *L*=40

$W_{L=20}$=0.027 Вт КПД=47.9%

$W_{L=40}$= 0.021 Вт КПД=37.2%

Ранее высказывали теоретические предположения, объясняющие эти результаты. Например, эффект может быть связан с токами смещения и резонансными явлениями – совпадением частоты напряжения источника питания и собственных частот колебания атомных решеток проводника (если таковые наблюдаются). В 1830-х годах Фарадей писал о мгновенных токах в единичной линии, в соответствии с электродинамикой Максвелла. Ток поляризации не приводит к выделению на проводнике «джоулева» тепла – то есть проводник не оказывает ему сопротивления. [2]

Вторая экспериментальная установка состоит из высокочастотного генератора с характеристиками U=15 кВ, P=1,5 Вт; понижающего трансформатора без сердечника с коэффициентом трансформации 166; двухполупериодного выпрямителя, состоящего из диодов 1N4007; сопротивлений 910 Ом и 4,7 КОм; а так же емкостью 0,5 мкФ. Схема данной установки приведена на рис. 3.

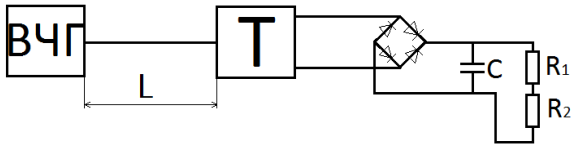


Рис. 3. Схема второй экспериментальной установки

В качестве проводящей линии мы использовали 2 провода. Длина первого 27 метров с диаметром 0,15 мм. Длина второго 35 метров с диаметром 2,7 мм.

Для измерения использовался осциллограф, подключенный к сопротивлению 910 Ом.

В ходе эксперимента были получены следующие результаты: 1) при измерении без проводящей линии (от генератора на измерительную схему) 6 В; 2) с линией 35 метров 0,9 В; 3) с линией 27 метров 4 В.

Расчет мощности производим по формуле $P=(U*K)^2 / R_1 + U^2 / R_2$. Где K- отношение сопротивлений, равный 5,2.

Для первого случая:

$P = (6*5,2)^2 / 4700 + 6^2/910 = 0,25$ Вт

Для второго случая:

$P = (0,9*5,2)^2 / 4700 + 0,9^2/910 = 0,0055$ Вт

Для третьего случая:

$P = (4*5,2)^2 / 4700 + 4^2/ 910 = 0,1095$ Вт

Видно, что с увеличением диаметра провода значительно снижается напряжение и мощность. Это объясняется тем, что для перемещения энергии через провод с меньшим диаметром затрачивается меньше энергии, так как для «раскачки» большего проводника требуется больше энергии. Напряжение не импульсное, а постоянное, следовательно, полученная мощность является активной.

Во время измерений прослеживалось две частоты 100 кГц (10 мкс) и 25 кГц (40 мкс). Зарегистрированные частоты излучения генератора на расстоянии нескольких сантиметров равняются 133 кГц (7,5 мкс) и 25 кГц (40 мкс).

Приведем несколько преимуществ однопроводной передачи в будущем: для производства проводов снизится количество металла в несколько раз; исключается возможность короткого замыкания в однопроводной линии, а так же невозможность образования пожара; будет сложно осуществить несанкционированный отбор.

В своей дальнейшей работе мы попытаемся настроить в резонанс наш высокочастотный генератор с принимающим трансформатором, что позволит, на наш взгляд, увеличить КПД передачи энергии.

Список литературы

1. Заев Н. Техника – молодежи N1, 1995 г.
2. http://www.skif.biz «Электрические и резонансные генераторы».

НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Дамдинова Д.Ч.

Научный руководитель: Слащев И.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: hasee@sibmail.com

Анализ экологической ситуации в России свидетельствует о том, что кризисные тенденции, с полной отчетливостью проявившиеся в предшествующие 15 лет, не преодолены, а в отдельных аспектах даже углубляются, несмотря на принимаемые меры.

«По некоторым областям, например по загрязнению или по возобновляемым источникам энергии Россия занимает не очень хорошие места, – заметил исполнительный директор Программы ООН по защите окружающей среды (UNEP), заместитель генерального секретаря ООН Штейнер. – Но в таких вопросах как биологическое разнообразие или защищенные районы, Россия создала в последние годы достаточно хорошие показатели». Однако, в общем, по его словам, «состояние окружающей среды в России внушает опасения» [1].

Почти 15% территории России, на которой сосредоточена основная часть населения и производства, находится в неудовлетворительном экологическом состоянии, экологическая безопасность здесь не гарантирована. При этом удельные показатели негативных воздействий на окружающую среду в расчете на душу населения и единицу валового внутреннего продукта в России являются одними из самых высоких в мире.

Уже на протяжении нескольких лет основными источниками загрязнения воздуха являются предприятия черной и цветной металлургии, химии и нефтехимии, строительной индустрии, энергетики, автотранспорт, а также целлюлозно-бумажная промышленность [2].

От научно-технического прогресса не скрыться, его плоды проникли во все сферы жизни, включая и нетрадиционные источники питания альтернативной энергетики. Энергопотребление мировой экономики непрерывно растет. Рано или поздно мир столкнется с тем, что запасы нефти, газа и угля будут исчерпаны. Чем их заменить? Поиск ответа на этот вопрос заставляет исследовать альтернативные, экологически чистые и возобновляемые источники энергии [3].

По сравнению с США и странами ЕС использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России находится на низком уровне. Сложившуюся ситуацию можно объяснить доступностью традиционных ископаемых энергоносителей, а также слабой озабоченностью экологической обстановкой в стране властей, бизнеса и населения. Один из основных барьеров для строительства крупных электростанций на ВИЭ – отсутствие положения о стимулирующем тарифе, по которому государство покупало бы электроэнергию, производимую на основе ВИЭ (feed-in tariff) [4].

Преимуществом возобновляемых источников энергии, прежде всего, является сам факт их неисчерпаемости. Запасы ископаемых топлив ограничены, а, значит, их стоимость со временем будет возрастать. Эти запасы в мире распределены крайне неравномерно, что приводит к напряженности между странами. Ограничены и запасы дешевого урана – основного сырья для АЭС. Напротив, в любом регионе мира есть те или иные возобновляемые источники энергии, потенциал которых в принципе вполне достаточен для удовлетворения всех нужд региона.

Черпая энергию от ВИЭ, мы в подавляющем большинстве случаев не оказываем вредного влияния на окружающую среду, чего нельзя сказать о традиционных источниках энергии. Например, при мощности 500 кВт и при 2000 часов в год использования установленной мощности будь то ветроэнергетическая установка (ВЭУ), солнечная фотоэлектрическая установка (ФЭУ), малая ГЭС, вырабатывают 1 млн. кВтч электроэнергии и тем самым предотвращают по сравнению с угольной электростанцией той же мощности эмиссию около 1000 т CO_2.

Вместе с тем существенным недостатком большинства ВИЭ является малая удельная плотность энергии, приходящейся на единицу воспринимающей площади или объема соответствующего устройства. В частности, максимальная плотность потока солнечной радиации в земных условиях не превосходит 1 кВт/м^2; плотность энергии в потоке ветра при скорости 5 м/с составляет всего около 70 Вт/м^2, а при скорости 10 м/с – около 600 Вт/м^2. Это означает, что для получения от установки, использующей возобновляемый источник энергии, значительной мощности установка должна иметь большие габариты, высокую материалоемкость и стоимость. Так, например, для ветроэнергетической установки мощностью 3,6 МВт, диаметр ротора составит 104 м, а гондола, уста-

новленная на башне высотой 70 м, будет весить более 100 т.

Вторым недостатком, присущим большинству ВИЭ, является непостоянство поступающей энергии во времени. Это означает с одной стороны, что коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) значительно ниже единицы, а также то, что для удовлетворения потребителей это непостоянство должно приниматься во внимание. Так автономная энергоустановка с возобновляющим источником энергии должна иметь в своем составе либо те или иные аккумуляторы, либо установку-дублер, работающую на традиционном топливе. Если установка с ВИЭ присоединена к сети, то сеть должна взять на себя компенсацию непостоянства поступления энергии, для чего она должна иметь профицит мощности и достаточный запас по устойчивости.

Оба перечисленных недостатка приводят к удорожанию энергии, получаемой от ВИЭ, что существенно влияет на сегодняшнее отношение к ним. Поэтому, если в 70-ые – 80-ые годы прошлого века для развитых стран стимулом применения ВИЭ явились известные нефтяные кризисы и опасение, что век дешевых традиционных топлив закончился, то сегодня основным аргументом в пользу применения ВИЭ в этих странах является их экологическая чистота. Для развивающихся стран возобновляющие источники энергии имеют прежде всего социальное значение, ибо для сельского населения в отдаленных районах они являются сегодня единственно возможными источниками энергии [2].

Рельеф и климатические особенности на территории России очень разнообразны, поэтому не всюду можно производить экономически-выгодную установку ВИЭ. Так, например, вспомним международную конференцию от 4 апреля 2008 года, посвященную использованию балтийского побережья, где обсуждались перспективы альтернативной энергетики Калининградской области. Основным источником альтернативной энергии представляется ветровая энергия.

По данным «ФСК ЕЭС России», в Калининградской области может быть установлен ветропарк мощностью 200-250 МВт. А вот мнение местных специалистов не столь оптимистично: помимо зависимости работы ветрогенератора от скорости ветра, средняя стоимость 1 кВтч ветроэнергии в 1,5 раза выше стоимости энергии, получаемой на ТЭС. Энергетики убеждены, что ветропарк не может решить энергетические проблемы региона. Чтобы ветроэнергетика превратилась из эксперимента в повседневную практику и составляла хотя бы 5% в общем энергетическом балансе региона, количество ветроустановок надо увеличивать в сотни раз. Но для этого необходимо увеличивать и площади ветростанций. Так, чтобы получить от ветроэлектростанции мощность как от одного блока ТЭЦ-2, площадь ветропарка должна быть в 1,5 раз больше Балтийского района Калининграда [5].

Если же говорить о стоимости солнечных батарей мощностью 1 кВт, то она будет достигать порядка 5-6 тысяч долл. Аккумулятор, инвертор и всё остальное, всё то же самое, что и для ВГ, и с теми же затратами. Такой мощности солнечной батареи не хватит даже для того, чтобы вскипятить чайник. Дополнительными затратами является регулярная очистка солнечной батареи от пыли и грязи. В течение года солнечные батареи теряют до 1,5% своей первоначальной мощности из-за старения кремния [6].

Несмотря на высокую стоимость энергии сегодня для России использование ВИЭ в особо благоприятных случаях может оказаться конкурентоспособным экономически. Это относится к территориям страны, не обеспеченным централизованным энергоснабжением и использующим дорогое привозное топливо. В этих случаях использование возобновляемых источников энергии имеет также большое социальное значение, увеличивая надежность энергоснабжения. Для рекреационных зон страны решающим фактором может оказаться экологическая чистота [7].

На данный момент ООН разработала программу повышения экологической безопасности во всем мире, которая обойдется в 1,35 трлн долл – 2% мирового ВВП.

Из них 362 млрд долл будет потрачено на переход от топлива минерального происхождения к возобновляемым источникам энергии. Также часть средств направят на повышение теплоизоляции зданий, что поспособствует снижению потребления электроэнергии и сокращению выбросов парниковых газов [8].

Перспективы внедрения возобновляемых источников энергии на территории России окажутся значительно более благоприятными, если, глядя вперед, на государственном уровне будут приняты законы, поддерживающие применение ВИЭ, как и в ряде развитых стран [7].

Список литературы

1. По состоянию окружающей среды Россия находится на 35 месте // http://ecoportal.su/news.php?id=21733
2. Экологическая ситуация в России // http://www.intline.ru/projects/ecology/EcolRus-r.htm
3. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
4. Отчет информационно-аналитического агентства Cleandex. Cleantech in Russia 2010 // http://www.clendex.ru/cleanwatch/2010/10/25/cleantech_in_russia_2010
5. Калининградская область: перспективы альтернативной энергии // http://aenergy.ru/290
6. Солнечные батареи // http://dom-en.ru/inteh02/
7. Шпильрайн Э.Э. Проблемы и перспективы возобновляемой энергии в России // http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=446
8. ООН разработала программу повышения экологической безопасности в мире // http://aenergy.ru/2986

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК

Дербенёв А.М., Темербаев С.А.

Научный руководитель: Довгун В.П., д.т.н., профессор

Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий
660074, Россия, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского, 26
E-mail: n536nt@yandex.ru

Введение

Одной из основных причин ухудшения качества электроэнергии в распределительных сетях является увеличение числа нелинейных устройств, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы. Такими устройствами являются импульсные источники питания, приводы электродвигателей с регулируемой скоростью вращения, пускорегулирующие аппараты для электролюминесцентных ламп и т.д.

Результатом воздействия гармоник на систему электроснабжения и оборудование потребителей является увеличение потерь во вращающихся машинах, трансформаторах, линиях электропередачи, ускоренное старение изоляции электрооборудования, ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики [1-3].

Для уменьшения уровня высших гармоник в сетях электроснабжения используют фильтрокомпенсирующие устройства – пассивные и активные фильтры гармоник [3].

Традиционно для подавления высших гармоник в сетях электроснабжения используются пассивные фильтры гармоник (ПФГ). Основной недостаток – возможность возникновения резонанса токов в параллельном колебательном контуре, образуемого фильтром и индуктивностью питающей сети. В последнее время значительный интерес проявляется к активным фильтрам гармоник [2,3]. Такой фильтр представляет коммутируемое устройство, характеристики которого формируются с помощью специального закона управления. АФГ выполняет одновременно несколько функций:

- подавление высших гармоник;
- коррекция коэффициента мощности;
- уменьшение фликкера;
- коррекция частотных характеристик сети и исключение параллельных резонансов.

Принцип действия АФГ основан на том, что они генерируют токи или напряжения гармоник в противофазе с ними, и тем самым компенсируют искажения потребляемых токов. Важнейшим компонентом активного фильтра гармоник является система управления, формирующая сигнал управления силовой частью фильтра. Характеристики АФГ в очень большой степени зависят от метода формирования управляющих сигналов. В докладе рассмотрен алгоритм формирования управляющих сигналов, основанный на использовании методов цифровой обработки сигналов.

Адаптивный алгоритм формирования правляющих сигналов

Спектральный состав сигнала, формируемого системой управления АФГ, должен совпадать с гармоническим составом несинусоидального тока, генерируемого нелинейной нагрузкой. Исключение составляет только основная гармоника. В компенсирующем токе она должна отсутствовать.

Для получения такого сигнала можно использовать аналоговый режекторный фильтр, настроенный на частоту основной гармоники. Передаточная функция режекторного фильтра должна быть равна нулю на частоте основной гармоники и единице – на частотах высших гармоник. Однако использование аналогового режекторного фильтра имеет недостатки. Такой фильтр является статическим устройством, и его характеристики не могут изменяться при изменении частоты и амплитуды основной гармоники.

Для формирования управляющего сигнала АФГ необходимо адаптивное устройство, характеристики которого изменяются при изменении спектрального состава несинусоидальных токов или напряжений. Разрабатываемое устройство не должно вносить фазовые искажения в формируемый управляющий сигнал.

Структурная схема адаптивного режекторного фильтра, компенсирующего гармонику основной частоты, показана на рис. 1. На основной вход фильтра подается сигнал, пропорциональный несинусоидальному току или напряжению сети. Сигнал, поступающий на опорный вход, пропорционален основной гармонике напряжения. На выходе режекторного фильтра формируются отсчеты компенсирующего сигнала $e(n)$. На рис. 2

$W(z)$ – передаточная функция адаптивного фильтра.

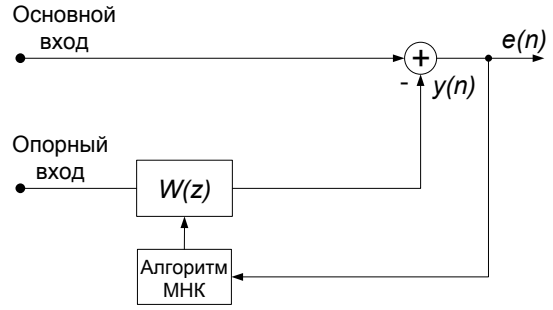


Рис. 1. Структурная схема адаптивного режекторного фильтра

Структурная схема адаптивного КИХ – фильтра в форме цифровой линии задержки показана на рис. 2.

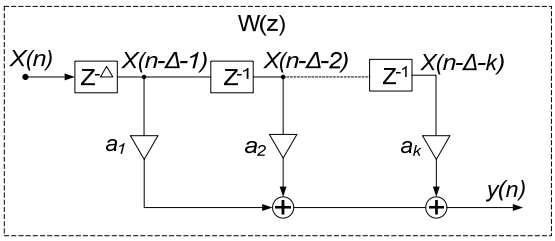


Рис. 2. Структура КИХ-фильтра в форме линии задержки с отводами

Компенсирующий сигнал $e(n)$ равен разности между сигналом на основном входе и выходным сигналом КИХ – фильтра:

$$e(n) = -\sum_{\kappa=1}^{n} a_{\kappa} X(n-\Delta-k) + X(n).$$

Весовые коэффициенты фильтра a_k подстраиваются таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов ошибки предсказания на выходе фильтра. Для этой цели использован алгоритм метода наименьших квадратов (МНК) Уидроу-Хоффа [4]. В соответствии с этим алгоритмом на каждом шаге вектор весовых коэффициентов обновляется по формуле:

$$a_k(n+1) = a_k(n) - \mu \frac{\partial e^2(n)}{\partial a_k(n)}.$$

Параметр μ определяет скорость и устойчивость процесса адаптации. При выборе достаточно малой величины μ ошибка будет асимптотически стремиться к нулю.

Поскольку на практике точное значение градиента функции ошибки неизвестно, в алгоритме МНК оценку градиента получают на основе квадрата ошибки выборки, полученной на *n*-м шаге:

$$\frac{\partial e^2(n)}{\partial a_k(n)} = 2e(n)x(n-\Delta-k).$$

Таким образом, в соответствии с алгоритмом МНК коррекция весовых коэффициентов адаптивного фильтра проводится по формуле:

$$a_{\kappa}(n+1) = a_{\kappa}(n) - 2\mu e(n)x(n-\Delta-k) \qquad (1)$$

Из (1) следует, что для определения уточненного значения весового коэффициента a_k необходимы отсчет сигнала ошибки и отсчет входного сигнала $x(n-\Delta-k)$. На каждой итерации алгоритм МНК требует выполнения $2N+1$ операций.

Экспериментальная проверка предложенного алгоритма

Экспериментальное исследование рассмотренного алгоритма было проведено с помощью лабораторного комплекса Elvis II фирмы National Instruments. Цифровой адаптивный фильтр был реализован в программной среде LabVIEW 8.6.

Заключение

1. Рассмотрен метод формирования управляющих сигналов для АФГ, основанный на использовании методов цифровой обработки сигналов.

2. Основой системы формирования управляющих сигналов является адаптивный цифровой фильтр в форме линии задержки с отводами, настраиваемый с помощью алгоритма МНК.

3. При изменении параметров несинусоидальных напряжений и токов характеристики АФГ перестраиваются в реальном времени автоматически.

4. Результаты экспериментальной проверки предложенного метода показали, что с его помощью можно эффективно подавить высшие гармоники несинусоидальных напряжений и токов, а также компенсировать реактивную составляющую первой гармоники тока.

Список литературы

1. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер.: пер.с англ.- М: Энергоатомиздат, 1990 г.
2. Akagi H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.
3. Розанов Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. Изд. 2-е. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2006. – 856 с.: ил.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ УСТАНОВКИ

Долиновская Р.В., Сапрыкин Ф.Е.

Научный руководитель: Лобанова Г.Л., к.х.н., с.н.с.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, Г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dolinovskaya@gmail.com

На протяжении нескольких десятков лет импульсные электрические разряды (ИЭР) применяются в различных областях науки и техники, в том числе для получения порошков металлов и продуктов их взаимодействия с рабочей средой [1].

Экспериментально процесс получения порошков металлов за счёт электрической эрозии осуществляют в рабочей камере со встроенными электродами, между которыми, помимо рабочей жидкости, находится металлическая гранулированная загрузка [2].

Из литературы известно, что масса выхода металлических порошков и их крупность зависят от энергии подаваемых импульсов, их количества, а также от геометрических размеров рабочих камер и величины загрузки. Однако взаимосвязи между этими параметрами не выявлено.

Цель работы – установить пути нахождения оптимального режима работы технологического устройства для получения порошков металлов методом электрической эрозии металла в воде.

Методика проведения эксперимента

Исследования проводили на установке, состоящей из генератора импульсов напряжения и рабочей камеры.

Емкость накопительного конденсатора источника питания С переменная 4 – 6 мкФ, амплитуда импульсов напряжения U 500 – 1000 В, длительность импульса напряжения составляет τ 15-20 мкс, частота следования импульсов f 400 ипм/с. Для регистрации импульсов тока и напряжения использовали осциллограф RIGOL DS1102C, подключенный к электродам через трансформатор тока и омический делитель напряжения, а также фотоаппарат.

Реактор представляет собой прямоугольный сосуд, вдоль длинных стенок которого расположены электроды. В ходе экспериментов меняли расстояние между электродами, массу загрузки.

Результаты экспериментов

Исследования начаты с анализа явлений, возникающих в межэлектродных промежутках 60, 85 и 100 мм после подачи единичного импульса напряжения, зафиксированных на фотоплёнку. Длина электродов, расположенных плоско на дне камеры составляет – 300 мм, их ширина – 30 мм. Одна из картин распределения разрядов в межэлектродном промежутке 85 мм приведена на рис. 1.

В рассматриваемой системе электрический импульс поступает на потенциальный электрод. Металлическая загрузка, с электрической точки зрения, представляет собой разветвлённую электрическую цепь с различными сопротивлениями. Искровые разряды формируются стохастически.



Рис. 1. Картина распределения искровых разрядов в межэлектродном промежутке

В рассматриваемой системе электрический импульс поступает на потенциальный электрод, и создается неоднородное электрическое поле. Металлическая загрузка, с электрической точки зрения, представляет собой разветвлённую электрическую цепь с различными сопротивлениями. Искровые разряды формируются стохастически.

При выбранных параметрах импульса в межэлектродном промежутке 60 мм искровые разряды в 63 % случаев формируются в одну дорожку с одного края межэлектродного промежутка, реже – в две дорожки с обоих краев. Полученный результат можно объяснить тем, что напряжение зажигания искровых разрядов на краю промежутка ниже, чем в середине, вследствие краевого эффекта.

Увеличение промежутка до 85 мм привело к тому, что число путей искровых разрядов от трёх до пяти составляет 86 %, в остальных случаях их число 6-10. При этом один из путей, располагающийся ближе к центру промежутка, выражен наиболее интенсивно (см. рис. 1). Формирование искровых разрядов происходит относительно равномерно, захватывая всю поверхность загрузки. Это связано с увеличением неоднородности поля.

При дальнейшем увеличении промежутка до 100 мм в 76% случаев количество дорожек искровых разрядов снизилось до 1–3. Интенсивность свечения разрядов ниже, чем в предыдущем опыте. Это связано с тем, что с увеличением межэлек-

тродного промежутка неоднородность поля усиливается, но приложенного потенциала не достаточно для поддержания процесса формирования разрядов на прежнем уровне.

Таким образом, формирование искровых разрядов в системе «электроды-металлическая загрузка-вода» зависит от напряженности и однородности электрического поля. Возможно выбрать такие условия, при которых формирование разрядов в промежутке наиболее равномерно. Подобные зависимости получены и при работе в частотном режиме.

Исследовано также влияние массы загрузки на условия формирования искровых разрядов в рабочей камере в частотном режиме. На рисунке 2 приведены расчетные данные выделенной энергии в разрядах, сформированных в межэлектродном промежутке 100 мм при разной массе металлической загрузки.

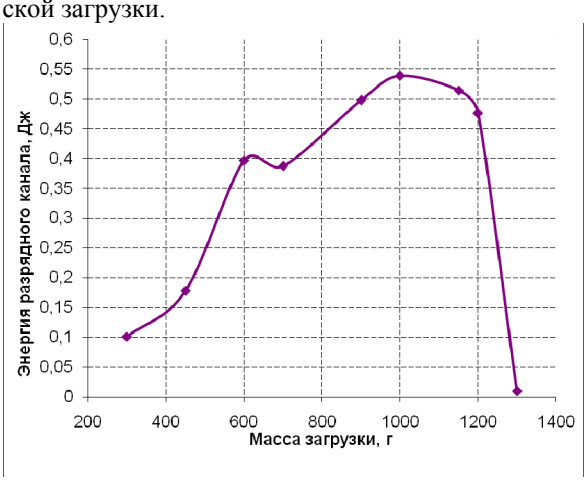


Рис. 2. Зависимость величины энергии, выделенной в канале разряда, от массы загрузки при постоянной величине межэлектродного промежутка

При малой массе загрузки расположение металлических гранул не обеспечивает протекание тока от одного электрода к другому в режиме, сопровождающимся формированием искровых разрядов. Сопротивление промежутка оказывается большим и возникает режим, близкий к режиму холостого хода источника питания. (рис. 3а) При массе загрузки 300 г ток через реактор составил 12 А, напряжение 500 В, энергия импульса 0,101 Дж (13,5 % от запасённой).

По мере увеличения массы загрузки, условия протекания тока в системе меняются, что подтверждается осциллографированием (рис. 3б). Возникает режим, при котором доля выделенной энергии в искровых разрядах повышается. Максимальное количество энергии, выделившееся в канале разряда, достигло значения 0,54 Дж, что составляет 72% от запасенной в конденсаторе энергии. При этом масса загрузки составила 1000 г, а высота слоя достигла 12 мм.

При дальнейшем увеличении массы загрузки возникает режим, близкий к режиму короткого замыкания, что подтверждается осциллограммами. Образуются цепочки контактов, по которым ток протекает от одного электрода до другого без формирования разряда.

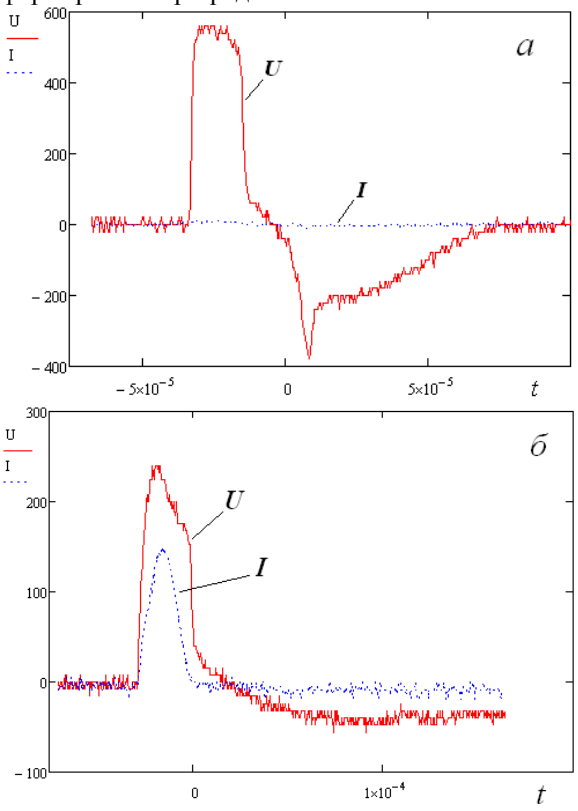


Рис. 3. Осциллограмма тока и напряжения при массе загрузки 300 г (а), 1000 г (б)

При массе загрузки 1300 г (высота слоя загрузки 16 мм) ток в межэлектродном промежутке возрос до 336 А, напряжение снизилось до 32 В, энергия импульса составила 0,01 Дж. Из рисунка 2 следует, что можно выделить участок, ограниченный массами загрузки от 900 до 1150 г, в котором величины выделенной энергии отличаются от максимальной не более, чем на 10%. Это означает, что при ведении процесса в реальных условиях показатель «масса загрузки» является значимой величиной, но которая может колебаться в некоторых пределах.

Таким образом, сделанные нами выводы подтверждаются – оптимальные условия выделения энергии в искровых разрядах в исследуемой системе могут быть получены при условии согласования величин длины электродов, межэлектродного промежутка, массы загрузки.

Список литературы

1. Авторское свидетельство № 70010 от 3 апреля 1943 г./ Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко.
2. Долиновская Р.В, Сапрыкин Ф.Е. Исследование искровой обработки металла в жидкости.//Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2010 – Т. 1, с. 42-43 / Томск: Изд. ТПУ.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БЕЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Дударев А.В.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail refduda@sibmail.com

Несмотря на ряд положительных качеств датчиков тока для релейной защиты в виде трансформаторов тока с ферромагнитным сердечником (достаточная точность преобразования синусоидальных токов, простота конструкции и использования, долговечность, огромный опыт в применения электроэнергетике) имеют место недостатки этих компонентов в составе систем релейной защиты электроустановок: большие погрешности при насыщении ферромагнитного сердечника большими токами короткого замыкания, искажения переходного процесса во вторичных токовых цепях как по величине , так и по времени затухания, немалая стоимость качественного ферромагнитного материала с большой индукцией насыщения и малой остаточной индукцией, стоимость изоляции для высоковольтных электроустановок, потребности массового количества и вследствие дороговизны трансформаторов тока для низковольтных установок и др.

Отмеченные недостатки обусловили необходимость разработки для использования датчиков тока с незамкнутым ферромагнитным сердечником и оптоэлектронных датчиков. Однако первые оказались сильно подверженными различным магнитным и электрическим помехам и неустойчивыми в настойке, а вторые весьма сложными и дорогими.

В связи с этим является целесообразным рассмотрение предлагаемых датчиков тока, которые можно назвать байпасными. Эти датчики обеспечивают преобразование высоковольтного силового тока путем параллельного ответвления (байпаса) от силовых калиброванных вставок включенных в рассечки. высоковольтных проводов фаз, т.е. на высоковольтном потенциале проводов электроустановок. Параллельное ответвление обеспечивает масштабирование силового тока. При этом однако необходима изоляционная развязка полученного таким путем вторичного тока от высоковольтного потенциала. В настоящее время указанную развязку можно рационально осуществить с помощью оптоволоконных жил, являющихся полимерными нитями в центре которых размещено цилиндрическое лучепроводящее линейное пространство. Диаметр полимерных нитей составляет порядка половину миллиметра, радиус лучепроводящего цилиндра 8 – 10 нанометров. Оптоволоконные жилы передают без искажению лучевую информацию в широком диапазоне интенсивности параметров излучения. Применение оптоволоконных жил неизбежно приводит к необходимости электро- или электронно-оптического преобразования вторичного тока байпаса в излучение, которое после передачи с высоковольтного потенциала через оптоволоконную жилу на низковольтный эксплуатационный потенциал, которое должно быть преобразовано из лучевого в электронный или электрический сигнал. Для названных преобразований сигнала силового тока требуется электропитание для преобразования как на высоковольтном, так и низковольтном потенциалах. Электропитание на низковольтном потенциале может быть предусмотрено обычное: от аккумуляторной батареи или выпрямительного устройства. Питание на высоковольтном потенциале должно быть обеспечено от источника также размещенного на данном потенциале и принимающего электроэнергию от делителя напряжения (например, на землю) относительно этого потенциала. Передача аналоговых сигналов измеренных токов на высоковольтном потенциале на низковольтный потенциал в чистом виде нецелесообразно, т.к. комплексный канал электро- или электронно-оптического преобразования оптоволоконной жилы и обратного оптоэлектронного или оптоэлектрического преобразования может оказаться недостаточно широким. Передача логического сигнала срабатывания защиты всегда будет более надежной, качественной и простой. Поэтому не только датчики тока, но также схемы измерительных релейных органов и логических преобразований необходимо выполнять на высоковольтном потенциале. Поскольку источник питания также выполнен на высоковольтном потенциале, разработка схемы токовой релейной защиты, реагирующей на полный ток фазы, не имеет никаких особенностей по сравнению с обычной релейной защитой, выполняемой на потенциале земли. Ответвление силового тока в байпас является аналогом вторичного тока трансформатора. Его можно использовать для токового электромеханического реле путем включения его обмотки в рассечку байпаса, для электронного реле путем включения инвертирующего и неинвертирующего входов операционного усилителя с сопротивлением в отрицательной обратной связи, благодаря чему на выходе операционного усилителя будет напряжение, линейно пропорциональное току байпаса, которое в свою очередь прямо

пропорционально силовому току. Таким образом, на выходе операционного усилителя имеет место сигнал, пропорциональный первичному силовому току. Этот сигнал далее можно использовать для разработки любых схем релейных защит, реагирующих на полный фазный ток. В случае электронных схем и желания максимально использовать силовой провод для создания общей шины всего электронного устройства возникают вопросы электрических развязок общих шин разных электронных схем (измерительных, логических, электропитания). Если такие вопросы возникают, то в качестве такой развязки может быть рекомендована трансформаторная связь блока питания, первичная обмотка, которой включена между высоковольтным проводом и точкой ответвления резисторного, индуктивного или емкостного делителя напряжения, подключенного аналогично к высоковольтному проводу относительно земли. Режимы данной трансформаторной развязки в отличие от трансформаторов тока определяются не большими значениями токов коротких замыканий, а весьма стабильным фазным напряжением электроустановки. Кроме того трансформаторная развязка не является метрологической цепью. На вторичной стороне данной развязки, включен выпрямительный мост, на выводах которого по постоянному току подсоединен сглаживающий конденсатор, поэтому любые помехи в напряжении электроустановки будут многократно демпфированы.

Описанный датчик тока без трансформатора может в чистом виде использоваться для построения токовых релейных защит, реагирующих на фазные токи.. Это ступенчатые и дифференциальные токовые защиты, причем для построения ступенчатых токовых защит датчик может использоваться в чистом виде, а в дифференциальных токовых защитах при формировании дифференциальной цепи сравнения токов естественных или приведенных токов плеч и желании использовать в качестве общего проводника дифференциальной схемы силового провода, необходима дополнительная изоляционная развязка между датчиками тока на всех концах защищаемой электрической цепи [1,2]: линии или ее участка, автотрансформатора, шин, генератора, двигателя. Эта развязка устраняет паразитные токи, обусловленные падением напряжения на указанном оборудовании или участке его обмоток, которые вызывают помехи в дифференциальной цепи, существенно превышающие полезные сигналы плеч дифференциальной защиты. Для быстродействующей дифференциальной защиты дополнительную изоляционную развязку плеч целесообразно выполнить широкополосной, т.е. неинерционной. Этим требованию удовлетворяет оптоволоконная развязка с электронноптическим и оптоэлектронным преобразователями на концах оптоволоконной жилы. В отличие от дифференциальных токовых защит, выполненных на трансформаторах тока, описываемые дифференциальные зашиты с оптоволоконными жилами с электронноптическим и оптоэлектронным преобразователями с одинаковой эффективностью выполняют свою быстродействующую защитную функцию как при синусоидальных, так и при любых сигналах, возникающих при переходных процессах.

Отличительной особенностью всех релейных защит с байпасными датчиками тока является реагирование непосредственно на первичные токи электроустановок, поэтому в выполняемой ими защитной функции нет никаких погрешностей, внесенных характеристиками преобразователей других датчиков тока: трансформаторов тока, современных оптоэлектронных датчиков тока. Последние предположительно должны иметь такие же показатели, что и байпасные датчики. Однако первичные токи в оптоэлектронных датчиках преобразуются через воздействие созданного протекающим по проводу тока электромагнитного поля вокруг силового провода, на поляризацию лучепроводящего канала оптоволоконной линии и выявляется с помощью неизменного светового сигнала, пропускаемого через этот канал. Воздействие на поляризацию лучепроводящего канала оптоволоконной линии возникает следствие охвата силового провода фазы несколькими витками оптоволоконной линии (жилы), по которой передается неизменное модулируемое излучение от постороннего источника излучения. Описанное построение оптоэлектронного датчика тока является весьма габаритным и поэтому конструкция механически недостаточно стабильна. Модулируемый лучевой сигнал данного датчика зависит от механической стабильности геометрии витков вокруг силового провода. Предлагаемый байпасный датчик в виде малогабаритной вставки в рассечку провода всегда может быть калиброван заранее при изготовлении, а при монтаже остается неизменным.

Список литературы

1. Дуюнова М.В., Шмойлов А.В. Построение релейной защиты трансформаторно-реакторных объектов с указанием мест повреждения обмоток: Энергетика: экология, надежность, безопасность // Матер. XIV науч.-техн. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 42-45.
2. Денисов Е.М., Шмойлов А.В.Варианты построения релейной защиты генераторов и двигателей с указанием мест повреждения обмоток, Энергетика: экология, надежность, безопасность // Матер. XIV науч.-техн. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 48-51.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С МОДЕЛЬЮ

Егорычев А.В.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор

Национальный научно-исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kekcmail@vtomske.ru

Частота является важнейшим показателем качества электроэнергии, который влияет как на работу электрических станций, так и на работу потребителей. Снижение частоты может приводить к тяжелым авариям, связанным с лавинообразным падением частоты и напряжения, для предотвращения которых широко применяется автоматическая частотная разгрузка (АЧР), отключающая часть потребителей при возникновении дефицита мощности[1].

Проблема выбора и разработки системы управления АЧР имеют огромное экономическое значение, так как в процессе аварии потребителям наносится большой экономический ущерб. Даже если незначительно улучшить процесс управления аварийным режимом, то можно существенно уменьшить этот ущерб. Со времени внедрения устройств АЧР произошли существенные технические изменения блоков разгрузки – внедрение электронной и микропроцессорной базы. Но алгоритмы функционирования остались прежними, за исключением некоторых изменений. Используя данные устройства сложно построить эффективную частотную разгрузку [2]. Это связано, во-первых, с низкой точностью блоков изменения частоты, во-вторых, разгрузка по частоте и по напряжению выполняется раздельно, в-третьих, не учитывается предыдущий режим работы системы и текущее значение мощности отключаемых нагрузок. Наличие АЧР1, АЧР2 и дополнительной разгрузки приводит к большой сложности в построении разгрузки. Так же с развитием промышленности появляются все более мощные и ответственные потребители, технологический процесс которых не допускает снижение частоты даже на допустимую по ГОСТ величину (0,4%). Необходимо выполнить экспериментальные исследования и разработать динамическую модель протяженной энергосистемы, пригодную для исследований переходных процессов в ЕЭС России и провести более подробные расчеты и исследования предлагаемой настройки системы АЧР, учитывающие реальное изменение динамических свойств энергосистемы.

С середины 90х годов прошлого века в энергетике России началось широкомасштабное внедрение цифровой техники в релейной защите, противоаварийной автоматике, телеизмерениях и телеуправлении[3]. Огромные возможности, предоставляемые новой элементной базой и микропроцессорной техникой, позволили создать устройства частотной автоматики, в которых реализованы недоступные ранее функции.

В цифровых устройствах частотной разгрузки на современном уровне реализован контроль частоты, скорости изменения частоты, напряжения. Опыт эксплуатации первого поколения цифровых устройств частотной разгрузки, доказал их эффективность и перспективность использования. Главное внимание было уделено обеспечению абсолютной преемственности в части использования алгоритмов частотной разгрузки и совместимости с существовавшими системами аналогичного назначения.

К настоящему времени известно большое число публикаций, а также выступлений на различных конференциях, посвященных цифровым устройствам релейной защиты [3]. Тем не менее работ, в которых рассматриваются проблемы и достижения в области устройств частотной разгрузки и содержатся методические рекомендации по использованию возможностей, предоставляемых микропроцессорными устройствами частотной разгрузки, недостаточно. Существенно возросло количество и изменилась номенклатура цифровых устройств частотной разгрузки, находящихся в эксплуатации, расширился круг специалистов, связанных с работой таких устройств в энергосистемах. В связи с этим возникли определенные трудности в адаптации персонала к новым устройствам, получению информации о характеристиках устройств, особенностям работы с ними

Одной из главных проблем, влияющих на структуру и настройку частотной разгрузки, является проблема определения дефицита генерации в случившейся аварии[4]. Известно, что чем больше дефицит активной мощности, тем больше скорость снижения частоты в энергосистеме и больше нагрузки должна отключить система АЧР для ликвидации дефицита мощности. Поэтому, суммарный объем АЧР должен превышать объем дефицита активной мощности, чтобы избыточным отключением нагрузки предотвращать глубокие

снижения частоты. Для более эффективного отключения нагрузки можно производить отключение по скорости изменения частоты. Уравнение энергосистемы при дефиците генерации можно принять в виде[5]:

$$T_J p\Delta f + k_H \Delta f = \Delta P$$

где k_H – регулирующий коэффициент нагрузки, T_J – эквивалентная постоянная времени энергосистемы, p – знак дифференцирования, Δf – изменение частоты, ΔP – небаланс мощности.

При этом в первый момент аварии отклонение частоты равно $\Delta f = 0$, поэтому

$$T_J \frac{df}{dt}\Big|_{t=0} = \Delta P$$

Зная постоянную времени T_J и измерив производную $\frac{df}{dt}\Big|_{t=0}$, можно оценить аварийный дефицит мощности ΔP. При отключении потребителей на эту расчетную величину баланс мощностей в энергосистеме восстановится при частоте 50 Гц.

Однако такую автоматику выполнить невозможно[5]. Приведенная модель энергосистемы приближенная, не учитывающая некоторые обстоятельства, оказывающие принципиальное влияние на автоматику, реагирующую на производную $\frac{df}{dt}$. Дело в том, что в реальной энергосистеме происходит качание роторов генераторов друг относительно друга. Это обусловлено многими причинами и, в первую очередь, зоной нечувствительности регуляторов частоты вращения. Но так как отклонение частоты обычно не выходит за пределы ±0,1 Гц, можно осуществить отстройку от данных качаний.

Частотную разгрузку по снижению и восстановление частоты до длительно допустимых уровней нельзя осуществить одним отключением нагрузки. В настоящее время обеспечение стабилизации уровней частоты при небалансах активных мощностей Рген и Рн осуществляется с помощью АОСЧ (в том числе и АЧР). Таким образом, для осуществления восстановления частоты отключением нагрузки по скорости снижения частоты, необходимо осуществлять совместное действие устройств АОСЧ. Такие задачи способна решать автоматическая частотная разгрузка на основе методов автоматического управления с эталонной моделью. В данном случае в роли эталонной модели выступает программная траектория описывающая восстановление частоты при дефицитах мощности. Для построения данной траектории необходимо определить частоту f и скорость изменения частоты $\frac{df}{dt}$ для каждого интервала времени t при восстановлении частоты только резервами мощности энергосистемы. И при возникновении аварийной ситуации осуществлять отключение такой дозированной мощности нагрузки, чтобы снизить скорость изменения частоты до определенной при восстановлении частоты резервами мощности. То есть разработка самонастраивающихся алгоритмов определяющих траекторию восстановления частоты с помощью резервов мощности энергосистемы и отключение устройствами АЧР мощности нагрузки на ранних этапах аварии для уменьшения скорости снижения частоты до значения совпадающей с данной траекторией. При этом необходимо осуществить отстройку измерения скорости изменения частоты на 0,1 Гц, как предполагалось ранее.

Основной недостаток данного метода заключается в выборе необходимой дозированной мощности нагрузки. Так как к устройствам АЧР подключают фидеры со строго определенной мощностью потребителей. Данную проблему можно решить путем определения загруженности потребителей. Таким образом, при возникновении дефицита мощности следует отключать нагрузку не по порядку, а выборочно с суммарным объемом равным дефициту. При этом необходимо учитывать категорию потребителей.

Список литературы

1. Рабинович Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем.– 2-е издание.– М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352с.
2. Энергосистема: управление, конкуренция, образование. Сборник докладов 3 международной научно–практической конференции. Том 1. 2008.
3. Александров В. Ф., Езерский В. Г., Захаров О. Г., Малышев В. С. Частотная разгрузка в энергосистемах. Часть 1. Алгоритмы и устройства. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 100с.
4. Данильчук В. Н. Основные принципы развития частотной противоаварийной автоматики в энергосистемах и основные требования, предъявляемые к реле частоты. http://www.relsis.ua/relsis/tree/news_/seminar.htm
5. Павлов Г.М., Меркулев Г.В. Автоматика энергосистем. НОУ «Центр подготовки кадров энергетики» Санкт-Петербург. http://www.twirpx.com/file/57013/

ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ПЛАЗМОДИНАМИКИ ПУЧКОВ

Деева В.С., Елгина Г.А.

Научные руководители: Слободян С.М., д.т.н., профессор; Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: elgina@tpu.ru, veradee@mail.ru

Плотная низкотемпературная плазма широко применяется в различных областях науки и техники [1–8]. Так, в частности, с использованием низкотемпературной плазмы режут и сваривают металлы, наносят покрытия на поверхности, отличающихся по своим физико-механическим свойствам и структуре, металлических деталей, узлов и элементов конструкций в таких областях, как металлургия, обработка, инструменты для бурения. Например, в области плазмохимии низкотемпературную плазму используют для получения некоторых химических соединений, например, галогенидов инертных газов типа KrF, которые не удаётся получить другим путём.

Высокотемпературная плазма ($T \sim 10^8$ К), получаемая из соединений радиоактивных материалов, основной объект исследований в области управляемого термоядерного синтеза. Такого рода высокотемпературная плазма создаётся путём нагрева и быстрого сжатия плазмы электромагнитным полем, создаваемым током (применяют иногда и высокочастотный подогрев путем дополнительного облучения полем СВЧ-радиодиапазона), либо путём инжекции высокоэнергичных нейтральных атомов в магнитном поле, где они ионизуются, либо облучением мишени мощными потоками пучков релятивистских электронов или лазерного излучения.

Высокотемпературную плазму получают в установках для исследования возможных путей осуществления управляемого термоядерного синтеза. Многими характерными для плазмы свойствами обладают совокупности электронов проводимости и дырок в полупроводниках и электронов проводимости (нейтрализуемых неподвижными положительными ионами) в металлах, которые поэтому называются плазмой твёрдых тел. Отличительная особенность такого рода плазмы – возможность существования при сверхнизких для «газовой» плазмы температурах – комнатной и ниже, вплоть до абсолютного нуля температуры.

Возможный уровень значений плотности плазмы n (число электронов или ионов в см^3) расположены в очень широком диапазоне: от $n \sim 10^{-6}$ – в межгалактическом пространстве и $n \sim 10$ – в солнечном ветре до $n \sim 10^{22}$ – для твёрдых тел, и до ещё больших, гигантских значений в центральных областях звёзд.

Низкотемпературная плазма ($T \sim 10^3$ К) находит применение в газоразрядных источниках света, в газовых лазерах различного вида спектрального излучения, в преобразователях тепловой энергии (термоэлектронного типа) в электрическую и в магнитогидродинамических (МГД) генераторах, где струя низкотемпературной плазмы тормозится в пространственном канале с поперечным магнитным полем B, что приводит к появлению внутри электродной системы электрического поля напряжённостью E порядка Bu/c (u – скорость потока плазмы).

Средние энергии различных типов частиц, компонентных составляющих плазмы, могут отличаться одна от другой. В таком случае плазму нельзя охарактеризовать одним значением температуры T и различают электронную температуру T_e, ионную температуру T_i (или ионные температуры, если в плазме имеются ионы различных типов) и температуру нейтральных атомов T_a (нейтральной компоненты). Подобная плазма называется неизотермической, в то время как плазма, для которой температуры всех компонент равны, называется изотермической.

Применительно к плазме вкладывается несколько необычный смысл в понятия «низкотемпературная» и «высокотемпературная». Низкотемпературной принято считать плазму с $T_i \sim 10^5$ К, а высокотемпературной – с $T_i \sim 10^6$–10^8 К и более. Это условное разделение связано, как с возможностью для плазмы достигать чрезвычайно больших температур, так и с особой важностью высокотемпературной плазмы в плане решения проблемы управляемого термоядерного синтеза.

Подходы и методы осуществления диагностики плазмы. Помещая в плазму электрический зонд (маленький электрод) и регистрируя зависимость тока от подаваемого напряжения, можно определить температуру и плотность плазмы. С помощью миниатюрной индукционной катушки – «магнитного зонда» – можно измерять изменение магнитного поля в реальном времени. Эти способы связаны, однако, с активным вмешательством в область, занимаемую плазмой, и могут внести нежелательные искажения в процесс измерения, диагностики состояния и последующего управления состоянием плазмы. В этом отношении большей привлекательностью пользуются бесконтактные методы, как более чистые, с точки зрения искажающего влияния на плазменный процесс. К ним относятся: просвечивание плазмы пучками нейтральных частиц и пучками радиоволн. Лазерное

просвечивание плазмы в различных вариантах, в том числе с использованием голографии, является наиболее тонким и к тому же локальным методом лабораторной диагностики плазмы [1].

Кроме того, следует принимать во внимание тот факт, что высокие температуры плазмы приводят к высокой скорости протекания химических реакций, как прямых реакций синтеза, так и обратных реакций разложения. Если производить синтез и управление параметрами структуры или геометрией в реальном масштабе времени, то есть, в быстротечном временном процессе формирования плазмы или движения плазменного образования, например, расширяя его геометрические размеры и, таким образом, осуществляя быстрое ее охлаждение на следующем временном интервале (такая операция называется закалкой), то можно удержать обратные реакции разложения, повысить эффективность применяемого технологического процесса и существенно увеличить выход создаваемого продукта.

Часто применяют также пассивные методы диагностики – наблюдение спектра излучения плазмы (единственный метод в астрономии), вывод быстрых нейтральных атомов, образовавшихся в результате перезарядки ионов в плазме, измерение уровня радиошумов. Плотную плазму изучают с помощью сверхскоростной киносъёмки (несколько миллионов кадров в секунду) или оптической развёртки. В исследованиях по управляемому термоядерному синтезу регистрируется также рентгеновский спектр тормозного излучения и нейтронное излучение дейтериевой плазмы.

Излучение плазмы. Спектр излучения низкотемпературной (например, газоразрядной) плазмы состоит из отдельных спектральных линий. В газосветных трубках, применяемых, в частности, для целей рекламы и освещения (лампы дневного света), наряду с ионизацией идет и обратный процесс – рекомбинация ионов и электронов, создающая широкополосное так называемое рекомбинационное излучение.

Для высокотемпературной плазмы с высокой степенью ионизации характерно тормозное излучение с непрерывным спектром, возникающее при столкновениях электронов с ионами. В магнитном поле ларморовское вращение электронов плазмы приводит к появлению так называемого магнитотормозного излучения на гармониках циклотронной частоты, особенно существенного при больших энергиях электронов.

Корпускулярным плазменным излучением называют быстрые частицы, вылетающие из неравновесной плазмы в результате развития различных типов неустойчивостей. В первую очередь, в плазме раскачиваются характерные колебания, энергия которых затем передаётся небольшой группе резонансных частиц. По-видимому, этим механизмом объясняется ускорение не очень энергичных космических частиц в атмосфере Солнца и в туманностях, образующихся при вспышках сверхновых звёзд.

Основные свойства плазмы. В резком отличии свойств плазмы от свойств нейтральных газов определяющую роль играют два фактора. Во-первых, взаимодействие частиц плазмы между собой характеризуется кулоновскими силами притяжения и отталкивания, убывающими с расстоянием гораздо медленнее (т. е. значительно более дальнодействующими), чем силы взаимодействия нейтральных частиц. По этой причине взаимодействие частиц в плазме является, строго говоря, не парным, а коллективным – одновременно взаимодействует друг с другом большое число частиц. Во-вторых, электрические и магнитные поля очень сильно действуют на плазму (в то время как они весьма слабо – на нейтральные газы), вызывая появление в плазме объёмных зарядов и токов и обусловливая целый ряд специфических ее свойств. Эти отличия позволяют рассматривать диагностику плазмы как весьма важную задачу в части изучения особого, четвёртого состояния вещества.

В заключение настоящего доклада отметим, что сформулированный выше подход к разработке путей диагностики плазмодинамики высокой мощности позволит в принципе: изучать неравновесную динамику плазменного процесса; проводить исследование основных характеристик низкотемпературной и высокотемпературной плазмы; формировать прогноз динамики ее поведения и в реальном времени получать оценку состояния обоих видов (высокотемпературной и низкотемпературной) плазмы косвенными и прямыми методами бесконтактной диагностики с использованием возможностей компьютерного моделирования.

Список литературы

1. Слободян С.М. Телевизионная диагностика лазерных пучков. – Барнаул: Азбука, 2006. – 224 с.
2. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. – М.: Атомиздат, 1969. – 410 с.
3. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. 1963 – М.: Гостехлитиздат, 1963. – 219 с.
4. Альвен Г. Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика / пер. с англ. 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1967. – 460 с.
5. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Физматлит, 1967. – 372 с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. – М.: Наука, 1963. 424 с.
7. Спитцер Л. Физика полностью ионизованного газа / пер. с англ. – М.: Гостехлитиздат, 1957. – 488 с.
8. Трубников Б.А., Введение в теорию плазмы. – М.: Физматлит: Наука, 1969. – 576 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Елесина Т.Д., Абрамочкина Л.В.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tde89@sibmail.com

Проведение периодических осмотров, профилактических измерений и испытаний не гарантирует безотказной работы воздушных линий электропередач (ЛЭП). В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения линий: симметричные, несимметричные короткие замыкания и обрывы проводов линий. Одной из важных задач эксплуатации воздушных ЛЭП является быстрое определение места повреждения (ОМП) и проведение ремонтно-восстановительных работ.

При большой протяженности и разветвленности распределительных сетей указанная задача может эффективно решаться только при использовании специальных технических средств, которые основаны на измерении и запоминании параметров аварийного режима (токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей) и вычислении расстояния до мест повреждения. В таких сетях используются, как правило, двусторонние методы, основанные на фиксации токов и напряжений по концам линии.

Для измерения и запоминания токов и напряжений используются полупроводниковые и микропроцессорные фиксирующие приборы. По сравнению с полупроводниковыми, микропроцессорные фиксирующие приборы позволяют реализовать более сложные алгоритмы ОМП. Также они больше приспособлены к перепрограммированию при изменении параметров сети и являются более точными. Опыт эксплуатации микропроцессорных приборов ОМП показал, что погрешность определения расстояния до места повреждения не превышает 5 %.

К современным микропроцессорным устройствам ОМП можно отнести, такие как:

• Приборы научно-производственного предприятия “Бреслер”: ИМФ-3Р; Бреслер-0107.090; МИР-Р; РЭМИ; ТОР-Локатор, с отображением расстояния до места повреждения на встроенном табло**.** Достоинством таких средств является оперативность получения результатов и низкие требования к квалификации персонала. Также предприятие выпускает два продукта для определения места повреждения ЛЭП: программный комплекс WinBres с модулем двухстороннего ОМП BresOMP и аппаратный комплекс двухстороннее ОМП Бреслер-0107.090. Достижимая точность: -2…3% при одностороннем замере и -0,3...1% при двухстороннем [1].

• Системы ОМП QUALITROL (США), базирующиеся на методе «бегущей волны», сущность которого заключается в том, что повреждение на работающей линии порождает импульс, распространяющийся по линии в обе стороны. Система состоит из двух локаторов повреждений Qualitrol, расположенных на обоих концах контролируемой линии, и персонального компьютера, на который поступает от локаторов вся необходимая информация. Преимуществами данной системы являются высокая точность ОМП (точность до опоры, ±150 метров), независящая от протяжённости линии и от изменений ее параметров, идентификация всех типов повреждений и простота монтажа [2].

• Комплект аппаратуры «Локатор», разработанный Екатеринбургским радиозаводом, предназначенный для мониторинга состояния фазных проводов ЛЭП. Применение аппаратуры позволяет своевременно предотвращать пробой изоляторов, попытки кражи проводов линий электропередач под напряжением или обесточенных и несанкционированного подключения потребителей. Для линии протяженностью не более 500 км погрешность определения координаты повреждения не превышает ±150 м [3].

Кроме того, в данном направлении ведутся работы в Южно-Российском государственном техническом университете (Новочеркасском политехническом институте). Здесь осуществляется разработка модульных высокоточных рефлектометров для кабельных и воздушных линий электропередач, принцип действия которых основан на зондировании линий импульсным воздействием с последующим анализом отражённого сигнала от неоднородностей волнового сопротивления ЛЭП. Разработанный макетный образец рефлектометра позволяет определять место повреждения с точностью 0,05 % [4].

Следует сказать, что использование локационных методов по сравнению с методами ОМП воздушных ЛЭП по параметрам аварийного режима дает более точные результаты, но требует значительно больших вложений и его экономическая целесообразность для ЛЭП 110-220 кВ проблематична.

Таким образом, в настоящее время активно ведется разработка различных методов и средств ОМП, но все еще в результатах расчетов имеет место погрешность.

К основным факторам, снижающим точность работы устройств ОМП, относятся:

1) Погрешности работы измерительных трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.

2) Неопределенность и неустойчивость переходного сопротивления короткого замыкания, приводящая к неточности измерения параметров КЗ.

3) Неточность учета взаимной индуктивности между параллельно проходящими линиями электропередачи, которая также обусловлена отсутствием надлежащей идентификации параметров схем замещения по фактическим данным.

4) Неточность принимаемых по справочным данным параметров ЛЭП.

5) Упрощенный подход к моделированию переходных процессов в линиях электропередачи при коротких замыканиях, заключающийся в том, что в общем случае не учитывается влияние активных сопротивлений, фазовых сдвигов между векторами напряжений по концам линий и других факторов.

Авторами было принято решение о разработке путей снижения влияния четвертого и пятого факторов.

На данный момент разработаны два алгоритма определения погонных параметров воздушной линии электропередачи, в том числе и протяженной. В качестве первичной информации используются массивы мгновенных значений токов и фазных напряжений в начале и в конце линии, получаемых от регистраторов аварийных сигналов. В основу алгоритмов положен способ построения математической модели линии на основе уравнений длинной линии. Промежуточным этапом в алгоритмах идентификации погонных параметров линии электропередачи является определение обобщенных постоянных замещающего четырехполюсника. Вычисление постоянных может быть выполнено через векторные значения токов и напряжений по концам линии, либо через параметры эквивалентной четырехполюснику П-образной схемы замещения (рис. 1.а, б).

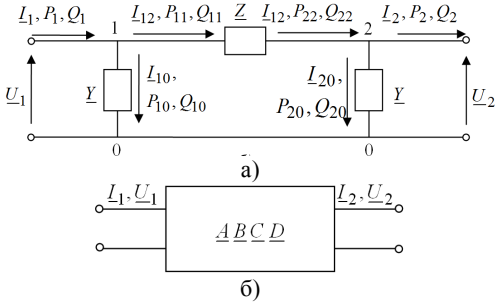


Рис. 1. Схемы замещения линий электропередачи: а) П-образная, б) четырёхполюсник

Алгоритмы были апробированы, при этом была получена высокая точность результатов.

Ниже дано краткое описание идеи одного из разрабатываемых алгоритмов ОМП, в которых используются уточненные значения погонных параметров линии.

Для определения расстояний l_1, l_2 (рис. 2) от концов линии до точки K короткого замыкания записываются уравнения длинной линии в форме гиперболических функций для первой и второй частей линии (рис. 2) по схеме прямой последовательности. С учетом того, что $l_2 = l - l_1$, напряжение прямой последовательности $\underline{U}_{A1}$ в точке короткого замыкания определяется по уравнениям:

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A1,1} ch\underline{\gamma}_0 l_1 - \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 l_1; \quad (1)$$

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A1,2} ch\underline{\gamma}_0 (l - l_1) + \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 (l - l_1) \quad (2)$$

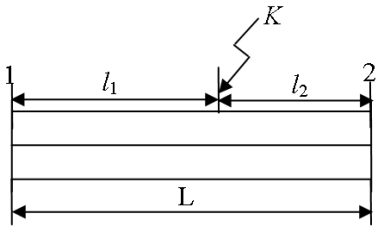


Рис. 2

Равенство правых частей в уравнениях (1, 2) позволяет записать одно уравнение с исходным расстоянием l_1 от начала линии до точки короткого замыкания:

$$\begin{aligned} &\underline{U}_{A1,1} ch\underline{\gamma}_0 l_1 - \underline{U}_{A1,2} ch\underline{\gamma}_0 (l - l_1) - \\ &- \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 l_1 - \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 (l - l_1) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

В результате решения уравнения (3) относительно l_1, определяется искомое расстояние до места короткого замыкания. Очевидно, что уравнение (3) применимо для ОМП при всех видах однократной поперечной несимметрии, а также при симметричных коротких замыканиях. В исключительном случае, когда на линии происходит металлическое короткое замыкание, вместо уравнения (3) может использоваться любое из уравнений (1, 2). Однако, как показала дополнительная проверка, уравнение (3) также позволяет получить верный результат.

В заключение отметим, что проблема повышения точности ОМП линии электропередачи остается по настоящее время актуальной. Решение задачи идентификации погонных параметров линии и использование уточненных алгоритмов ОМП позволит, по нашему мнению, снизить остроту этой проблемы.

Список литературы

1. Исследовательский центр «Бреслер» // http://www.ic-bresler.ru
2. Локаторы повреждений Qualitrol // http://www.navi-spb.ru/catalogue/section/22
3. Аппаратура определения мест повреждения ВЛ («Локатор») // http://zra.ru/prod1.html
4. Саввина К. Д., Январёв С. Г., Кучеров В. А., Шайхутдинов Д. В. Разработка модульного высокоточного рефлектометра для кабельных и воздушных линий электропередач // http://ru.domain1fc6c2.kulibin.org

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ДОМА

Захаров А.А.

Научный руководитель: Удалов С.Н., к.т.н., доцент

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630092, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20
E-mail: Pharaon13@mail.ru

Для решения конкретного технического задания создана математическая модель в виде программного продукта в среде Microsoft Excel. Проведено практическое исследование эффективности данного продукта для любой местности. Предложены эффективные активные и пассивные системы тепло сбережения автономного дома.

Введение

Широкое внедрение возобновляемых источников энергии различных компаний при строительстве и модернизации производственных и жилых помещений в современном мире, поставило задачу создать качественный программный продукт, который смог бы упростить расчет систем теплоснабжения и тепло сбережения в любой местности. И демонстрировать объективную экономическую оценку применения автономных систем в сравнении с централизованными системами.

В статье предложен алгоритм разработанного программного продукта в среде Microsoft Excel. Детально разобраны активные и пассивные системы тепло сбережения автономного дома. И показаны полученные результаты.

Формулировка задачи

Дальнейшие рассуждения будут проводиться на основе модели автономного дома, для которого существуют следующие поставленные задачи:

1. Определить эффективные пассивные и активные системы тепло сбережения.
2. Создать математическую модель теплоснабжения.
3. Использовать полученную модель для расчета систем автономного отопления для любой местности.

Пассивные системы тепло сбережения [1]

При проектировании энергоэффективного дома необходим системный подход. В качестве целевой функции принимается минимально возможное энергопотребление на единицу площади дома, которая вытекает из теплового баланса здания. Для получения максимального эффекта тепло сбережения дом строится из строительных материалов с низким коэффициентом теплопроводности, при этом повышается сметная стоимость дома. Поэтому на первом этапе необходима разработка с помощью программного продукта нескольких вариантов домов из различных строительных материалов, для права выбора заказчиком наиболее экономически привлекательного. Например такой, как показан на рис 1.

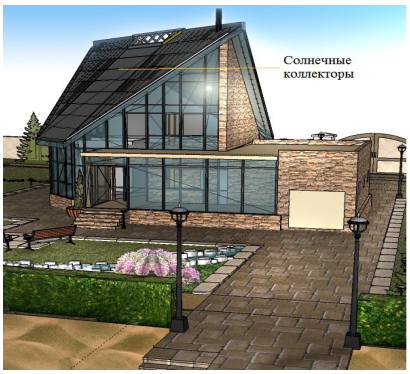


Рис. 1. Внешний вид автономного ресурсосберегающего автономного дома

Рассмотрим конструкцию его стен и окон с теплозащитными ставнями.

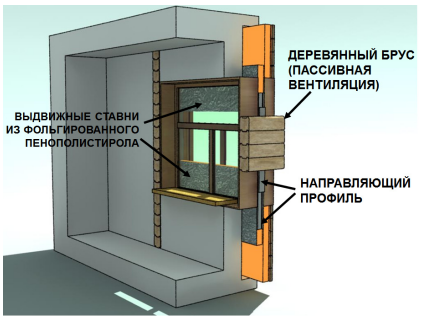


Рис. 2. Окно с теплозащитными ставнями

Стены выполняются из различных строительных материалов. Рост термического сопротивления будет обусловлен увеличением толщины стены. На рис. 2 это деревянный брус. Он выступает в виде пассивной вентиляции и теплоизоляции помещения. И конструкция окна, которая дополнена выдвижным экраном в виде ставни из фольгированного пенополистирола для уменьшения отвода тепла в темное время суток. Так как окно это «тепловая дыра». Но есть и другая новейшая конструкция окна сделанная в виде сотовой панели, изображена на рис. 3.

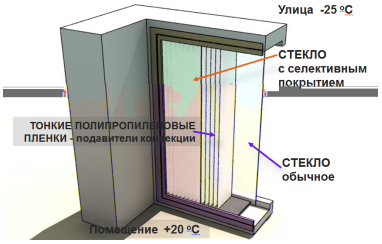


Рис. 3. Свето-прозрачная сотовая панель

Эта конструкция более эффективна. Она имеет большее сопротивление теплопотерям (3.5), чем у обычного окна, выполненного из тройного стеклопакета (0.55-0.8). Такие панели устанавливаются с южной стороны здания для большего поглощения светового потока. И при этом снижается потребление от активных источников энергии. Варьируя этими показателями, регулируется количество и мощность активных источников энергии, например солнечных коллекторов, для достижения комфортной температуры внутри помещения.

Активные системы теплоснабжения [1]

Одна из таких систем представлена на рис. 4.

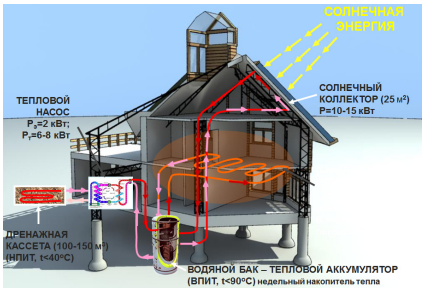


Рис. 4. Комбинированная система теплоснабжения автономного дома

Эта комбинированная система состоит из приемника солнечной энергии (солнечного коллектора), высокопотенциального источника тепла (теплового аккумулятора) для хранения и поддержания температуры теплоносителя на продолжительный промежуток времени (до 7 дней), системы теплого пола, тепловых и дренажного насосов , для прокачки теплоносителя по системе, и низко потенциального источника тепла (дренажная кассета), предназначенного так же для хранения теплоносителя. В случае нехватки тепловой энергии от солнечных коллекторов и ВПИТ происходит вывод и покрытие недостающей тепловой энергии, необходимой для поддержания нужной температуры в жилых помещениях из грунтового аккумулятора или дублирующего источника тепла. Такая система запрограммирована в программном продукте в среде Microsoft Excel. На основе ее подобраны оптимальные параметры всех составляющих как активной, так и пассивной систем теплоснабжения и тепло сбережения. Такой программный продукт требует четкого и эффективного алгоритма, который имеет минимальные погрешности при вычислении системы.

Алгоритм программного продукта (2)

Вначале задаются исходные данные и входные параметры. Расчет производится итерационным методом, пока не будет достигнута определенная точность на выходе из коллектора, исходя из условия разности температур в итерациях, равной очень малой величине. И если выполняется это условие, то определяются тепловые потери в трубах солнечного коллектора и баке аккумуляторе.

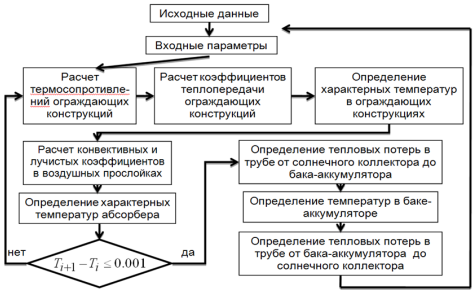


Рис5. Алгоритм расчета системы теплоснабжения автономного ресурсосберегающего дома;

Заключение (2)

Полученные результаты расчета представлены на рис. 6.

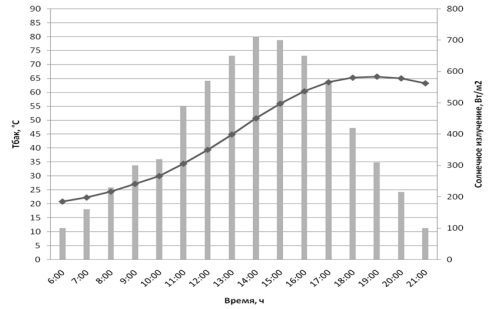


Рис. 6. График зависимости изменения температуры в баке аккумуляторе от солнечного излучения в течение солнечного дня при постоянной температуре вне помещения в мае

Как видно из рисунка температура в баке повышается при увеличении солнечного излучения в течении дня и незначительно уменьшается в конце дня.

В результате разработанного программного продукта найдены оптимальные параметры пассивных и активных систем теплоснабжения автономного дома. Программа позволяет рассчитывать солнечные коллекторы различных видов и систему солнечного теплоснабжения для любой местности с различным уровнем солнечного излучения.

Список литературы

1. Удалов С. Н. Возобновляемые источники энергии. Учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2009. – 303-312с.
2. Удалов С.Н., Телегин А.В., Малых В.В. Математическая модель системы солнечного теплоснабжения с распределёнными параметрами для малоэтажных зданий. – Новосибирск, Материалы международной научно-практической конференции. – 2009. – 181-185 с.

4-ЗОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ЛЕСТНИЧНОГО ТИПА

Зотова Е.В., Волкова О.Л., Крышков В.Ю.

Научный руководитель: Мятеж С.В., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: evzotova2010@mail.ru

Способ дискретно-ступенчатого (амплитудного) и плавного по ступеням (зонного) регулирования выпрямленного напряжения путем переключения с помощью управляемых вентилей отводов вторичной обмотки выпрямительного трансформатора известен еще с 1930-х годов. Широкое применение выпрямители с таким регулированием нашли на электровозах переменно-постоянного тока, в том числе в качестве многоуровневых для питания инверторов [1]. Применяется зонное регулирование и в источниках питания менее мощных потребителей постоянного тока, а также в стабилизаторах переменного напряжения [2].

Общим недостатком всех применяемых зонно-фазовым регуляторов, является:

- повышенное потребление реактивной мощности, достигающее 80%;
- искажение формы тока, потребляемого из сети, которое обусловливает низкие значения коэффициента мощности, не превышающие в эксплуатации 0,8.

Кроме того, существует проблема необходимости проведения двойной коммутации в двух контурах, один из которых является частью другого, вводятся углы задержки. Двойная коммутация уменьшает рабочую часть периода сетевого напряжения, приводит к дополнительным искажениям формы выпрямленного напряжения и вносит искажения в потребляемый ток [3].

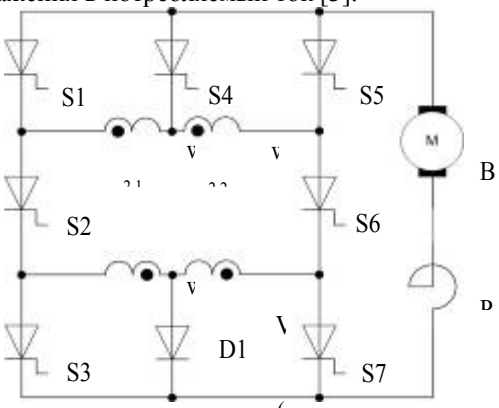


Рис. 1. Схема лестничного 4-зонного преобразователя

Авторами предлагается новое схемное решение лестничного 4-х зонного преобразователя (рис. 1), который не требует дополнительной задержки времени при отпирании тиристоров, приводящей к сдвигу энергетического центра выпрямленного напряжения, а соответственно и тока, в выходных и входных цепях преобразователя [4].

Таким образом, коэффициент сдвига между током и напряжением стремится к единице. В этой схеме также образуются большой и малый контуры коммутации, но они рассовмещены «по этажам» (лестнице), что способствует проведению одновременной коммутации в данных контурах.

Достоинства лестничной схемы:

- требуется меньше управляемых вентилей;
- упрощение алгоритма управления;
- симметричность схемы;
- схема не требует двойной коммутации.

На рис. 2 для предложенной схемы приведен алгоритм управления тиристорами для каждой зоны регулирования, в соответствие с которым были дополнительно исследованы свойства предложенного преобразователя в среде Micro-Cap.

Зона	Фаза	Углы отпирания тиристоров						
		1	2	3	4	5	6	7
I	+	●	●					○
	-			○		●	●	
II	+	○	○		●			
	-				●	○	○	
III	+		○		○	●		
	-	●			○		○	
IV	+		○		○	●		○
	-	●		○	○		○	

Рис. 2. Алгоритм управления тиристорами.
Обозначения: ○ – α_0 ; ● – α_{pi}

На рис. 3 показана рабочая схема преобразователя, собранная в среде Micro-Cap и имитирующая процессы функционирования в соответствии с порядком управления тиристорами, согласно алгоритму, для каждой зоны.

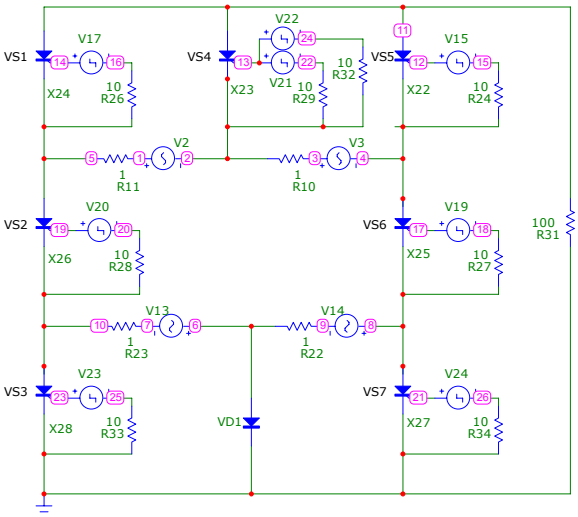


Рис. 3. Схема лестничного 4-зонного преобразователя на IV зоне

Для управления тиристорами и соблюдения необходимой очередности включения, применены настраиваемые источники периодических импульсных сигналов.

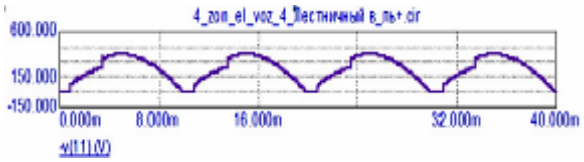


Рис. 4. Диаграмма работы преобразователя на IV зоне регулирования

Результаты имитационного моделирования процессов, согласно собранной и приведенной на рисунке 3 схеме, представляют собой волновые диаграммы напряжений во всех интересующих узлах схемы (рис. 4).



Рис. 5. Элементы физической модели преобразователя

Для проверки достоверности теоретических положений и работоспособности схемы лестничного 4-зонного преобразователя, была создана физическая модель зонного выпрямителя (рис. 5). Она состоит из силового трансформатора типа ТС-180-2, предназначенного для согласования величин входного и выходного напряжения; вентильный комплект, который непосредственно осуществляет преобразование переменного тока в пульсирующий; блок управления, обеспечивающий подачу на вентили управляющих сигналов в соответствии с заданным алгоритмом регулирования режимов работы выпрямителя. Вентильный блок включает 7 тиристоров КУ202Н, 1 диод Д245, кроме того для обеспечения электрической устойчивости схемы использованы сопрессоры КЕ 1,5-100.

С помощью физической модели были получены осциллограммы напряжений на разных зонах. На рис. 6 приведена осциллограмма напряжения на четвертой зоне регулирования.

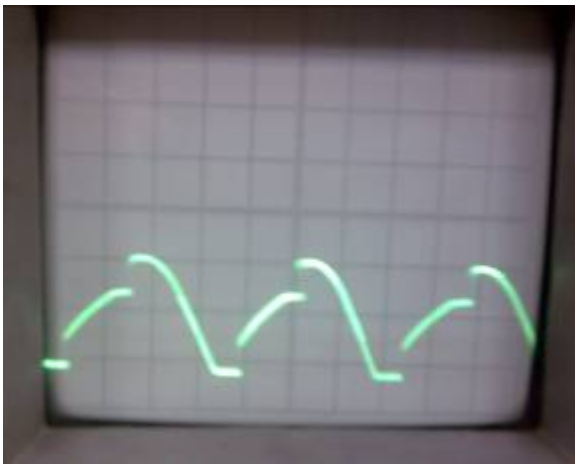


Рис. 6. Осциллограмма выходного напряжения на четвертой зоне

Планируется провести серию экспериментов с активной и активно-индуктивной нагрузкой для расчета энергетических показателей выпрямителя и сравнения с теоретическими данными и результатами имитационного регулирования.

Список литературы

1. Тихменев В.А., Кучумов В.А., Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. – М.: Транспорт, 1988.
2. Кобзев А.В., Стабилизаторы переменного напряжения с высокочастотным широтно-импульсным регулированием / Кобзев А.В., Лебедев Ю.М., Михальченко Г.Я. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Плакс, А.В., Системы управления электрическим подвижным составом: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут. – 2005. – 360 с.
4. Пат. 2398344 РФ, H02M7/155. Однофазный преобразователь переменного тока в постоянный / С. А. Евдокимов, Л.Г. Евдокимова; НГТУ – 2009125279; Заяв. 01.07.09; Опуб. 27.08.10, Бюл. № 24; Приоритет 01.07.09. – 1 с.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ RIP-ВВОД НА 500 кВ С ПОЛИМЕРНОЙ ПОКРЫШКОЙ

Иванюк Е.В., Куртенков Г.Е.

Научный руководитель: Куртенков Г.Е., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivanyuk9a64@sibmail.com

В настоящее время в электроэнергетике наибольшее распространение получили высоковольтные вводы конденсаторного типа с бумажно-масляной изоляцией (OIP-вводы) на все классы напряжения ($Uн = 110 - 1150кВ$) и номинальные токи $Iн \le 5000А$ [1].

Несмотря на хорошие диэлектрические свойства бумажно-масляной изоляции эксплуатация маслонаполненных вводов OIP всегда была связана с потенциальной опасностью взрыва ввода из-за возможной утечки масла и последующего пожара на маслонаполненном оборудовании – силовых трансформаторах, баковых масляных выключателях и др. Поэтому в последние годы наметилась тенденция замены OIP- изоляции на твёрдые («сухие») виды внутренней изоляции вводов (бумажно-бакелитовые RBP-вводы и бумажно-эпоксидные RIP-вводы). Подобное техническое решение позволяет не только уменьшить массу и габариты твердотельных вводов, но и снизить их стоимость [1,2].

Вводы типа RBP хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации, они не требуют такого объема обслуживания как вводы с OIP-изоляцией, т.к не нужно следить за давлением масла, отбирать его пробы на хроматографию и т.п. Однако у вводов с RBP-изоляцией есть и существенные недостатки, связанные с технологией изготовления, которая допускает наличие мельчайших газообразных включений в остове. Как следствие изоляция таких вводов имеет повышенный уровень частичных разрядов и увеличенные диэлектрические потери, что уменьшает внутренний ресурс RBP-вводов и ограничивает область использования RBP-изоляции, хотя их электрические характеристики полностью соответствуют требованиям ГОСТ 10693-81 [2].

Выход из создавшейся ситуации заключается в переходе с RBP- изоляции на более совершенную твёрдую RIP- изоляцию, которая отличается малым значением $tg\delta = 0,25 - 0,45\%$ и низким уровнем частичных разрядов (не более 5пКл при двойном фазном напряжении). Достигается это пропиткой предварительно намотанного на токоведущий стержень бумажного остова с перфорированными конденсаторными обкладками эпоксидным компаундом под вакуумом, что исключает наличие газовых включений в остове. В России компания «АББ Электроизолит Бушинг» с 1999 г. освоила сборку вводов с RIP-изоляцией на $Uн = 110кВ$ и $Iн \le 2000А$ на основе остовов, закупаемых у компании ABB Micafil (Швейцария). С 2005г. «Мосизолятор» приступил к выпуску RIP-вводов собственной разработки 35-220 кВ.

В настоящей работе излагаются результаты расчёта и конструирования высоковольтного ввода типа RIP с полимерной покрышкой из силиконовой резины, что обеспечивает высокую ударопрочность, гидрофобность и сейсмостойкость. Расчётные параметры ввода для наружной установки:

$$Uн = 500кВ; Iн = 2000А; Ризг = 400кГс$$

Для сравнения технико-экономических показателей был также произведен расчёт ввода с фарфоровой покрышкой на выше указанные параметры с использованием внутренней OIP-изоляции.

На основе электрического и теплового расчётов получено, что ввод с OIP-изоляцией может устойчиво работать при максимальной напряженности поля $E\max = 12,5кВ/мм$ и при устойчивой температуре стержня $tcy = 102°C$ Соответственно ввод с RIP-изоляцией может устойчиво работать при $E\max = 18,7кВ/мм$ и $tcy = 116°C$.

Для снижения радиальных габаритов бумажно-эпоксидного ввода применена цельнолитая силоксановая покрышка, плотно прилегающая к остову ввода, что полностью исключает применение трансформаторного масла (Рисунок 1). Применение такой покрышки позволило уменьшить диаметр ввода до 366 мм. Ввод имеет приспособление для измерения напряжения (ПИН). Покрышка имеет рёбра переменного диаметра, что увеличивает мокроразрядное напряжение на 15 – 20% [3]. Габариты вводов типа OIP и RIP приведены в табл. 1.

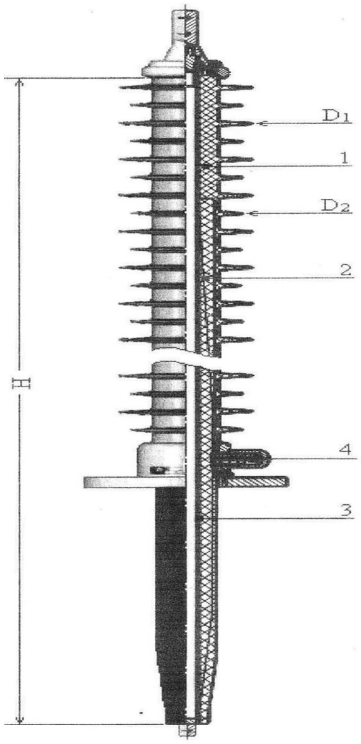


Рис. 1. Ввод с RIP-изоляцией и полимерной покрышкой на 500 кВ. 1 - внешняя полимерная изоляция; 2 - внутренняя твердая изоляция; 3 - токоведущий стержень; 4 - приспособление для измерения напряжения

Предварительные технико-экономические расчеты и их анализ показывает, что ввод с RIP-изоляцией имеет ряд преимуществ относительно ввода с OIP-изоляцией. Ввод имеет меньший вес, габариты, полное отсутствие масла, уменьшенные эксплуатационные расходы, удобство в обслуживании.

Таблица 1

Основные геометрические размеры

Основные геометрические размеры, мм	OIP-ввод с фарфоровой покрышкой	RIP-ввод с полимерной покрышкой
Высота ввода, H	7150	6300
Высота верхней покрышки, Нв	4550	4230
Высота нижней покрышки, Нм	2600	1440 Покрышка отсутствует
Длина пути утечки, lут	8000	7350
Диаметр большего ребра, D1	750	366
Диаметр меньшего ребра, D2	–	296
Количество ребер, n	34	68
Масса ввода, кг	3655	830

При изготовлении ввода рекомендовано в качестве конденсаторных обкладок использовать полупроводящую бумагу вместо перфорированных алюминиевых обкладок, а вместо кабельной бумаги, применяемой в качестве изоляции, предлагается использовать крепированную бумагу [4]. Данные рекомендации позволяют дополнительно снизить массу ввода (замена алюминия на бумагу), а также улучшить ионизационные характеристики за счет более эффективной пропитки остова.

Список литературы

1. Славинский А.З. Высоковольтные вводы: расчет, конструирование и ремонт.- М.: Научтехлитиздат,// 2001.- 373 с. 2. Козлов Ю.А., Страхов Ю.А. Высоковольтные вводы с твердой RIP изоляцией – Электрические станции, 2002, № 1, с. 51-53 3. Трусова В.Н., Кузьмина Л.Ф. Новые изоляторы для загрязненных районов.- Электрические станции.- 1975, № 11, с. 63-65. 4. Разработка высоковольтных вводов с RIP изоляцией. Д.т.н. А.З. Славинский. Завод Изолятор, Россия (http://mosizlyator/ru.)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Избасаров Д.С., Пушкарев А.И.

Научный руководитель: Пушкарев А.И., д.ф.м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина 30
E-mail: aipush@mail.ru

Введение

Сильноточные электронные пучки (ЭП) в последние 10-15 лет играют существенную роль в решении таких задач, как нагрев плазмы до термоядерных температур, возбуждение мощных электромагнитных колебаний СВЧ диапазона, создание высокоинтенсивных источников рентгеновского излучения, возбуждение объемных разрядов и накачка газовых лазеров.

Успехи в технике генерации мощных стационарных ЭП, особенно получение мощных пучков электронов при высоких давлениях газа и вывод ЭП в атмосферу, сделали реальными их применение для решения ряда новых научных и прикладных задач: моделирования энергетических воздействий, создания высокоэффективных генераторов низкотемпературной плазмы, передачи электроэнергии на больше расстояния и обработки материалов – сварки, резки, термической обработки [1].

Целью работы являлось разработка методики измерения параметров электронного пучка по тепловому отпечатку. В отчете приведены результа-

ты разработки методики измерения параметров сильноточного электронного пучка.

Разработка методики измерения параметров сильноточного электронного пучка по тепловому отпечатку

Исследования проведены с использованием импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500. Основные параметры ускорителя: энергия электронов: до 550 кэВ; выведенный ток электронов: 6.5 кА; длительность импульса (на полувысоте): 60 нс; частота следования импульсов: до 5 имп./с; энергия в импульсе: до 200 Дж [2].

Для исследования процессов конверсии, инициируемых импульсным электронным пучком, был разработан сильноточный импульсный ускоритель электронов ТЭУ-500. Для согласования формирующей линии с диодом использован импульсный согласующий автотрансформатор с принудительным размагничиванием ферримагнитного сердечника в процессе формирования рабочего импульса. На рис. 1 показана принципиальная схема ускорителя.

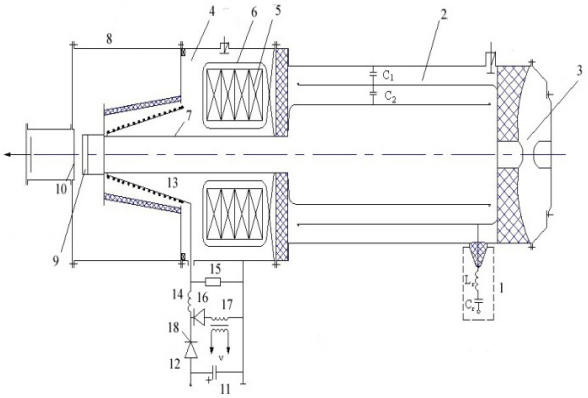


Рис. 1. Принципиальная схема ускорителя

Диссипация импульсного электронного пучка исследовалась с помощью пенопласта. Он устанавливался плотно к выводному окну импульсного электронного ускорителя. Плазмохимический реактор представлял собой кварцевую трубу диаметром 14 см, рис 2.

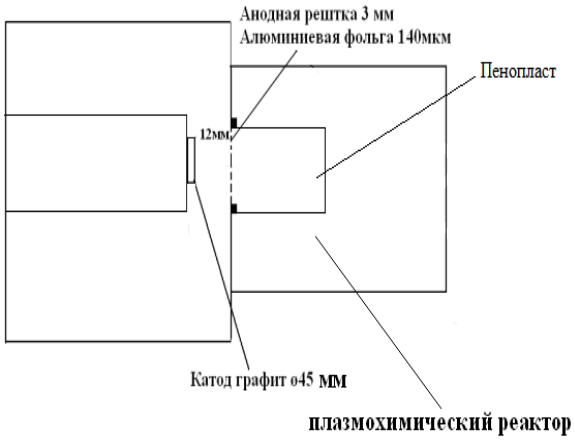


Рис. 2. Схема эксперимента

После выстрела импульсного электронного пучка из реактора снимался пенопласт и с тепловизором FLUKE-Ti10 фотографировался тепловой отпечаток импульсного электронного пучка.

Пенопласт был разрезан поперек диаметра пополам для снятия теплового отпечатка. После снятие пенопласта из плазмохимического реактора разрезанный пенопласт открывали и снимали на тепловизор. Примерный рисунок показан на рис. 3.

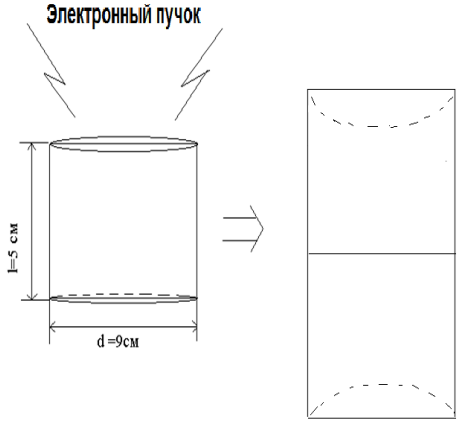


Рис. 3. Схема эксперимента

После снятие пенопласта из плазмохимического реактора засекали время для определений точности. До снятия теплового отпечатка на тепловизор у нас ушло времени 16 секунд, на рис. 4 представлены картинки после 5 импульса:

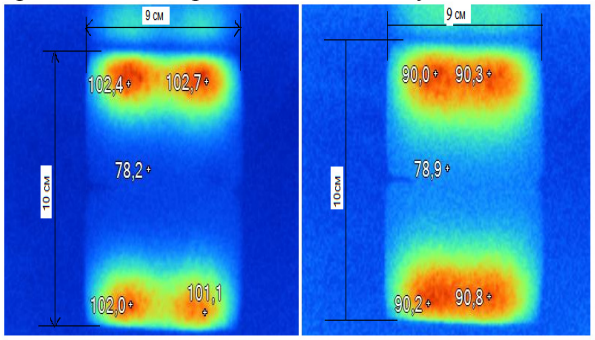


Рис.4. 16 сек. после 5 импульса Рис.4.1. 29 сек. после 5 импульса

С помощью программы OriginPro 8 из фотографий выявили распределение поглощенной энергии по толщине пенопласта:

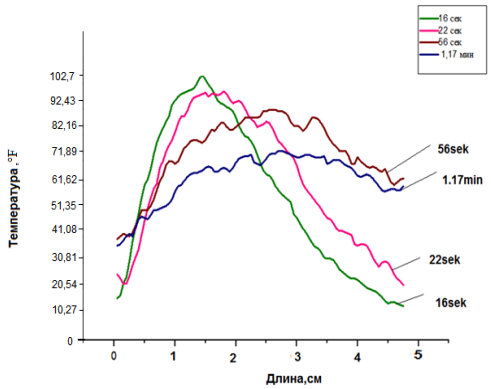


Рис. 5. Изменение профиля температуры при охлаждении

Моделирование процессов диссипации импульсного электронного пучка в пенопласте по программе PCLaB

Программа «Компьютерная лаборатория» (КЛ / PCLab) предназначена для моделирования методом Монте-Карло процессов распространения электронов в веществе, визуализации этих процессов распространения на экране дисплея и получения численных результатов взаимодействия. Для этого выбран в программе сложный барьер из пенопласта и точечный источник, начальное энергия электронов: Eo=400 кэВ, Eo=350 кэВ, Eo=300 кэВ, нормальное падение.

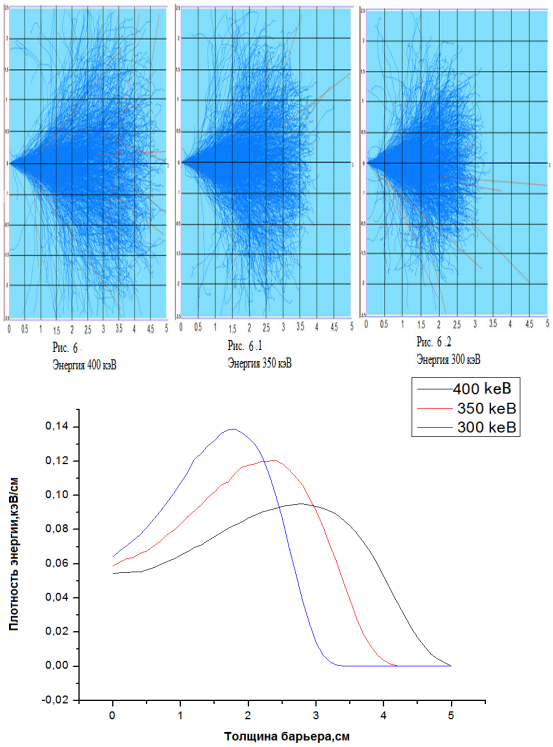


Рис. 7. Распределение поглощенной энергии по толщине пенопласта

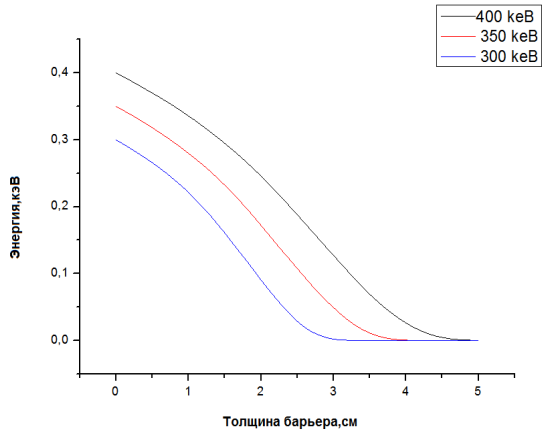


Рис. 8. Энергия за барьером в зависимости от толщины пенопласта

На рис. 9 представлено сравнение расчетных данных с экспериментальными данными

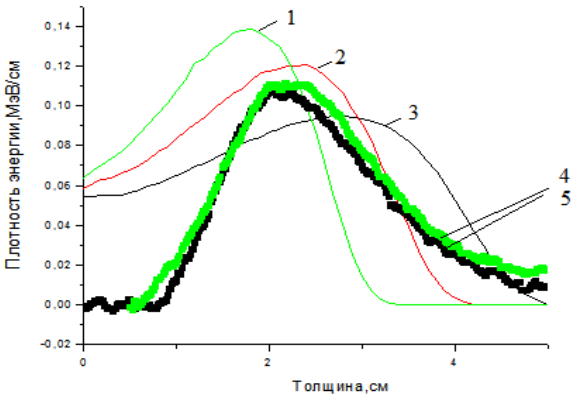


Рис. 9. Сравнение расчетных данных с экспериментальными данными: 1-400 кэВ, 2-350 кэВ, 3-300 кэВ – расчетные данные, 4,5-350 кэВ – экспериментальные данные

Заключение

Мною было разработано методика измерения параметров сильноточного импульсного электронного пучка. Исследовано распространение импульсного электронного пучка (ИЭП) в пенопласте. Было проведено эксперименты по определению параметров сильноточного электронного пучка по тепловому отпечатку и моделирование процессов диссипации СЭП в пенопласте. Проведен литературный обзор по методам измерения параметров сильноточного электронного пучка. По результатам работы подготовлен доклад на конференцию.

В заключение отметим, что при исследовании работы отдельных элементов СЭУ и в экспериментах с пучками в последнее время стали применять голографическую регистрацию быстропротекающих процессов и другие методы диагностики с применением лазеров, технику электронно-оптических преобразователей и прочие новые методы исследований.

Список литературы

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Мощные электронные пучки и их применение. – М., Автомиздат, 1977. – 280 с.
2. Ремнев Г.Е., Фурман Э.Г., Пушкарев А.И., Карпузов С.Б., Кондратьев Н.А., Гончаров Д.В. Импульсный сильноточный ускоритель с согласующим трансформатором, Томск, Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – 130–134 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НАГРУЗКИ

Василенко В.Н., Ионов И.В., Мамашаев Б.К.

Научный руководитель: Лавринович В.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ionovigor@gmail.com

Одним из достоинств вакуумных выключателей является возможность производить операции включения и отключения с помощью относительно маломощного, по сравнению с другими типами выключателей, привода. Это достигается за счет снижения массы подвижных частей выключателя. Появилась тенденция применять вакуумные дугогасительные камеры (ВДК) в выключателях нагрузки. Например, в работе [1] предлагается привод для выключателя нагрузки с ВДК. Привод содержит контактный ролик, взаимодействующий с профилированным толкателем, закрепленным на подвижном разъединяющем контакте. Недостатком такого расположения профилированного толкателя является необходимость делать массивным подвижный разъединяющий контакт, что снижает достоинство применения ВДК в выключателе нагрузки, приводит к повышенным динамическим нагрузкам на элементы аппарата при движении и остановке подвижных разъединяющих контактов, и снижает ресурс работы привода в целом.

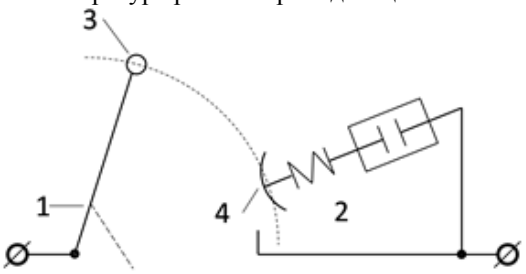


Рис. 1. Кинематическая схема токоведущего контура выключателя

Для устранения вышеописанного недостатка нами предлагается конструкция, кинематическая схема которой приведена на рис. 1. У выключателя имеются два главных контакта: подвижный разъединяющий 1 и неподвижный 2, по которым протекает номинальный ток выключателя. На подвижном разъединяющем контакте 1 вместо массивного профилированного толкателя, описанного в [1], установлен ролик 3, а на опорном изоляторе (на рис. 1 не показан) с ВДК – промежуточный контактный рычаг 4, соединенный с механизмом размыкания контактов ВДК. Этот рычаг имеет профилированную поверхность, которая обеспечивает правильную работу ВДК при перемещении по ней ролика 3, установленного на подвижном контакте 1.

Включение выключателя происходит следующим образом:

1. Замыкаются контакты ВДК (дуга локализуется внутри камеры);
2. замыкается главный подвижный контакт (бездуговая коммутация);
3. размыкаются контакты ВДК (дуги не возникает, т.к. ток протекает по главному контакту).

Отключение выключателя:

1. Замыкаются контакты ВДК (дуги не возникает, т.к. ток протекает по главному контакту);
2. размыкается главный подвижный контакт (бездуговая коммутация);
3. размыкаются контакты ВДК (дуга локализуется внутри камеры), параллельно включается дополнительный контакт, исключающий горение дуги вне ВДК;
4. размыкаются дополнительные контакты (после погасания дуги в ВДК).

Помимо выполнения указанного выше алгоритма действий, кинематика должна обеспечивать определенные во времени взаимные состояния контактов ВДК (замкнутое или разомкнутое) и дополнительного контакта при коммутации. Эти состояния определяются требованиями гашения дуги в ВДК, и зависят от контактного профиля и энергии, запасенной в приводе перед коммутацией.

Пружинный привод, используемый в выключателе нагрузки, имеет ряд ограничений, препятствующих оптимальному распределению энергии для операций включения и отключения.

В отличие от более мощных выключателей [2], в которых для операций включения и отключения используют пружины разной мощности, в выключателе нагрузки для обеих операций используется одна пружина. Поэтому оптимизировать скорость включения и отключения, а также снизить дребезг контактов выключателя нагрузки можно лишь посредством контактного профиля.

Испытания разработанной конструкции выключателя нагрузки

Для проверки работоспособности конструкции собрана исследовательская установка (рис. 2.) и вакуумный выключатель нагрузки, имеющий защелки для удержания механизма привода выключателя во включенном и отключенном положениях при взведенной пружине привода Защелки управляются электромагнитами. Взвод пружин для операций включения и отключения производится вручную. Взведенные пружины фиксировались на защелках сразу после их перехода через «мертвую точку». После выбивания защелок пружины передавали энергию на вал выключателя, происходила

коммутация. Моменты замыкания или размыкания всех контактов регистрировались с помощью четырехканального осциллографа, чтобы определить соответствие требуемому алгоритму замыкания и размыкания контактов, как при включении, так и при отключении выключателя. Для анализа движения контактного рычага 4 (см. рис. 1) установлен линейный датчик перемещения.

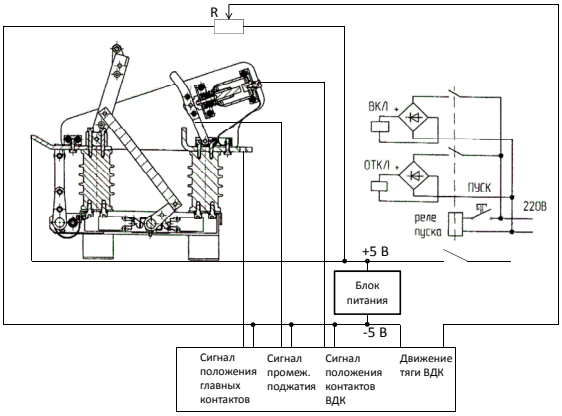


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Результаты испытаний приведены на рисунках 3 и 4.

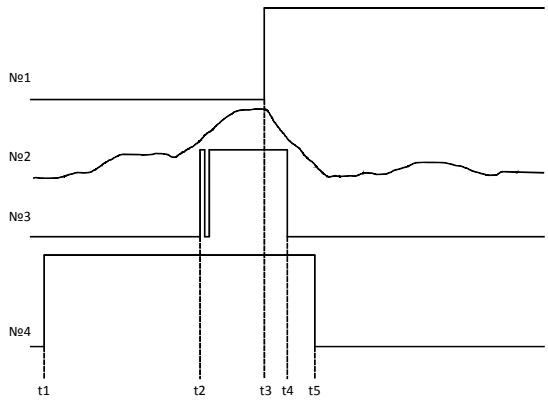


Рис. 3. Включение выключателя: осциллограмма №1 – положение главных контактов; №2 – линейный датчик; №3 – положение контактов ВДК; №4 – положение дополнительных контактов; t1 – момент замыкания подвижного главного контакта и контактного профиля; t2 – момент замыкания контактов ВДК; t3 – момент замыкания главных контактов; t4 – момент размыкания контактов ВДК; t5 – момент размыкания подвижного главного контакта и контактного профиля

Из осциллограмм видно, что алгоритм включения полностью соблюдается. Дребезг контактов ВДК при замыкании минимален и в реальных условиях с коммутацией дуги и отсутствием наклепа может исчезнуть совсем.

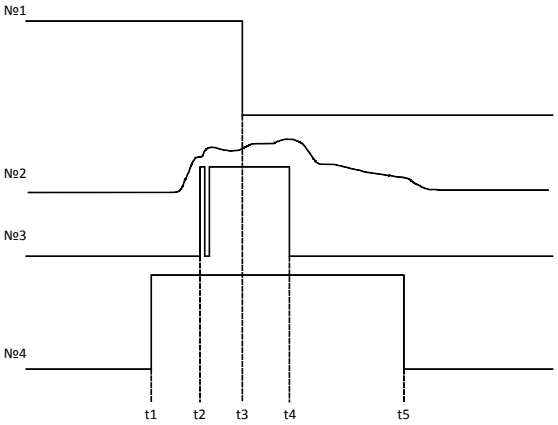


Рис. 4. Отключение выключателя: осциллограмма №1 – положение главных контактов; №2 – линейный датчик; №3 – положение контактов ВДК; № 4 – положение дополнительных контактов; t1 – момент замыкания подвижного главного контакта и контактного профиля; t2 – момент замыкания контактов ВДК; t3 – момент размыкания главных контактов; t4 – момент размыкания контактов ВДК; t5 – момент размыкания подвижного главного контакта и контактного профиля

Из осциллограмм видно, что алгоритм включения и отключения полностью соблюдается. Дребезг контактов ВДК также минимален и происходит при замкнутых главных контактах, т.е. в бездуговой период.

Список литературы

1. Патент на изобретение № 2247439 РФ. H01H33/666. Высоковольтный вакуумный выключатель нагрузки / Ромочкин Ю.Г., Белкин Г.С., Рожин М.А., Евсин Д.В., Земцов В.И. Приор. 04.07.2003. Опубликовано 27.02.2005
2. Василенко В.Н., Стрелков В.Н., Лавринович В.А. Однофазный вакуумный выключатель 27,5 кВ с кремний органической изоляцией. – №: 7, с. 9-12.

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ДИАФРАГМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

Какауров С.В., Юдин А.С.

Научный руководитель: Суворов И.Ф. д.т.н., профессор

Читинский государственный университет, 672039, Россия, г.Чита, ул. Александро-Заводская, 30
E-mail: unc@chita.ru

С быстрым развитием современного общества постоянно возрастают потребности в воде во всех секторах хозяйствования. Поэтому все большее значение приобретают задачи комплексного и рационального использования водных ресурсов, усиление борьбы с загрязнением источников водоснабжения, а так же повышение эффективности и качества очистки и обеззараживания сточных вод за счет разработки и совершенствования передовых технологий.

Среди известных методов обеззараживания воды наибольшее распространение, несоизмеримое по масштабам с другими методами, получило хлорирование с использованием в основном жидкого хлора, а также хлорной извести и гипохлорита кальция. Однако хлорирование не обеспечивает дезинфекцию воды от спорообразующих организмов и большинства вирусов. Кроме того, давно установлено, что хлорирование воды приводит к образованию в ней многих побочных хлорсодержащих веществ, обладающих высокой токсичностью мутагенностью и канцерогенностью.

Перспективными в настоящее время являются методы обеззараживания жидкостей, основанных на электрических разрядах в жидкостях. Разновидностью подобного разряда является диафрагменный электрический разряд (ДЭР), в канале которого возникают эффекты кавитации, образуются активные радикалы, перекись водорода, озон, УФ-излучение, а так же происходит диффузия ионов металла с поверхности электродов.

Комплексное воздействие перечисленных компонентов в настоявшее время объединено термином «процессы глубокого окисления» (Advanced Oxidation Processes), способные, за счет синергизма отдельных компонентов, очищать воду от различных примесей, в том числе и микроорганизмов до очень низких концентраций.

Обработанная электрическим разрядом вода становится своего рода бактерицидным агентом, при добавлении которого в определенной пропорции в зараженную микроорганизмами воду можно достичь ее полного обеззараживания.

Разработка установки обеззараживания воды ДЭР имеет большую актуальность на сегодняшний день. В результате обработки воды в данной установке происходит почти полное ее обеззараживание от бактерий, при этом вода не подвергается структурным изменениям. Большим положительным эффектом в результате процесса обеззараживания воды является приобретение водой бактерицидных свойств, благодаря которым появляется возможность обеззараживать другие зараженные бактериями среды как жидкости, так и твердые поверхности. Можно отметить тот факт, что обработанная ДЭР вода имеет ряд лечебных ранозаживляющих свойств, которые в настоящее время до конца не исследованы.

Процесс обеззараживания воды ДЭР сопровождается комплексным воздействием на микроорганизмы, включающим как химическое, так и физическое воздействие. Во время обработки воды ДЭР образуются химические элементы, такие как перекись водорода H_2O_2 и ионы меди Cu^+. Концентрация образования указанных продуктов зависит от химического состава обрабатываемой воды, геометрических параметров обрабатывающего реактора, величины приложенного напряжения, скорости обрабатывания воды и затраченной на обработку энергии. Физическими факторами обрабатывания воды являются гидроудары, возникающие в результате образования ДЭР, электромагнитные поля, возникающие во время подачи высокого напряжения на электроды, тепловое воздействие , возникающее в результате вскипания воды и парообразования в стримере разряда.

В лаборатории внедрения энергосберегающих технологий в настоящее время ведутся работы по выявлению бактерицидных свойств обработанных ДЭР растворов с точки зрения влияния на микроорганизмы ионов меди и перекиси водорода. С этой целью производилось сравнительное определение бактерицидных свойств обработанных ДЭР модельных растворов K_2SO_4 и чистой питьевой воды. На электроды подавалось напряжение 1600 – 1800В. Скорость движения жидкости через диафрагму составила 0,07 м/с. Обработанную диафрагменным электрическим разрядом воду добавляли к суспензии санитарно-показательного микроорганизма (E.coli штамм № 25922) с концентрацией 10^6 кл/мл в соотношении 1 часть обработанной воды к 10 частям суспензии. Предварительно в обработанной воде определялось содержание перекиси водорода и ионов меди и затем пересчитывалось в соответствии с полученным разведением.

Зависимость обеззараживающей способности обработанной воды в отношении бактерий E.coli, определяемая как $Lg^{N_k}/_{N_0}$,(где N_0 – начальная

концентрация бактерий в воде, N_k – конечная концентрация жизнеспособных бактерий) от времени экспозиции представлена на рисунке 1.

Снижение концентрации ионов меди и перекиси водорода в воде питьевого качества по сравнению с дистиллированной водой объясняется наличием в питьевой воде различных химических примесей, таких как Cl, PO_4, Na, которые, как было показано ранее, ухудшают выход перекиси водорода и ионов меди.

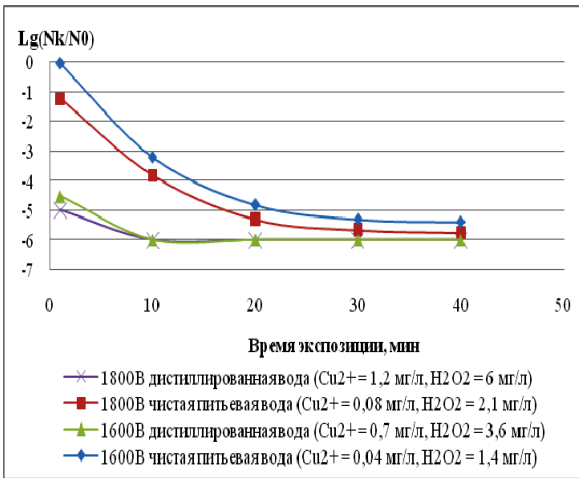


Рис. 1. Зависимость обеззараживающей способности обработанной воды в отношении бактерий E.coli

Из графика на рисунке 1 видно, что максимальной обеззараживающей способностью обладает дистиллированная вода, обработанная диафрагменным электрическим разрядом при напряжении на электродах 1800В, а наихудшей – питьевая вода, обработанная диафрагменным разрядом при напряжении 1600В. Тем не менее, после экспозиции в течение 30…40 минут удается достичь почти 100% обеззараживающего эффекта.

Из полученных данных определена минимально необходимая концентрация перекиси водорода в обработанных ДЭР модельных растворах и воде питьевого качества (1,4 мг/л) и концентрация ионов меди 0,04 мг/дм^3 при которых обеспечивается необходимый бактерицидный эффект.

Также проводятся исследования нового типа реактора и импульсного источника питания, внешний вид которых изображен на рисунке 2. Исследования направлены на уменьшение потребления электроэнергии на порядок. В настоящее время электропотребление составляет 0,3 кВт·ч/м^3. По нашему мнению это возможно достичь в результате использования импульсного источника питания вместо источника питания переменного напряжения.

Применение импульсного источника питания позволит снизить потребление электрической энергии за счет сокращения потерь на нагрев воды.

Переменное напряжение промышленной частоты имеет вид синусоиды, образование разряда происходит при амплитудном значении напряжения, при всех остальных значениях напряжения разряда не происходит , в это время через воду по замкнутому контуру протекает рабочий ток , вызывающий нагревание всего объема обрабатываемой воды . Результатом такого воздействия является нагревание воды до 70°С. Применение импульсного источника питания с регулируемой скважностью импульсов позволит устранить этот эффект.

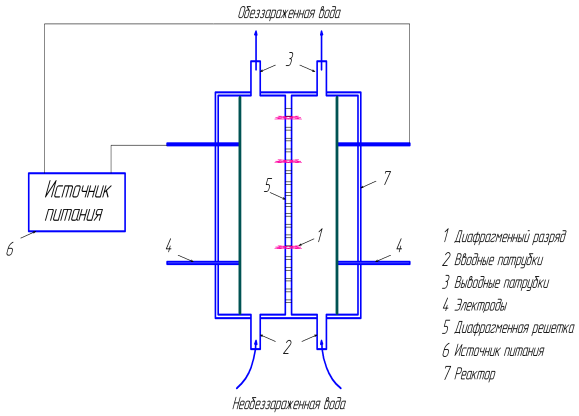


Рис. 2. Установка обеззараживания воды ДЭР

Создание серийного промышленного производства установки обрабатывания воды ДЭР принесет экономическую и экологическую пользу. Основной причиной отсутствия данной разработки в промышленности является ее значительное электропотребление. Применение данной разработки в водоочистных и водоохранных организациях позволит значительно улучшить качество очищаемой воды, в результате чего вода станет экологичней, на порядок снизиться концентрация бактерий. Все вышеперечисленные мероприятия повысят уровень экологии и здоровья населения планеты.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

Карташов С.Н., Космынина Н.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: slo.tomsk@gmail.com

Главной проблемой при выборе шин распределительных устройств и силовых кабелей является большое множество каталожных данных, поскольку в настоящее время имеется широкий выбор проводов и шин, вследствие чего вероятность возникновения ошибки при проектировании, расчете и проверке значительно возрастает, что может привести к просчетам спроектированного энергообъекта и, если данные недостатки проекта не будут исправлены, к серьезным проблемам при введении в эксплуатацию объекта, в том числе и экономическим. Также проблемой может являться время, затрачиваемое на ручную проверку проводников.

Для снижения возможных ошибок, а также для автоматизации части процесса проектирования новой электростанции, была начата разработка программного обеспечения для расчета таких токоведущих частей, как шины распределительных устройств и кабели.

Поскольку основная целевая аудитория пользователей данного программного обеспечения работает с операционными системами семейства Windows, в качестве средства разработки была выбрана среда *Delphi*, изначально предназначенная исключительно для разработки приложений для Windows, а также обладающая обширными функциями и возможностями для решения всевозможных инженерных задач.

В данном докладе представляется программный продукт, позволяющий решить несколько вопросов, возникающих при проектировании токоведущих частей:

- Помощь с выбором типа шин или кабелей – путем последовательной выборки места установки проводника (рис. 1).

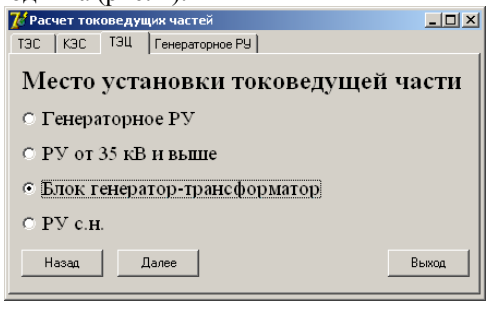


Рис. 1. Фрагмент интерфейса программы (выбор места установки токоведущих частей)

- Расчет и проверка комплектного токопровода (рис. 2).

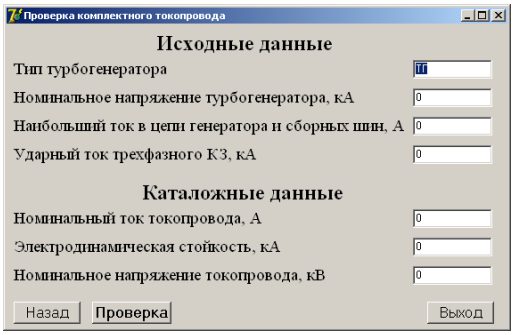


Рис. 2. Фрагмент интерфейса программы (расчет и проверка комплектного токопровода)

- Расчет и проверка жестких шин (рис. 3).

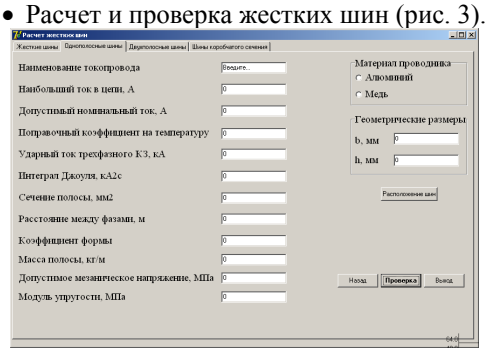


Рис. 3. Фрагмент интерфейса программы (расчет и проверка жестких однополосных шин)

- Формирование отчета о проделанных расчетах в текстовом редакторе с возможностью дальнейшего сохранения результата в *.txt формате (рис. 4).

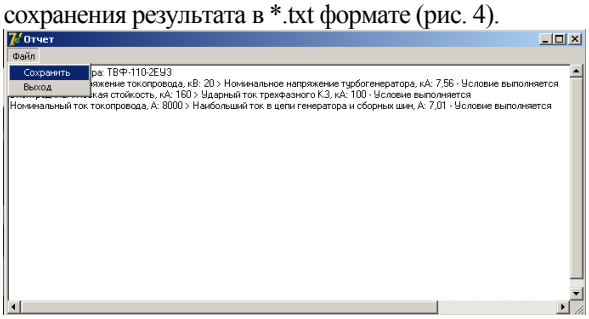


Рис. 4. Фрагмент интерфейса программы (формирование и сохранение отчета)

Основными программными модулями являются:

Memo;
Button;
Radiobutton;
Checkbox;
Editbox;
Label;
Tabcontrol, Pagecontrol;

MainMenu,
SaveDialog.

Программа обладает следующими особенностями:

1. Различные методы ввода исходных данных: editbox, combobox, radiobutton.

2. Исключение возможности ввода неверных значений: проверка на ноль, невозможность работы программы при незаполненном или невыбранном поле (рис. 5), которая осуществляется заполнением информационного поля некоторым числом или символом.

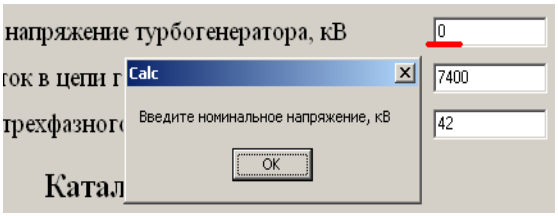


Рис. 5. Фрагмент интерфейса программы (защита от нулевого значения параметра)

3. Контроль за условиями проверки выбранного токопровода: в отчете отображается выполнение или невыполнение проверочных условий.

4. Использование графического материала: при расчете жестких однополосных и двухполосных шин – моменты сопротивления и инерции (рис. 6.), при расчете шин коробчатого сечения – расположение шин в пространстве, а также, в случае использования шин коробчатого сечения, расположенных по вершинам равностороннего треугольника – автоматический выбор формул для механического расчета шин по расположению в пространстве.

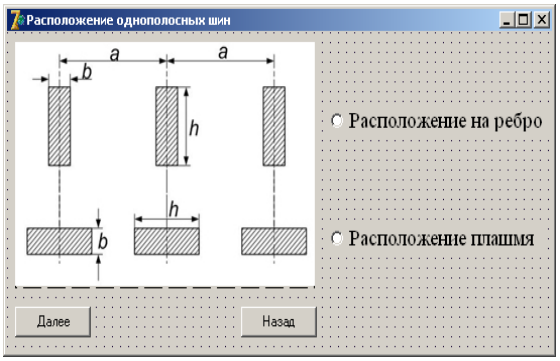


Рис. 6. Фрагмент интерфейса программы (использование графического материала – расположение однополосных шин в пространстве)

Блок выбора места установки токоведущих частей создан на основе [1]: сначала необходимо выбрать тип тепловой электростанции, затем, в зависимости от выбора:

Таблица 1

К выбору места установки токопровода (КЭС)

КЭС	Тип проводника
Блок генератор – трансформатор	Комплектный токопровод
РУ от 35 кВ и выше	Гибкий токопровод
Резервный ТСН	Кабель или гибкий токопровод
РУ с.н.	Кабель

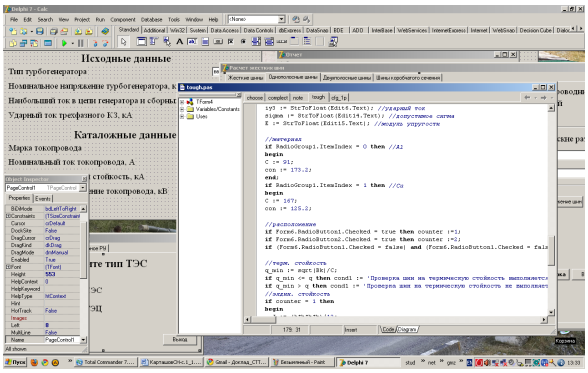


Рис. 7. Рабочая область Borland Delphi 7.

Таблица 2

К выбору места установки токопровода (ТЭЦ)

ТЭЦ	Тип проводника
Генераторное РУ: - выводы генератора; - рабочий ТСН; - выводы НН трансформатора связи	- Гибкий токопровод; - Жесткие шины; - Жесткие шины.
РУ от 35 кВ и выше	Гибкий токопровод
Блок генератор – трансформатор	Комплектный токопровод
РУ с.н.	Кабель

После чего запускается программа для соответствующего типа шин распределительных устройств или силовых кабелей, где на основании введенной информации формируются расчетные данные, а также отчет в текстовой форме с пометками относительно выполнения или невыполнения проверочных условий. Помимо помощи с выбором самого типа проводника, также существует функция помощи при выборе подтипа токоведущей части. Например, существует 3 типа жестких шин, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется по расположению в пространстве.

Таблица 3

К выбору жестких шин

Наибольший ток в цепи, А	Тип жестких шин
$\leq$ 3000 А	- Однополосные шины; - Двухполосные шины.
$>$ 3000 А	- Шины коробчатого сечения

Для этого случая организована помощь выбора на начальной стадии проектировки по максимальному рабочему току, протекающему через токоведущую часть, а также на основании графического материала, заложенного в программу.

Помимо использования непосредственно Delphi в качестве среды разработки, также задействована программа Microsoft Visio для создания графического материала.

Разработка данного программного обеспечения существенно затрудняется ввиду большого использования формул расчета, условий и начальных (каталожных) данных, поскольку от этого зависит правильность проверки выбранных на стадии проектировки токоведущих частей. Из вышеописанного следует, что также объектное расположение всех функций программы в одном окне нецелесообразно, поскольку наряду с большим количеством полей для ввода исходных данных, существует необходимость ввода также и графи-

ческого материала, что может сбить с толку пользователя и, возможно, все информационное окно не поместится на рабочей области монитора.

Ожидаемым результатом программы является минимально возможное отклонение полученных результатов расчета и проверки при проектировке шин распределительных устройств и силовых кабелей, полученных при использовании данного программного обеспечения, от эталонных расчетов, полученных вручную и из достоверных источников, или отсутствие отклонения вовсе. Также планируется внедрить программу для расчета токоведущих частей в учебный процесс.

Список литературы

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатиздат, 1987. – 648 с.: ил.;
2. Неклепаев Б.Н., Ключков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатиздат, 1989. – 608 с.: ил;
3. http://delphimaster.ru/ – Мастера Delphi (документация, исходники).

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ В ТРАНСФОРМАТОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Кириллов А. А.

Научный руководитель: Юдин В. В., д. т. н., профессор

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53. Ярославская область
E-mail: andrey_kirillov_87@mail.ru

В ряде случаев отсутствие математических выражений, описывающих частные гистерезисные петли, не позволяет получать достаточно точные значения потерь энергии на перемагничивание. Нами предложен комбинированный подход к построению частной гистерезисной петли, то есть использование, как математической модели, так и вычислительных средств программной среды моделирования MatLab. На рис. 1 показано окно программы, позволяющей вычислить потери на гистерезис. Входными являются четыре параметра: напряженность насыщения магнитного поля, магнитная индукция насыщения, минимальная и максимальная напряженность внешнего магнитного поля. Результатом программы является величина, равная энергии, затраченной на гистерезис за один цикл перемагничивания в единице объема.

Для построение предельной и полной петель гистерезиса используется параметрическая модель следующего вида:

$$\begin{cases} H=(\sin(t-\alpha)^n+\sin t)\cdot\dfrac{H_S}{2}, \\ B=\sin(t-\alpha)\cdot B_S \end{cases}$$

где H_S – напряженность насыщения; B_S – индукция насыщения; t – параметр; α, n – коэффициенты, определяющие форму петли.

При построении используется условие: любая частная петля должна быть заключена внутри полной.

Программа работает по следующему алгоритму. Из диапазона изменения внешнего магнитного поля берется максимальное по модулю значение, по которому строится полная петля (рис. 2а). Из верхней половины полной петли выбираются значения, входящие в заданный диапазон изменения внешнего поля. По этим значения выбираются пределы изменения магнитной индукции *bmin … bmax*.

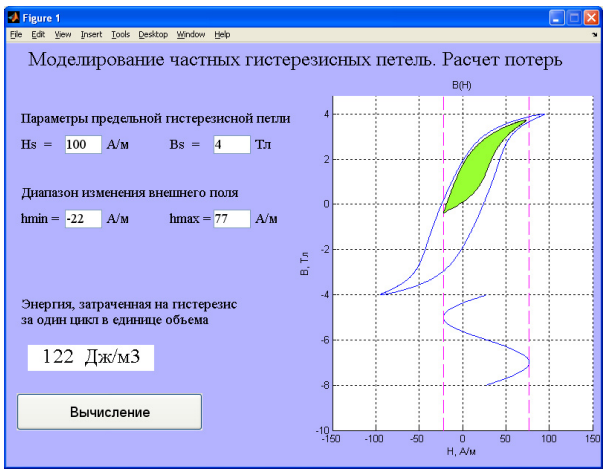


Рис. 1. Окно программы

Затем из нижней половины полной петли берется отрезок, соответствующий диапазону изменения магнитной индукции. Из выделенных верхнего h_V и нижнего h_N отрезков полной петли строится частная петля. Порядок действий следующий.

Верхний отрезок принимается как верхний участок частной петли. Нижний участок h' строится, исходя из положения, что он начинается на верхнем участке частной петли (при B=*bmin*) и стремится к нижнему отрезку полной петли, причем скорость приближения непостоянна: сначала высокая, потом снижается при приближении к нижнему отрезку полной петли. Для построения точек нижнего участка частной петли применяется следующая функция:

$$F(B)=\frac{h'(B)-h_V(B)}{h_N(B)-h_V(B)}$$

Причем $F(B)$ принимает значения, исходя из графика на рис. 2б.

При $B=bmin$, $F=0$, т.е. $h'(bmin)=h_V(bmin)$

При $B=bmax$, $F=1$, т.е. $h'(bmax)=h_N(bmax)$

Площадь, ограниченная петлей гистерезиса, численно равна энергии требуемой на цикл перемагничивания, т. е. количество энергии, которое расходуется на перемагничивание за один цикл единицы объема, вычисляется по следующей формуле:

$$W = \oint BdH$$

По значениям верхнего и нижнего участков частной петли численным интегрированием с помощью встроенных в среду MatLab функций рассчитывается площадь частной петли, что и будет конечным результатом работы программы.

Преимуществом данной работы является то, что частная петля при используемом алгоритме никогда не выйдет за пределы полной, что отличает ее от модели Джаилса-Атертона, которая используется частью исследователей с некоторыми ограничениями.

Несомненно, повышается точность учета потерь, так как в справочниках приводятся данные только для полной гистерезисной петли с определенной амплитудой индукции. Для примера, площадь полной петли, полученной при воздействии поля с напряженностью, изменяющейся в диапазоне [$-H$ H], в 5 раз превышает площадь частной петли, полученную при воздействии поля с напряженностью, изменяющейся в диапазоне [0 H], а, следовательно, также различаются и потери на перемагничивание.

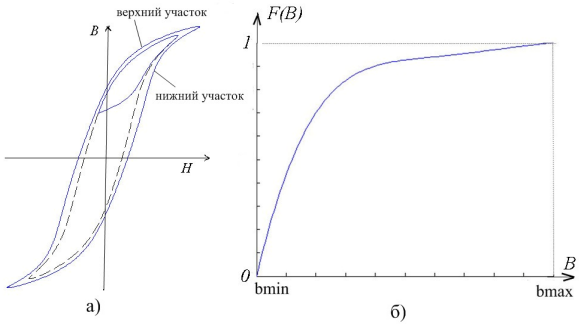


Рис. 2. Иллюстрации к работе алгоритма программы

Список литературы

1. Мартынов Н. Н. Matlab 7. Элементарное введение [Текст]: учебно-справочное издание / Н. Н. Мартынов – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2005. – 416 с.
2. Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы [Текст]: учебник для студентов вузов / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард – М.: Высш. шк., 1986. – 352 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

КитаеваМ.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В.

Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kitaevam@tpu.ru

Актуальность представленной тематики обусловлена высокими темпами развития солнечной энергетики и расширением географии использования фотоэлектрических модулей (ФМ).

В Томской области имеются довольно широкие возможности применения солнечных установок для индивидуальных потребителей, особенно в сельской местности. Расширение масштабов применения солнечных энергетических установок (СЭУ) не только даст значительную экономию энергоресурсов и повышение уровня жизни, но и позволит смягчить экологическую ситуацию.

Результаты климатических испытаний солнечной батареи (ФМ) в Томске, проведенные с 1996г. по 1997г. [2], показали надежность и эффективность их использования в условиях Томской области. За исследуемый период на квадратный метр земной поверхности в районе Томска пришлось в среднем 4,5 кВт·ч солнечного излучения в день или 1643 кВт·ч/м2 за год.

Одной из основных проблем использования ФМ является высокая стоимость производимой электроэнергии. Наиболее эффективным способом снижения ее стоимости является применение систем ориентирования на Солнце.

На основе 12летнего анализа работы ФМ в Сибири и Дальнего Востока проведены расчеты приходящей солнечной радиации и модель работы ФМ с применением различных способов слежения. На их основе определена эффективность применения систем слежения для солнечных энергоустановок для Томска и других городов России. Для этого сначала определили количество солнечной радиации, поступающей в течении дня.

Поток прямой солнечной радиации $Sr_{пр}$ на поверхность, расположенную под углом θ к этому потоку равен:

$$Sr_{пр} = Sr_{\max} \cdot K_{am} \cdot \cos\beta$$

Smax – солнечная константа-количество тепла, которое поступает от Солнца на Землю через космос. Эта величина равна 1325Вт/м^2. При расче-

тах нужно учитывать, что 30-35% этой энергии отбивается назад в космос. Возьмем Sr=925Вт/м^2.

Кат – коэффициент поправки на воздушную массу, которую необходимо пройти лучу.

β – приведенный угол падения солнечных лучей на поверхность инсоляции

$$\cos\beta = \sinh_c \cos\alpha + \cosh_c \sin\alpha$$

α – угол наклона плоскости ФМ к горизонту; hc – угол, который определяет высоту Солнца над горизонтом в данный момент времени.

Расчеты показали, что применение однокоординатного слежения позволит увеличить эффективность отбора мощности на 30%, а двухкоординатного на 40% для Западной Сибири России. Построена модель работы энергосистемы с использованием системы ориентирования в Томске в течение года. Результаты эффективности применения системы ориентирования приведены на рис. 1.

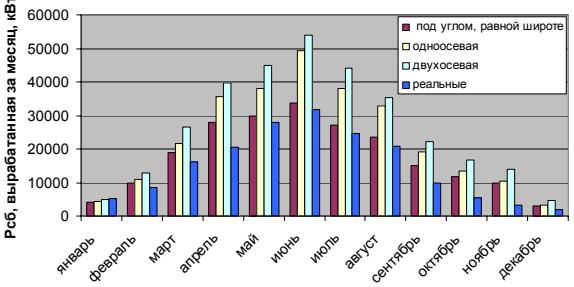


Рис. 1. Эффективность применения систем слежения в Томске.

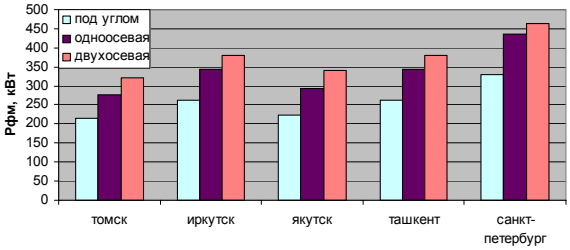


Рис. 2. Эффективность применения систем слежения в разных городах

На основе проведенного анализа датчиков систем ориентирования, разработан и апробирован макет датчика, в котором температурное влияние и влияние фонового излучения минимальны.

На сегодняшний день разработаны принципиальная схема блока контроллера, его печатная плата с возможностью питания от ФМ, создан алгоритм работы программы МК.

Работоспособность системы слежения подтверждена практически: создан экспериментальный макет системы (рис. 3).

Были проведены натурные испытания одноосевой системы и двухосевой. Для последней слежение по одной оси (эклиптике) было автоматическое, а по второй (склонение солнца) угол выставлялся вручную каждый час. Результаты работы сравнены с ФМ, установленной стационарно. Графики приведены на рис. 4 и 5. Применение одноосной системы увеличили сбор мощности на 23%, а двухосной на 32%, относительно установленной под углом стационарно.

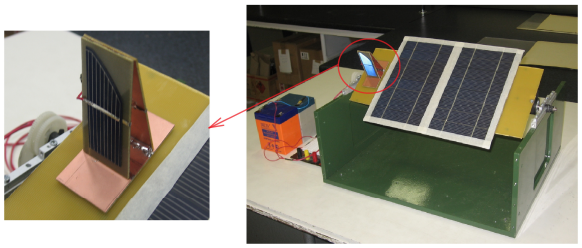


Рис. 3. Макет разработанной системы слежения за Солнцем

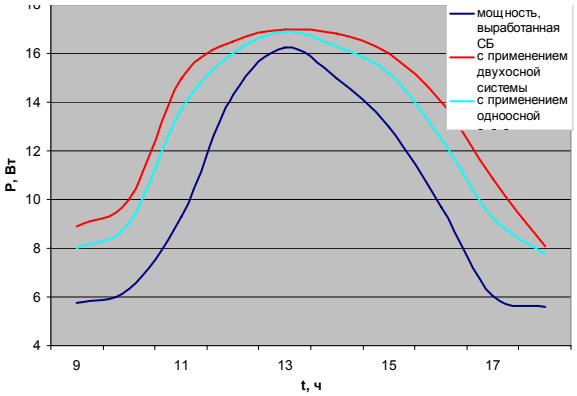


Рис. 4. Результаты работы систем слежения

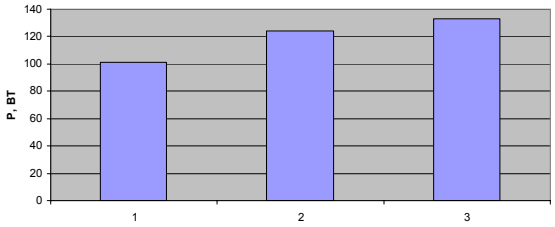


Рис. 5. Суммарная мощность за день, собранная без системы слежения, с одноосной и двухосной

Выводы по работе

1. Проведены расчеты эффективности применения системы слежения для солнечной энергоустановки для городов России, показавшие, что применение одноосной системы позволит увеличить отбор мощности на 30%, а двухосной – на 40% для Томской области.
2. Разработан фотоэлектрический датчик на основе кремниевых фотоэлектрических элементов, позволяющий исключить влияние фонового излучения и обеспечить запуск системы утром.
3. Создан экспериментальный образец разработанной системы, доказавший работоспособность разработанной системы.
4. Проведены натурные испытания разработанной системы слежения, показавшие, что применения одноосной системы позволят увеличить отбор мощности на 23%, а двухосной на 32%.

Список литературы

1. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя //Известия Томского политехнического университета, 2009 – т. 314, – № 3. – с. 43-46
2. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов // Известия Томского политехнического университета, 2009 – Т. 314, – № 4. – С. 142-148.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВМК РВ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕЛОВЫХ ИГР ПО УПРАВЛЕНИЮ НОРМАЛЬНЫМИ РЕЖИМАМИ ЭЭС

Кобзева Я.А.

Научный руководитель: Мастерова О.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 643050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kobzya@sibmail.com

Современные требования, предъявляемые к специалистам, работающим в электроэнергетике, требуют использования новых, инновационных подходов к обучению студентов и магистрантов электроэнергетического профиля. Для того чтобы приблизить образование к практическим нуждам и добиться устойчивого интереса студентов к изучаемому предмету используются различные активный метод обучения, такие как деловые игры, тренинг и т.д.

Деловая игра – это средство моделирования разнообразных условий профессиональной деятельности, являющаяся имитацией рабочего процесса, упрощенным воспроизведением реальных производственных ситуаций.

Деловая игра является эффективным методом обучения, особенно для студентов старших курсов и магистрантов, так как в ходе деловой игры студенты учатся применять на практике полученные в ходе обучения знания, решать задачи, с которыми им придется сталкиваться в будущей профессиональной деятельности. Эти задачи могут быть самыми разными, например, для подготовки студентов и магистрантов электроэнергетического профиля важным представляется приобретение навыков по управлению нормальными режимами электроэнергетических систем (ЭЭС).

Управление нормальным режимом энергосистемы подразумевает под собой возможность изменения основных параметров режима для поддержания нормального и устойчивого функционирования энергосистемы, для снабжения всех потребителей электроэнергией соответствующего качества.

Управление нормальным режимом энергосистемы можно условно разделить на три вида [1]:

1) управление режимами для обеспечения надежности электроснабжения;

2) управление частотой и активной мощностью для обеспечения экономичности энергосистемы и качества электроэнергии по частоте;

3) управление напряжением и реактивной мощностью для обеспечения экономичности режимов электрических сетей и качества электроэнергии по напряжению.

Базой для постановки деловых игр могут служить различные тренажерные системы. В Томском политехническом университете имеется опыт разработки тренажеров для диспетчерского персонала энергосистем на основе гибридного (аналого-цифрового) моделирования электроэнергетических систем [2]. Базовым и структурным элементом тренажеров этого типа является всережимный моделирующий комплекс (ВМК) ЭЭС, созданный на основе современной концепции гибридного моделирования ЭЭС и представляющий собой специализированную многопроцессорную программно-аппаратную систему.

Базовая схема электрических соединений моделирующих элементов ВМК ЭЭС представлена на рис. 1.

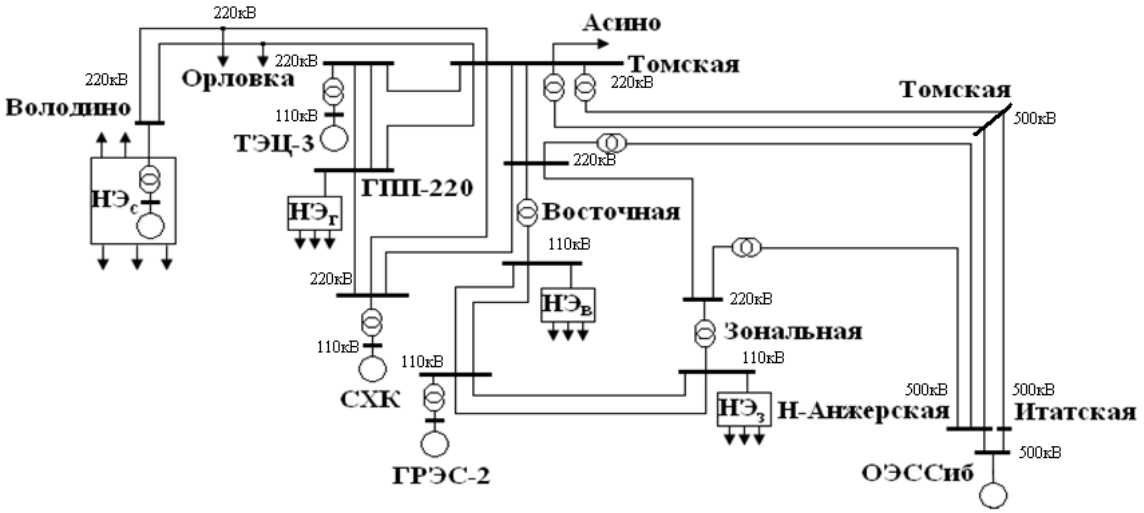


Рис. 1. Базовая схема электрических соединений моделирующих элеиентов ВМК ЭЭС

Схему составляют:

- 4 генераторных элемента: ГРЭС2; ТЭЦ3; ТЭЦ Сибирского химического комбината (СХК); Объединённая энергосистема Сибири (ОЭССиб);
- 4 статических нагрузочных элемента (НЭс, НЭг, НЭв, НЭз);
- один асинхронный двигатель (в составе НЭс);
- 2 линии электропередачи напряжением 500 кВ; 10 линий напряжением 220 кВ;
- 4 линии напряжением 110 кВ;
- трансформаторы и автотрансформаторы.

Все моделирующие элементы оснащены необходимыми наборами измерительных приборов и коммутационных аппаратов (пофазных выключателей и короткозамыкателей).

Нагрузки представлены трехфазными моделями, предназначенными для воспроизведения статических зависимостей активной и реактивной мощностей нагрузки по напряжению. На рис. 2 представлена форма наблюдения параметров статической нагрузки.

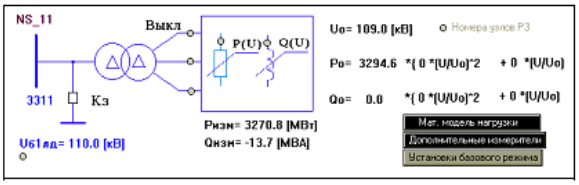


Рис. 2. Форма наблюдения параметров статистической нагрузки

Параметры, характеризующие режимные состояния и техническую часть ВМК ЭЭС, разделены по отличительным признакам на четыре группы: наблюдаемые, варьируемые (цифроуправляемые), постоянные (константы) и установочные (предельные) параметры.

Рассмотрим возможность постановки деловых игр по управлению нормальными режимами ЭЭС на базе ВМК РВ на примере регулирования напряжения.

Воздействовать на напряжение у потребителя можно:

- изменяя напряжение генерации $U_Г$;
- изменяя реактивную составляющую нагрузки;
- изменяя коэффициент трансформации $k_{тр}$.

Для обеспечения достаточной управляемости ВМК РВ, параметры, с помощью которых можно регулировать напряжение, должны быть варьируемыми.

Действительно, для моделируемых генераторов, одним из варьируемых параметров является напряжение уставки канала АРВ. Коэффициент трансформации трансформаторов и автотрансформаторов так же варьируемый параметр. Все параметры статической нагрузки, такие как активная и реактивная настроечные мощности нагрузки, настроечное напряжение формирователя статической характеристики, весовые коэффициенты постоянной, линейной и квадратичной составляющих – варьируемые параметры.

Конденсаторные батареи (КБ) моделируются с помощью физических конденсаторов с постоянными параметрами. Однако во всех случаях параллельно с КБ включены модельные статические нагрузки. Этим достигается управляемость реактивной мощностью положительного и отрицательного направлений.

Изменение варьируемых параметров может производиться программно, автономно через базу данных, либо с помощью вариаторов, позволяющих увеличивать или уменьшать значения параметров. [3].

ВМК РВ ЭЭС позволяет осуществлять полный спектр нормальных и аварийных режимов, процессов моделируемой ЭЭС в реальном времени, и является ее высоко подобным динамическим аналогом. Как было указано выше, множество варьируемых параметров сформировано из условия обеспечения достаточной для практических целей управляемости ВМК ЭЭС. Таким образом, ВМК РВ может стать эффективной базой для постановки деловых игр по управлению нормальными режимами энергосистем.

Список литературы

1. Оперативное управление в энергосистемах : учеб. Пособие / Е.В. Калентионок, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин – Минск : Высш. шк., 2007. – 351 с.
2. Хрущев Ю.В., Гусев А.С., Барская А.В., Бацева Н.Л., Мастерова О.А., Свечкарев С.В. Разработка тренажера для оперативного персонала электроэнергетических предприятий на основе гибридного моделирующего комплекса (монография). Деп. в ВИНИТИ 21.09.09, № 565-В2009. – М., 2009. – 100 с.
3. Гурин С.В., Гусев А.С., Плодистый И.Л., Свечкарёв С.В., Хрущёв Ю.В. Гибридный моделирующий комплекс: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998. – 240 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Компанеец Б.С.

Научный руководитель: Сошников А.А., д.т.н. профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656038, Россия, г. Барнаул, пр-т Ленина 46
E-mail: kompbs@mail.ru

До последнего времени оценка эффективности резервирования электрической защиты (предохранителей и автоматических выключателей) производилась по условиям чувствительности к параметрам аварийного режима на участке электрической сети, контролируемом основной защитой. Для оценки противопожарной эффективности резервной защиты могут быть использованы критерии пожарной опасности коротких замыканий (КЗ), разработанные в Алтайском государственном техническом университете [1].

В основу создания таких критериев положено следующее. Возникающая при КЗ электрическая дуга может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что приводит к развитию пожара. Пожарная опасность дуговых КЗ усугубляется при возникновении явления пережога проводников. Температура в месте действия дуги достигает нескольких тысяч градусов, что аналогично воздействию на проводник электросварки. Пережог проводника сопровождается растягиванием электрической дуги, оплавлением и испарением металла проводников, разбрызгиванием раскаленных частиц.

Провода могут пережигаться быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов, связанных с развитием электрической дуги, искрообразованием, воспламенением изоляции и других горючих материалов. Степень пожарной опасности дуговых КЗ можно характеризовать возможностью пережога проводов электрической сети до срабатывания защиты с помощью показателей пожарной опасности КЗ.

Одним из таких показателей является коэффициент незащищенности участка электрической сети для i-го вида КЗ. Этот показатель определяется отношением диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети, т.е. представляет собой долю незащищенной части участка сети:

$$k_s^{нз(i)} = \delta l_s^{прг(i)} = l_s^{прг(i)} / l_s \,, \qquad (1)$$

где $\delta l_s^{прг(i)}$ – доля незащищенной части участка сети для i-го вида КЗ; l_s – длина s-го участка сети (s=1, 2..., S); $l_s^{прг(i)}$ – длина зоны пережога для i-го вида КЗ на этом участке.

Нулевое его значение отвечает отсутствию опасности пережога на участке сети (и, как следствие, значительно меньшей опасности пожара, чем при наличии зоны пережога, так как процесс развития КЗ ограничивается электрической защитой), а единичное – полной незащищенности участка сети от пережога. Очевидно, что, чем меньше величина такого показателя, при прочих равных условиях, тем меньшую пожарную опасность представляет данный вид КЗ на этом участке, и, соответственно, тем лучше он защищен.

На основе этого показателя строится показатель, характеризующий пожарную опасность пережога в сети в целом (и, соответственно – эффективность системы электрической защиты) для i-го вида КЗ. Он определяется, как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети и называется коэффициентом незащищенности сети для i-го вида КЗ:

$$k_s^{нз(i)} = \Delta l^{прг(i)} = \sum_{s=1}^{S} l_s^{прг(i)} \Big/ \sum_{s=1}^{S} l_s \,, \qquad (2)$$

где, $\Delta l^{прг(i)}$ – доля незащищенной части электрической сети для i-го вида КЗ; $l_s^{прг(i)}$ – длина незащищенной части s-го участка сети.

С учетом рассмотренных показателей формируется показатель $P_{s,T}^{K_i}(П)$ пожарной опасности i-го вида КЗ на s-ом участке электрической сети:

$$P_{s,T}^{K_i}(П) = P_{s,T}^{K_i} \cdot k_s^{нз(i)} \,, \qquad (3)$$

где $P_{s,T}^{K_i}$ – вероятность возникновения i-го вида КЗ на s-ом участке сети в течение времени Т.

Используя коэффициент незащищенности электрической сети, можно определить показатель пожарной опасности i-го вида КЗ для всей электрической сети рассматриваемого объекта по формуле:

$$P_T^{K_i}(П) = P_T^{K_i} \cdot K^{нз(i)} \,, \qquad (4)$$

где $P_T^{K_i}$ – вероятность возникновения i-го вида КЗ в электрической сети в течение времени Т.

С учетом введенных показателей интегральный показатель пожарной опасности всех видов КЗ в электрической сети рассчитывается по формуле:

$$P_{\Sigma}^{K}(П) = 1 - \left[1 - P_{T}^{K1}(П)\right] \cdot \left[1 - P_{T}^{K2}(П)\right] \times \\ \times \left[1 - P_{T}^{K3}(П)\right] \cdot \left[1 - P_{T}^{KK}(П)\right], \quad (5)$$

где $\left[1 - P_{T}^{Ki}(П)\right]$ – вероятность отсутствия пережога проводов при КЗ i-го вида; $P_{T}^{KK}(П)$ – показатель пожарной опасности КЗ на корпус.

Рассмотрим 3 варианта функционирования основной и резервной защиты на базе автоматических выключателей для различных диапазонов токов КЗ на примере конкретного объекта электроснабжения. Электрическая сеть 380/220 В имеет 6 участков, заданных топологическими координатами: иерархической нумерацией от начала сети (1), охватывающей все участки, с учетом радиального принципа построения схемы электроснабжения (1.1, 1.2 ...). При этом внутренняя сеть представлена участками 1.1.1 – 1.1.4.

В первом варианте основной и резервирующий аппараты защиты работают в зоне действия тепловых расцепителей. Во втором варианте основной аппарат работает в зоне действия электромагнитного, а резервирующий в зоне действия теплового расцепителя. В третьем варианте основной и резервирующий аппараты защиты работают в зоне действия электромагнитных расцепителей.

Таблица 1

Времена срабатывания защиты для трех вариантов функционирования

Топологическая координата	Время срабатывания защиты, с					
	1вариант		2 вариант		3 вариант	
	основная	резервная	основная	резервная	основная	резервная
1.1.1	2,87	17,7	0,02	8,21	0,01	0,02
1.1.2	3,04	19,6	0,02	8,85	0,01	0,02
1.1.3	3,36	21,2	0,02	9,41	0,02	0,02
1.1.4	3,69	27,3	0,03	10,4	0,02	0,03

Таблица 2

Показатели пожарной опасности КЗ

Варианты функционирования защиты	Показатели пожарной опасности КЗ основной защиты (резервной защиты)				Интеграль-ный показатель пожарной опасности защиты основной (резервной)
	однофаз-ного	двухфаз-ного	трехфаз-ного	однофазного на корпус	
Первый	0,015 (0,024)	0 (0,01)	0 (0,003)	0,098 (0,16)	0,111 (0,191)
Второй	0,002 (0,01)	0,008 (0,03)	0,003 (0,01)	0,012 (0,066)	0,023 (0,11)
Третий	0 (0,002)	0 (0,01)	0 (0,003)	0,001 (0,012)	0,001 (0,023)

Первый вариант функционирования защиты характерен для удаленных электроустановок с малыми токами КЗ. Времена срабатывания основной и резервной защиты для этого случая существенно отличаются (таблица 1). В случае несрабатывания основного аппарата защиты общее время отключения увеличивается в 5 – 8 раз, что приводит к дополнительным перегрузкам оборудования. Показатели пожарной опасности возрастают практически в два раза (таблица 2).

Второй вариант функционирования защиты встречается наиболее часто, так как резервирующий аппарат для обеспечения селективности имеет, как правило, уставку на одну-две ступени выше основного. Работа автоматического выключателя в зоне электромагнитного расцепителя обеспечивает малое время отключения, поэтому в случае его отказа длительность аварийного режима увеличивается в сотни раз (таблица 1) и, соответственно, возрастает негативное действие тока КЗ. При этом показатели пожарной опасности возрастают в 3-5 раз (таблица 2).

Третий вариант функционирования возможен при больших значениях токов КЗ. В этом случае при отказе основной быстродействующей защиты в работу вступает быстродействующая резервирующая защита. При этом время срабатывания увеличивается незначительно (таблица 1), но показатели пожарной опасности возрастают существенно (таблица 2), в частности, интегральный показатель возрастает в 23 раза, но при этом абсолютное изменение показателей незначительно, в отличии от двух предыдущих вариантов. Это вызвано различиями характеристики автоматических выключателей разных ступеней защиты.

Таким образом, для рассмотренных ситуаций резервная защита даже при условии ее работы в зоне действия электромагнитного расцепителя обладает достаточно низкими показателями противопожарной эффективности, несмотря на выполнение функции отключения КЗ.

Представленная методика может использоваться для расчетов пожарной опасности коротких замыканий с учетом надежности электрической защиты, в том числе, при оценке рисков возникновения пожаров от электротехнических причин.

Список литературы

1. Сошников С.А. Критерий оценки пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках до 1000 В // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Челябинск: Изд-во «Челябинская межрайонная типография».- 2006. - 400 с. (С. 68-70).

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЗАЗОРНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДНИКА ТИПА FAST LTD

Кондратьев С.С., Алексеенко В.М., Ким А.А.

Научный руководитель: Ким А.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: Sergey.Kondratyev@mail.ru

На сегодняшний день одной из глобальных проблем является реализация инерциального управляемого термоядерного синтеза. Несмотря на то, что существуют различные варианты получения и передачи энергии, именно использование импульсных генераторов наиболее приемлемо для этой задачи. В подтверждение этому, разработаны два проекта установок для получения инерциального управляемого термоядерного синтеза. В обоих случаях энергия накапливается в блоках импульсных генераторов, затем по передающим линиям передается на нагрузку – Z-пинч, представляющий собой набор из проводящих проволочек. Уровень переданной энергии настолько велик, что пинч сжимается и взрывается, испуская еще большую энергию в рентгеновском диапазоне длин волн. Излученная энергия в свою очередь уже поглощается материалом мишени термоядерного синтеза. Этой энергии, согласно расчетам, достаточно, чтобы инициировать управляемый термоядерный синтез.

Естественно, разработанные проекты установок имеют различия, а именно разные типы блоков импульсных генераторов.

В первом случае используются медленные генераторы Маркса (импульс ~1 мкс). Однако, согласно расчетам, длительность импульса энергии, переданной на нагрузку, должна составлять ~100 нс. Поэтому, для уменьшения длительности импульса, планируется использовать блок промежуточных накопителей. Общая стабильность всей системы во многом зависит от стабильности разрядников промежуточных накопителей.

Во втором проекте установки для получения мощности, достаточной для инерциального управляемого термоядерного синтеза, используются модули LTD генераторов (LTD сокращенно от Linear Transformer Driver). Архитектура данного ускорителя представлена на рис. 1. Набор из 210 LTD модулей расположен вокруг водяной передающей секции, которая в свою очередь расположена вокруг вакуумной секции, содержащей нагрузку [1]. Каждый LTD модуль состоит из набора LTD ступеней – основной единицей LTD технологии. Данная установка спроектирована на основе LTD ступеней, разработанных в Институте сильноточной электроники Сибирского Отделения Российской Академии Наук (ИСЭ СО РАН) в г. Томске.

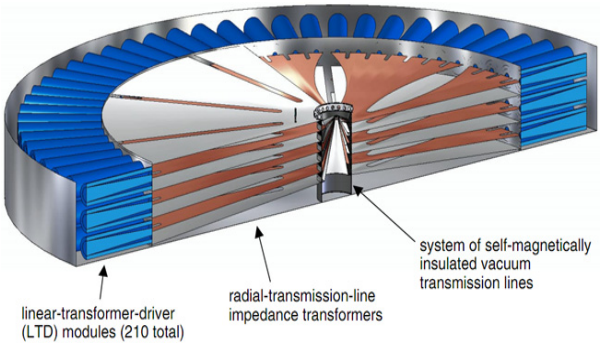


Рис. 1. Конфигурация ускорителя на основе LTD-генераторов

Суть LTD технологии заключается в замене одного RLC контура, имеющего большую емкость, на N параллельных RLC контуров с малой емкостью. Эта замена позволяет уменьшить временную постоянную контура, определяющую длительность выходного импульса. В отличие от генератора Маркса, используя LTD генераторы, можно получить импульсы с необходимой длительностью (~100 нс) без использования промежуточных накопителей. Каждый RLC контур коммутируется собственным разрядником. В представленном проекте ускорителя используется 1×10^5 разрядников, поэтому именно их стабильность определяет суммарную стабильность всей установки.

Универсальность LTD технологии заключается в том, что количество LTD ступеней, входящих в модуль, можно без затруднений изменять согласно поставленной задаче.

Одним из достоинств LTD ступени является простота его конструкции – он состоит из конденсаторов, разрядников и ферромагнитного сердечника. К тому же, при той же самой запасаемой энергии, размеры LTD генератора значительно меньше других классических генераторов.

Общий вид LTD ступени, разработанной в ИСЭ СО РАН, представлен на рис. 2. Ступень содержит 20 блоков, состоящих из двух конденсаторов и одного разрядника.

В рассматриваемых LTD генераторах используется многозазорный газовый разрядник с распределением потенциала коронным разрядом (Разрядник типа Fast LTD), так же разработанный в ИСЭ СО РАН. Конструкция данного разрядника представлена на рис. 3.



Рис. 2. LTD ступень Института сильноточной электроники

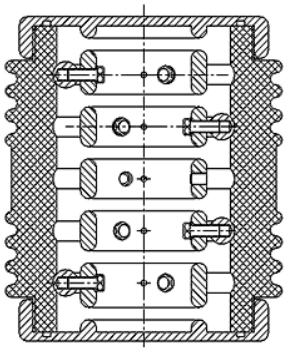


Рис. 3. Конструкция многозазорного разрядника типа Fast LTD

Высокое напряжение прикладывается к боковым фланцам, которые герметично закрывают капролоновый корпус разрядника. Внутри установлено пять электродов, каждый на трех сферических опорах. Причем у каждого электрода опоры повернуты на угол 60 градусов в азимутальном направлении относительно ближайших электродов для уменьшения вероятности пробоя между опорами по поверхности корпуса. Электроды и фланцы изготовлены из нержавеющей стали.

Весь разрядный промежуток поделен на шесть одинаковых зазоров длиной 6 мм, так что при полном зарядном напряжении ± 100 кВ на один зазор приходится ~33 кВ. Зарядное напряжение равномерно распределяется между электродами с помощью коронного разряда. Отрицательные коронирующие острия расположены по оси электродов на стержнях, приваренных к промежуточным электродам, и на отрицательном боковом фланце. [2]

Для срабатывания разрядника достаточно, чтобы сработал один из зазоров, при этом в разряднике формируется волна перенапряжения, каскадно пробивающая остальные зазоры разрядника. При двухсторонней симметричной зарядке центральный электрод имеет нулевой потенциал, и на него подается запускающий импульс положительной или отрицательной полярности. На рис. 4 представлен вид разрядника со снятым боковым фланцем.



Рис. 4. Внутренний вид разрядника типа Fast LTD

Для увеличения стабильности разрядника были исследованы различные факторы, которые могли бы повлиять на стабильность работы разрядника: тип и материал коронирующих острий, материал опорных шариков электродов и распределение электрического поля в разряднике.

Результаты исследований позволили значительно повысить стабильность работы разрядника лишь при изменении размеров разрядника, что нежелательно, поскольку подобные разрядники нельзя использовать в уже разработанных LTD генераторах. В настоящее время ведутся исследования, направленные на достижение подобных результатов при неизменных размерах стандартного разрядника.

Список используемой литературы:

1. W.A. Stygar, M. E. Cuneo Architecture of petawatt-class z-pinch accelerators // PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS – ACCELERATORS AND BEAMS. -2007. – №030401. –p. 1-24
2. Алексеенко В.М. Многозазорные разрядники быстрых ступеней LTD: ВКР на соискание квалификации магистра/ Томский политехнический университет; Руководитель А.А. Ким. – 2007. - 63 с.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

Крепышев И.С.

Научный руководитель: Гужов Н.П. к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: kis07@rambler.ru

Различные возможности и границы применения вычислительной техники для автоматизации проектирования определяются уровнем формализации научно-технических знаний в конкретной отрасли. Чем глубже разработана теория того или иного класса технических систем, тем большие возможности объективно существуют для автоматизации процесса их проектирования.

Решение проблем автоматизации проектирования с помощью ЭВМ основывается на системном подходе, т. е. на создании и внедрении САПР – систем автоматизированного проектирования технических объектов, которые решают весь комплекс задач от анализа задания до разработки полного объема конструкторской и технологической документации.

Под автоматизацией проектирования понимают систематическое применение ЭВМ в процессе проектирования при научно обоснованном распределении функций между проектировщиком и ЭВМ и научно обоснованном выборе методов машинного решения задач.

Цель автоматизации – повысить качество проектирования, снизить материальные затраты на него, сократить сроки проектирования и ликвидировать рост числа инженерно-технических работников, занятых проектированием и конструированием.

Научно обоснованное распределение функций между человеком и ЭВМ подразумевает, что человек должен решать задачи, носящие творческий характер, а ЭВМ – задачи, решение которых поддается алгоритмизации.

САПР – система, объединяющая технические средства, математическое и программное обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования. В САПР обеспечивается удобство использования программ за счет применения средств оперативной связи инженера с ЭВМ, специальных проблемно-ориентированных языков и наличия информационно-справочной базы.

Структурными составными составляющими САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы.

Разработка САПР представляет собой крупную научно-техническую проблему, а ее внедрение требует значительных капиталовложений. Накопленный опыт позволяет выделить следующие основные принципы построения САПР:

1. САПР – человеко-машинная система. Все созданные и создаваемые системы проектирования с помощью ЭВМ являются автоматизированными, важную роль в них играет человек – инженер, разрабатывающий проект технического средства.

2. САПР – иерархическая система, реализующая комплексный подход к автоматизации всех уровней проектирования. Иерархия уровней проектирования отражается в структуре специального программного обеспечения САПР в виде иерархии подсистем.

3. САПР – совокупность информационно-согласованных подсистем. Этот очень важный принцип должен относиться не только к связям между крупными подсистемами, но и к связям между более мелкими частями подсистем;

4. САПР – открытая и развивающаяся система.

5. САПР – специализированная система с максимальным использованием унифицированных модулей. Требования высокой эффективности и универсальности, как правило, противоречивы. Применительно к САПР это положение сохраняет свою силу[1].

Процесс создания САПР включает в себя восемь стадий: предпроектные исследования, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, изготовление, отладка и испытание, ввод в действие.

Существенным фактором при решении вопроса о целесообразности создания САПР является подготовленность соответствующего проектного подразделения к созданию и внедрению САПР.

Подготовленность может быть оценена по следующим критериям:

- возможность формализации проектно-конструкторских задач и реализации математических методов их решения;
- наличие требуемых технических средств и необходимость приобретения и установки дополнительных агрегатов;
- подготовленность информационных фондов и технических средств хранения и обработки информации.

Кроме того, важно выявить факторы оценки подготовленности кадров для эксплуатации САПР, к которым можно отнести следующие:

• соответствие внедряемой системы принятой организации проектных работ;

• наличие в проектно-конструкторской организации кадров для эксплуатации и поддержания работоспособности САПР;

• отношение руководства организации к созданию системы и уровень организации этих работ;

• психологическая подготовленность коллектива к внедрению САПР.

САПР должно содержать следующие основные разделы:

• наименование и область применения, где указывают полное наименование системы и краткую характеристику области ее применения;

• основание для создания, где указывают наименование директивных документов, на основании которых создается САПР;

• характеристика объектов проектирования, где приводят сведения о назначении, составе, условиях применения объектов проектирования;

• цель и назначение, где перечисляют цель создания САПР, ее назначение и критерий эффективности ее функционирования;

• характеристика процесса проектирования, где приводят общее описание процесса проектирования, требования к входным и выходным данным, а также требования по разделению проектных процедур (операции), выполняемых с помощью неавтоматизированного и автоматизированного проектирования;

• требования к САПР, где перечисляют требования к САПР в целом и к составу ее подсистем, к применению в составе САПР ранее созданных подсистем и компонентов и т. п.;

• технико-экономические показатели, где оценивают затраты на создание САПР, указывают источники получения экономии и ожидаемую эффективность от применения САПР[2].

На стадиях технического предложения, эскизного и рабочего проектирования выбираются и обосновываются варианты САПР, разрабатываются окончательные решения. При этом выполняются следующие основные виды работ:

• выявление процесса проектирования (его алгоритм);

• разработка структуры САПР и ее взаимосвязи с другими системами (определение состава проектных процедур и операции по подсистемам;

• определение состава методов, математических моделей для проектных операций и процедур, состава языков проектирования, состава информации;

• принятие решений по математическому, информационному, программному и техническому видам обеспечения по САПР в целом и отдельно по подсистемам;

• расчет технико-экономических показателей САПР.

Множество данных, которые потенциально могут использоваться при функционировании САПР или служить запоминаемым результатом ее работы, образуют информационную базу данных системы. Типовыми группами данных информационного обеспечения автоматизированного проектирования являются классификаторы и таблицы соответствия для них, научно-техническая и расчетно-проектная информация.

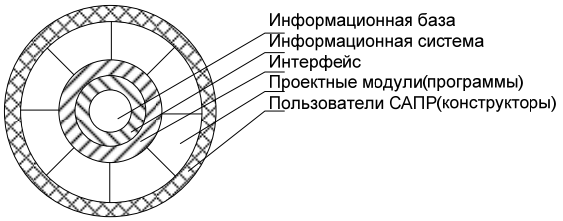


Рис. 1 Схема информационного обеспечения САПР

Информационное обеспечение САПР можно представить в виде схемы (рис. 1), из которой видно, какое место занимает база данных, и каково взаимодействие информационной системы с проектными модулями.

Сложность разработки базы данных обусловлена тем, что формирование ее структуры возможно только после разработки алгоритмов проектирования. Степень разработки алгоритмов должна быть доведена до машинной реализации, так как структура базы данных должна учитывать специфику процесса автоматизированного проектирования.

Развитие программного обеспечения САПР требует все более значительных затрат высококвалифицированного труда. Стоимость многих промышленных САПР составляет миллионы долларов. Поэтому актуальной становится разработка САПР второго порядка, или САПР САПРов. Пока таких систем еще не существует, на прогресс в этом направлении имеется. В отличие от традиционных САПР в таких системах результат имеет информационный характер.

Список литературы

1. Основы САПР (CAD/CAM/CAE), Перевод с англ. Ли К., С.-П.: Питер, 1996 -559с
2. САПР и графика, Спрут, №4, 1998
3. http://www.sapr.ru

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕТИ В ЗАДАЧАХ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лавриненко В.Е.

Научный руководитель: Ландман А.К., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет,
630092 Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: lavrinenko_nsk@mail.ru

В настоящее время в большинстве существующих алгоритмов функционирования централизованных систем противоаварийной автоматики используются традиционные методы расчёта установившихся режимов, основанные на численном решении систем нелинейных уравнений. Однако непосредственно для определения устойчивости послеаварийного режима и выбора управляющих воздействий такие расчёты не являются необходимыми, поскольку требуется лишь качественная оценка допустимости этого режима.

В ряде работ [1] рассматривается способ проверки существования послеаварийных режимов, основанный на их качественной оценке, использующий относительно простые соотношения по сравнению с системами нелинейных уравнений для полной математической модели сети. Предлагаемый подход экспериментально реализован в опытной программе оценки допустимости режима и выбора управляющих воздействий, которая осуществляет моделирование области существования режимов на основе упрощенной модели сети.

В упрощенной модели принимаются следующие допущения:

- в узлах сети отсутствуют ограничения по реактивной мощности, т.е. возможно поддержание заданного постоянного уровня напряжений узлов;
- расчёт потоков активной мощности в ветвях производится на основе системы линеаризованных уравнений баланса активных узловых мощностей:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} y_{ij} U_i U_j f_{ij}(\delta_i - \delta_j),$$

где y_{ij} – проводимость связи между узлами i и j; U_i, U_j – модули напряжений узлов i и j; δ_i, δ_j – углы векторов напряжений узлов i и j; f_{ij} – некоторая нечётная функция; в данном случае, как предлагается в [1]:

$$f_{ij}(\delta_i - \delta_j) = 2(\delta_i - \delta_j)/\pi.$$

- при этом синусоидальные угловые характеристики мощности для каждой ветви заменяются линейными (рис. 1);
- потери активной мощности в ветвях сети не учитываются.

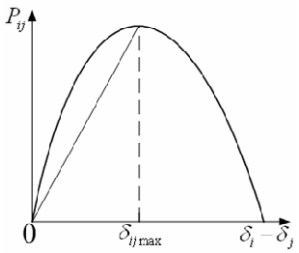


Рис. 1. Линеаризация характеристики мощности ветви

Преимущество использования линейной математической модели сети в качестве основы алгоритма выбора управляющих воздействий состоит в том, что для её формирования требуется меньший объём данных телеизмерений, чем для нелинейной модели. Для формирования линейной модели необходимы лишь данные о напряжениях узлов и перетоках активных мощностей по ветвям сети. Это свойство может быть весьма актуальным, с учётом реальных условий эксплуатации систем сбора данных для противоаварийной автоматики (возможный выход из строя каналов передачи телеизмерений, датчиков, и т.п.).

Кроме того, преимущество алгоритма выбора управляющих воздействий на основе линейной модели сети заключается в простоте и надёжности оценки напряженности режима. Он также обладает свойством адаптивности, так как при каждом новом изменении схемы сети требуется только добавление или исключение из программы расчёта нескольких уравнений, что не представляет значительных затруднений.

Упрощения, принимаемые при таком подходе, могут, однако, приводить к ухудшению точности оценки напряженности послеаварийных режимов: замена синусоидальных характеристик мощности линейными характеристиками приводит к «отбрасыванию» части существующих режимов и выбору возможно избыточных управляющих воздействий. Тем не менее, согласно предварительным оценкам, выполненным в [1], область существования режимов, определяемая на рассматриваемой линейной модели, отклоняется от своего действительного размера на величину порядка менее 5% в меньшую сторону, что может считаться достаточно приемлемым. С другой стороны, возможное уменьшение значений напряжений в послеаварийной схеме обуславливает сжатие области сущест-

вования режимов, и, если это не будет учтено, возможны излишне оптимистичные результаты оценки напряженности режима. Ввиду указанных недостатков необходимо провести сравнительный анализ точности оценки предельных режимов на основе упрощенной и полной математических моделей сети.

В ходе вычислительных экспериментов проводилось сопоставление результатов оценки напряженности режимов, получаемых при использовании традиционных программ расчёта режимов сети (на примере программы Mustang) и результатов, получаемых в опытной программе, реализующей изложенный выше подход. В качестве расчётной экспериментальной модели использовалась трёхузловая схема сети 500 кВ (рис. 2).

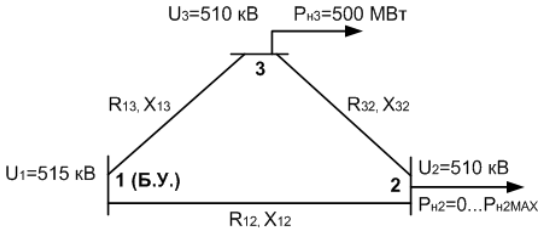


Рис. 2. Экспериментальная расчётная схема

При заданной постоянной нагрузке узла 3 производилось последовательное (в несколько шагов) увеличение нагрузки в узле 2, что соответствовало различным коэффициентам загрузки линии 1-2 по активной мощности. Коэффициент загрузки определялся в программе Mustang и в опытной программе относительно максимально возможного значения перетока по линии при утяжелении. Расчёты были проведены для различных соотношений активных и реактивных сопротивлений ветвей схемы, а так же для максимальных и минимальных значений напряжений в узлах схемы. Для сопоставления результатов были построены зависимости коэффициентов загрузки линии 1-2 от мощности нагрузки узла 2, полученные в Mustang и в опытной программе соответственно (рис. 3).

Наблюдая полученные результаты, можно видеть, что для соотношений сопротивлений схемы X/R=10, 15 и более, значение коэффициента загрузки линии 1-2, определяемое на основе упрощенной модели сети ($К_{ОП}$), всегда больше, чем определяемое на основе полной модели ($К_{Mustang}$), и отличается на относительную величину до 14%. Поскольку для реальных линий с номинальным напряжением 500 кВ соотношение X/R составляет примерно 10:1…12:1, для уменьшения ошибки опытной программы определяемый ей коэффициент загрузки следует корректировать в меньшую сторону на величину порядка 3%...7%.

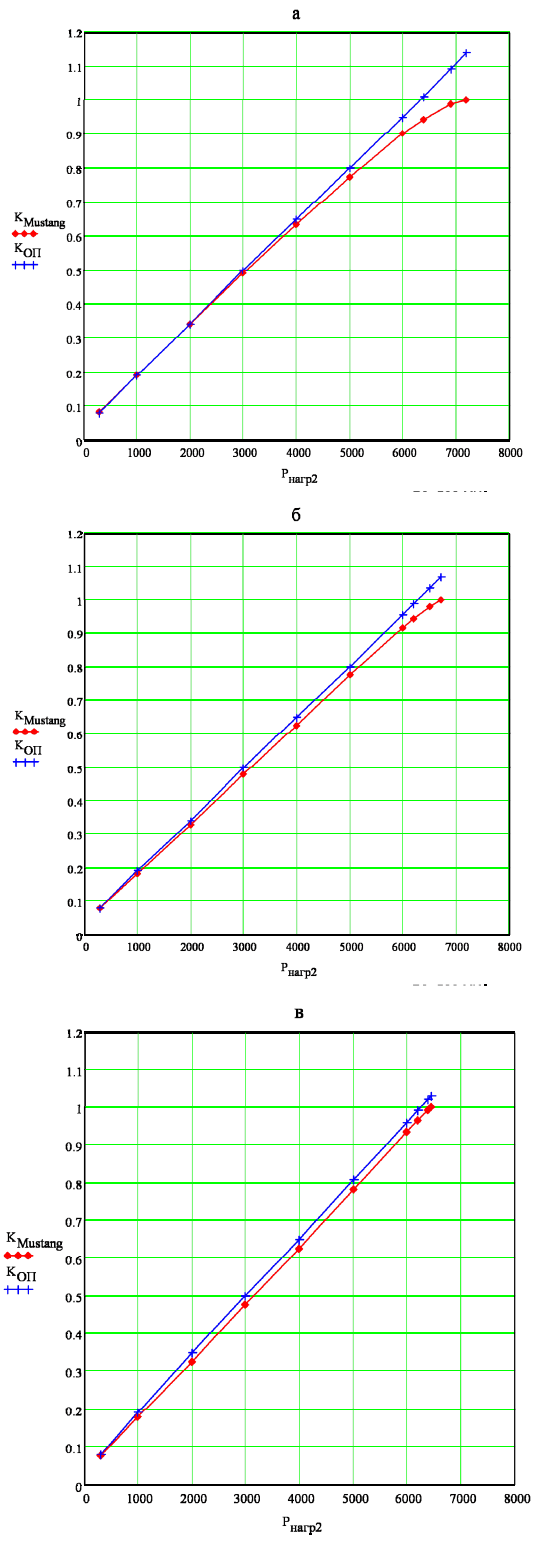


Рис. 3. Коэффициент загрузки линии 1-2 при утяжелении в узле 2 для R_{12},R_{13},R_{32}=0 и X_{12}, X_{13}, X_{32}=60 Ом (а); для R_{12},R_{13},R_{32}=4 Ом и X_{12}, X_{13}, X_{32}=60 Ом (X/R=15) (б); для R_{12},R_{13},R_{32}=6 Ом и X_{12}, X_{13}, X_{32}=60 Ом (X/R=10)

Список литературы

1. Нестеренко Н.Г., Кобец Б.Б., Бык Ф.Л. Оценка областей существования режима для консервативных моделей электроэнергетических систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1991. №5. С. 76-81.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ ОЗЗ В СЕТЯХ 6–10 КВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Латипов А.Г.

Научный руководитель: Федотов А.И., д.т.н., профессор

Казанский государственный энергетический университет
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
E-mail: vagapov@list.ru

Рассматриваемому вопросу посвящено множество публикаций, в ряде из которых в качестве определяющего признака наличия ОЗЗ предлагается использование появления высших гармоник (ВГ) в распределительной сети [1, 2]. Поскольку процесс горения дуги является нестационарным, то он инициирует появление ВГ в сети. Известно, что воздушная линия электропередач (ЛЭП) обладает как индуктивным сопротивлением, так и емкостной проводимостью. Данный факт позволяет сделать вывод о возможном наличии резонансных явлений на некоторых из ВГ и, как следствие, повышение чувствительности системы обнаружения ОЗЗ. А поскольку от расположения места ОЗЗ на линии меняются и ее резонансные характеристики, то следует ожидать определенной зависимости частоты резонанса ВГ от места ОЗЗ.

Ниже рассмотрены особенности обнаружения ОЗЗ исходя из условия, что все измерения проводятся на стороне 0,4 кВ потребительских подстанций. Данное условие является принципиальным, так как при этом не требуется дополнительная установка дорогостоящих высоковольтных трансформаторов тока и напряжения для подключения устройств фиксации ОЗЗ.

Для проведения теоретических исследований изменения гармонического состава напряжения при возникновении ОЗЗ была составлена модель воздушной ЛЭП, представленная на рис. 1. Моделирование производилось в среде пакета Simulink программного продукта Matlab.

К трансформатору энергосистемы 110/10 кВ подключена трехфазная воздушная ЛЭП, от которой питается трансформатор 10/0,4 кВ, рис. 1. Воздушная ЛЭП представлена двумя последовательно соединенными линиями с распределенными параметрами. Разделение ЛЭП на два участка было произведено для возможности изменения места возникновения ОЗЗ вдоль длины линии. Необходимо отметить, что схема соединения обмоток понижающего трансформатора 10/0,4 кВ по высокой стороне «треугольник», а по низкой – «звезда с нулем».

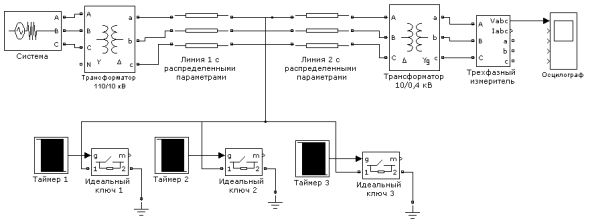


Рис. 1. Модель ЛЭП

Моделирование неустановившегося ОЗЗ осуществляется при помощи нескольких ключей (ключ 1 – ключ 3). Ключи 1, 2 и 3 коммутируют одну из фаз на «землю». Для функционирования ключей в схему введены таймеры. Работа ключей 1, 2 и 3 построена таким образом, что каждый ключ срабатывает единожды в течение одного периода на время равное 0,00286 сек. Данный временной интервал выбран для возможности поочередного коммутирования трех ключей в течении одного периода. В качестве примера на рис. 2 представлена диаграмма работы ключа 1. Работа ключей имитирует изменение сопротивления дуги при ОЗЗ. Для снятия показаний в модель включен универсальный трехфазный измеритель и осциллограф.

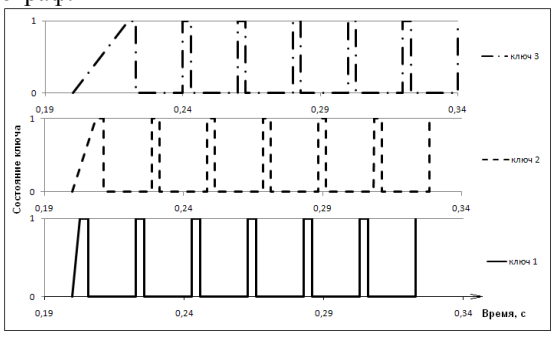


Рис. 2. Диаграмма работы ключей

Условия работы модели следующие. Она начинает работать в нормальном режиме, т.е. без коммутаций ключей, в течение периода времени от 0 до 0,2 сек. затем ключи 1, 2 и 3 попеременно работаю в течение периода времени от 0,2 до 1,3 с.

Рассмотрим влияние удаленности ОЗЗ на спектральный состав ВГ. В расчетах принято, что общая длина электропередачи составляет 30 км. Первоначально ОЗЗ происходит на расстоянии 28 км от начала линии (2 км до трансформатора 10/0,4 кВ). В дальнейшем расстояние изменяется с

шагом 1 км. Гармонический анализ проводится с момента времени t=0,8 с., продолжительность анализа составляет 10 периодов. На рис. 3 представлен результаты частотного анализа для расстояния до ОЗЗ 2 км от подстанции 10/0,4 кВ.

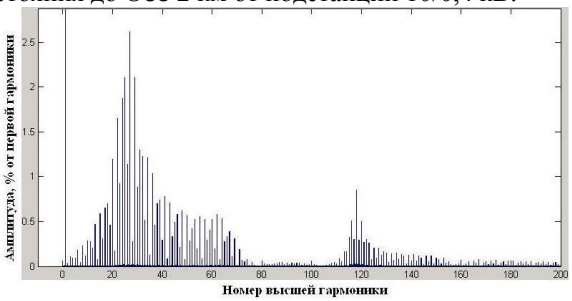


Рис. 3. Частотный анализ при ОЗЗ на расстоянии 2 км

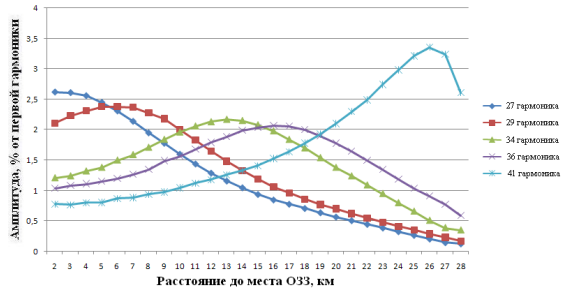


Рис. 4. Совокупности кривых изменения амплитуды высших гармоник при ОЗЗ

На рис. 4 представлены совокупности кривых изменений амплитуды ВГ при удалении места возникновения ОЗЗ от 2 до 28 км. Анализ полученных результатов позволяет установить следующую закономерность: чем дальше место ОЗЗ от места измерения за трансформатором 10/0,4 кВ, тем выше номер резонансной гармоники. Так, на рис. 4 показано, что при смещении ОЗЗ до расстояния 20 км высшие гармоники изменяются через каждые пять километров. Таким образом, существует возможность установить участок ЛЭП, где произошло ОЗЗ по номеру высшей гармоники.

Данная особенность позволяет сделать вывод о возможности использования в качестве диагностического признака номера высшей гармоники, по которому возможно судить о месте возникновения ОЗЗ.

Таким образом, результаты моделирования режима ОЗЗ на воздушной ЛЭП показывают, что на стороне 0,4 кВ проявляются высшие гармоники напряжения, резонансная частота и амплитуда которых зависят от удаления ОЗЗ, что может служить диагностическим признаком места ОЗЗ. При этом получаемая информация о возникновении ОЗЗ может быть передана по каналам связи, используемыми автоматизированными системами коммерческого и технического учета электроэнергии.

Выводы

1. О появлении ОЗЗ в сетях 6-10 кВ возможно судить по появлению высших гармоник на стороне 0,4 кВ понижающего трансформатора.
2. По номеру высшей гармоники возможно выявить участок возникновения ОЗЗ, а по её амплитуде уточнить место поиска.

Список литературы

1. Токовые защиты от замыканий на землю. Исследование динамических режимов функционирования / В. Шуин, О. Сарбеева, Е. Чугрова // Новости электротехники. – 2010. – № 2.
2. Замыкание на землю в линиях электропередачи 6-35 кВ. Особенности возникновения и приборы защиты / А. Шалин // Новости электротехники. – 2010. – № 3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАВОК СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В НАПРАВЛЕННИИ УГЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛИНИИ

Ле Т.Х.

Научный руководитель: Шмойлов А.В. д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: hoale.viet.rus@gmail.com

Дистанционная защита (ДРЗ) определяет полное сопротивление цепи короткого замыкания по измеренному напряжению и току КЗ в месте установки реле . Измеренное полное сопротивление цепи КЗ сравнивается с известным значением сопротивления линии. Если измеренное полное сопротивление цепи КЗ меньше, чем уставка, то это рассматривается как внутреннее короткое замыкание и подается команда на отключение выключателя. Это значит, что дистанционная защита в самом простом варианте может принять решение по напряжению и току, измеренным в месте установки реле. Этой базовой защите для принятия решения не требуется.никакой другой информации, и поэтому защита не зависит от какого-либо другого оборудования или сигналов каналов связи.

При практическом применении дистанционной защиты необходимо рассмотреть несколько влияющих факторов. Они влияют на точность дистанционных измерений, и на уставки ступеней защиты. В результате эффективность применения ДРЗ уменщается. Одним из главных влияю-

щих факторов на эффективность применения ДРЗ является ток нагрузки на дистанционные измерения при КЗ через переходное сопротивление.

Ток КЗ, протекающий с противоположного конца через активное сопротивление в точке замыкания, вызывает дополнительное падение напряжения. Это производит тот же эффект, что и промежуточная подпитка, т.е. измеренное сопротивление замыкания увеличивается.

При передаче активной мощности по длинным линиям электропередачи необходим сдвиг фаз системных напряжений. Эквивалентная схема замещения цепи представлена на рис. 1. Поэтому в случае короткого замыкания питающие ЭДС имеют различные углы. Напряжение на передающем конце опережает напряжение на принимающем конце на угол θ_L. Поэтому, в первом приближении, токи короткого замыкания на обоих концах линии имеют такой же сдвиг по фазе. Векторы на передающем и принимающем концах имеют разные углы наклона. Поэтому, обычное дистанционное реле на передающем конце измеряет уменьшенное сопротивление, т.е. имеет тенденцию к излишнему охвату, тогда как на принимающем конце сопротивление увеличивается, т.е. реле имеет тенденцию к неполному охвату защищаемой зоны.

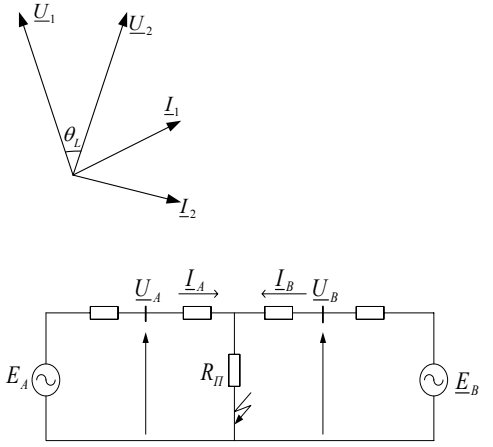


Рис. 1. Влияние тока нагрузки на дистанционные измерения при КЗ через переходное сопротивление

В географически маленьких промышленноразвитых странах с распределённой системой выработки электроэнергии не требуется передача активной мощности на большие расстояния. Угол передачи мал, порядка $10 – 15^0$.

В географически больших странах мощность часто должна передаваться с удалённого конца, где вырабатывается электроэнергия на конец, где она потребляется. В этом случае угол передачи может достигать 60^0, Однако при перегрузке или при качаниях мощности угол передачи может быть ещё больше. Возможен случай, когда защита должна быть спроектирована для угла передачи равного 90^0. Современные цифровые реле (7SA522, 7SA6) позволяют иметь наклон (скос) верхней грани четырехугольной характеристики первой ступени для того, чтобы избежать расширения зоны действия в этом случае.

При неполном охвате защищаемой зоны с увеличением сопротивления $R_П$ защита «видит» КЗ ближе, чем в действительности. Поэтому охват зоны первой ступенью с характеристикой без наклона и уменьшенной уставкой будет увеличиваться практически до 85%. При наличии наклона характеристики зона действия при определенной нагрузке будет оставаться неизменной (при фиксированном направлении). При уменьшении нагрузки, однако, зона действия, при этом же значении $R_П$, уменьшается. В любом случае применение разрешающего сигнала для ступени с неполным охватом защищаемой зоны гарантирует надёжное определение и отключение замыкания.

Можно определять уставки ДРЗ по следующим порядкам :

1. Угол φ_4 задаем произвольно в пределах $(0 – 40^0)$ (рис 2.а, 2.б),

2. Необходимо определить точку пересечения правой боковой грани ХС цифрого дистанционного реле и прямой линии скоса под углом φ_4 относительно верхней горизонтальной прямой ХС реле. Прямая скоса задается точкой на оси ординат (уставка XY) и угол φ_4 (рис 2.б.),

3. По координатам точки пересечения находится предельный угол $\varphi_3 = \varphi_{31'}$,

4. Далее определяются $Z_{*иу}$ (при $\varphi_{31} \le \varphi_3 < 90^o$), и $Z_{**иу}$ (при $0 < \varphi_3 \le \varphi_{31}$) в интервалах углов с границей $\varphi_{31'}$.

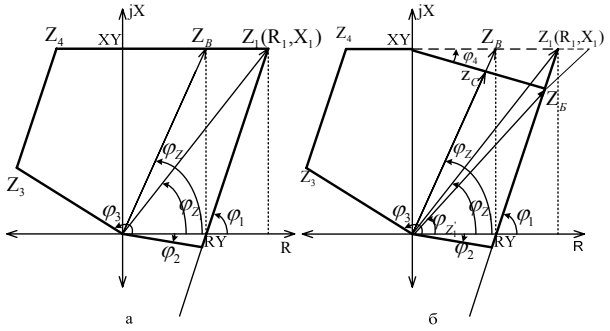


Рис. 2.Характеристика срабатывания ДЗ при $\varphi_4 = 0$ (а) и при $\varphi_4 \neq 0$ (б)

где, φ_1 – угол боковой грани ХС, φ_2 – угол первого фазоограничения реле, φ_3 - угол второго фазоограничения реле, φ_4 – угол скоса.

XY,RY – уставки по реактивному и активному сопротивлениям ХС цифровой дистанционной РЗ,

Z_B(RB,XB) – уставки с верхней гранью ХС, Z_C(RC,XC) – уставки с прямой скоса ХС,

$Z_Б$(RБ,XБ) – уставки с боковой гранью, ZB(RB,XB), ZC(RC,XC), ZБ(RБ,XБ) – истинные-фактические уставки.

При без учета влияния тока нагрузки уставки ДРЗ (уставки с верхней гранью XC – ZB(RB,XB)) определяются по следующим выражением :

$$Z_{*ду} = \frac{XY}{\sin\varphi_Z} \text{ при } \varphi_4 = 0 \text{ и } \varphi_{Z1} \le \varphi_Z < 90^o \quad (1)$$

$$Z_{**ду} = \frac{XY}{\sin\varphi_{Z1}} \cdot \frac{c\cos(\alpha+\varphi_{Z1})}{\cos(\alpha+\varphi_Z)} \text{ при } \varphi_4 = 0 \text{ и } 0<\varphi_З \le \varphi_{З1} \quad (2)$$

С учетом влияния тока нагрузки уставки ДРЗ (уставки с прямой скоса XC – ZC(RC,XC)) определяются по следующим выражением :

$$Z_{*ду} = \frac{XY}{\sin\varphi_Z} - \frac{\frac{XY}{\sin\varphi_Z}\cdot\cos\varphi_Z\cdot\sin\varphi_Z}{c\cos(90-\varphi_Z-\varphi_4)} \text{ при } \varphi_4 \ne 0 \text{ и } \varphi_{Z1} \le \varphi_Z < 90^o \quad (3)$$

$$Z_{**ду} = \frac{XY}{\sin\varphi_{Z1}} \cdot \frac{\cos(\alpha+\varphi_{Z1})}{\cos(\alpha+\varphi_Z)} \text{ при } \varphi_4 \ne 0 \text{ и } 0<\varphi_Z \le \varphi_{Z1} \quad (4)$$

Координаты точки пересечения боковой грани с гранью скоса (точка $Z_Б$(RБ,XБ)) можно найти по следующим выражением:

$$ХБ = \frac{XY\cdot RY}{RY + \frac{XY}{tg\varphi_З} - r_1} \quad (5)$$

$$RБ = \frac{1}{tg\varphi_З}\cdot\frac{XY\cdot RY}{RY + \frac{XY}{tg\varphi_З} - r_1} \quad (6)$$

При использовании цифровых дистанционных защит появляется возможность корректировки описанной ошибки измерений. Предпосылкой этому служит допущение об однородности системы, обеспечивающее равенство углов токов нулевой последовательности по обе стороны от места повреждения, Небольшое, но неизменное различие углов может быть компенсировано с помощью фиксированной уставки Δφ. Для этого в реле должна быть активизирована функция, так называемой, компенсации нагрузки или изменения угла наклона. Она действует при однофазных и двухфазных замыканиях на землю, где возможно большое активное сопротивление в точке замыкания. При этом защищаемая зона остаётся постоянной и не зависит от протекающих по линии токов нагрузки, а также от переходных сопротивлений.

Заключение

При использовании цифровых дистанционных защит появляется возможность определения верных уставок первой ДЗ и оптимально настроить все каналы РЗ сети, чтобы повысить эффективность настройки дистанционных релейных зашит высоковольтных линий от КЗ.

Список литературы

1. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. – перевод с англ. под ред. Дъякова А.Ф. – М.: Энергоиздат. 2005 – 322 с.
2. Аржанников Е.А., Аржанникова А.Е. Выбор параметров срабатывания микропроцессорных защит трансформаторов и линий: учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2007. – 154 с.

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕМНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ ТОКОМ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Лидовский Р.К., Сачков С.А., Горюнов А.Г.

Научный руководитель: Горюнов А.Г., канд. техн. наук, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина

Кремний – основной полупроводниковый материал, применяемый в современной микроэлектронике, силовой электронике, солнечной энергетике. Состояние производства поликристаллического кремния – основного сырья в значительной степени определяет уровень развития высокотехнологичных отраслей промышленности.

Для производства кремния в основном применяется Сименс-процесс: в протоке реакционной парогазовой смеси силанов и водорода на поверхности нагретых до 1000–1200°C кремниевых стержней происходит восстановление силана и осаждение свободного кремния [1].

Анализ существующей технологии получения кремния с использованием постоянного тока показал наличие ряда недостатков:

- неравномерный температурный профиль, что влечет за собой неравномерность распределения электрического тока в стержне;
- существенные внутренние механические напряжения в объеме стержня;
- высокие затраты на электроэнергию в процессе водородного восстановления.

Эффективным решением данных проблем является использование источников высокочастотного переменного тока реализующее скин-эффект – распределение тока высокой частоты преимущественно в поверхностном слое при протекании его по проводнику.

Одним из важных моментов в модернизации технологии является разработка силового преобразователя, отвечающего заданным технологическим параметрам.

Существует несколько способов реализации силового преобразователя, обеспечивающего переменный ток в нагрузке. Одним из вариантов является реализация пульсирующего тока в нагрузке с помощью силовых ключей, реализованных на тиристорах или на IGBT транзисторах. Достоинства преобразователя тока на IGBT транзисторах заключается в полной управляемости и высокой частоте переключения, однако тиристорные ключи имеют меньшие тепловые потери (≈30%); высокую перегрузочную способность (в 2–3 раза), возможность умножения частоты за счет импульсов тока через запирающие конденсаторы.

С учетом выше сказанного, рассмотрим варианты реализации силового преобразователя на тиристорных ключах.

Моделирование планируется выполнять в среде «Matlab/Simulink».

Схема устройства импульсного нагревания поликристаллических кремниевых стержней с использованием тиристорных ключей представлена на рисунке 1 (на примере четырех блоков стержней нагрузки) [2].

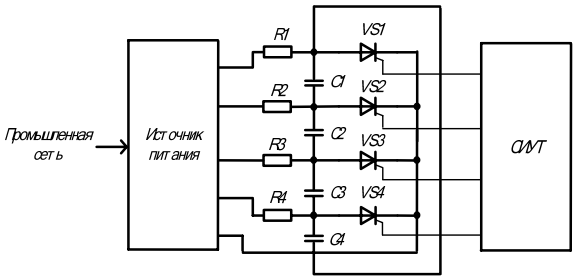


Рис. 1. Устройство импульсного нагревания поликристаллических кремниевых стержней

Устройство содержит источник питания, обеспечивающий постоянный ток; блоки поликристаллических кремниевых стержней *R*1, *R*2, *R*3, *R*4; тиристоры *VS*1, *VS*2, *VS*3, *VS*4; конденсаторы *C*1, *C*2, *C*3, *C*4; система импульсного управления тиристорами (СИУТ). В качестве системы импульсного управления тиристорами могут быть использованы, например, широтно-импульсный модулятор (ШИМ) и кольцевой распределитель импульсов.

Работу устройства можно представить в виде циклов. Каждый цикл состоит из этапов, по количеству блоков стержней. На каждом этапе с СИУТ поступает импульс на открытие соответствующего тиристора. После открытия тиристора ток проходит из источника питания через соответствующую нагрузку (блок кремниевых стержней). При этом в момент открытия очередного тиристора происходит замыкание цепи конденсатора и запирание тиристора с предыдущего этапа.

Как видно из графиков, представленных на рис. 2, в каждом блоке кремниевых стержней формируется пульсирующий ток *I* в соответствии с импульсным режимом работы устройства.



Рис. 2. Графики пульсирующих токов в каждом из стержней R1, R2, R3, R4 соответственно

Также перспективным вариантом реализации переменного тока в стержнях является применение тиристорного генератора затухающих колебаний высокой частоты (Рисунок 3) [3].

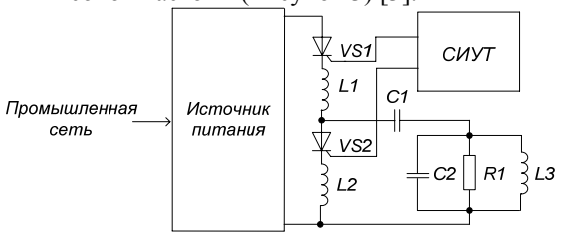


Рис. 3. Тиристорный генератор высокой частоты

Схема приведена для одного блока кремниевых стержней *R*1. Токи тиристоров *VS*1 и *VS*2 возбуждают колебания в контуре нагрузки *C*2, *R*1, *L*3. При этом в соответствии с направлениями токов тиристор *VS*1 обеспечивает передачу энергии в контур нагрузки во время положительной полуволны напряжения, а тиристор *VS*2 – во время отрицательной. За время между ближайшими импульсами тока тиристоров *VS*1 и *VS*2 колебания в контуре нагрузки затухают, т. е. в нагрузке получаются затухающие колебания. Для получения незатухающих колебаний следует отпирать тиристоры *VS*1 и *VS*2 достаточно часто [3].

Таким образом, выполнена постановка задачи по моделированию возможности применения переменного высокочастотного тока для нагрева полупроводниковых цилиндрических элементов. Дальнейшими этапами являются: проведение вычислительных экспериментов на математической модели Сименс-процесса; разработка решений по усовершенствованию программно-технических средств преобразователя тока.

Основным планируемым эффектом от внедрения результатов разработок являются: существенная экономия электроэнергии; увеличение скорости осаждения кремния; увеличение производительности; уменьшение времени технологического процесса.

Список литературы

1. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния – М.: Металлургия, 1992. – 408 с.
2. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2010125602/07(036370). Устройство импульсного нагревания поликристаллических кремниевых стержней / Горюнов А.Г., Козин К.А., Ливенцов С.Н. и др. Заявлено 22.06.2010.
3. Бальян Р.Х., Сиверс М.А. Тиристорные генераторы и инверторы – Л.: Энергоиздат, 1982 – 223 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БАЛЛАСТ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Маморцев С.В.

Научный руководитель: Михальченко Г.Я., д.т.н., профессор

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: stepan_mamortsev@mail.ru

В современной энергетической электронике особую роль отводят вопросам энергосбережения, повышению КПД устройств и их входных и выходных характеристикам. В сфере осветительной технике в России переходят от ламп накаливания к лампам с гораздо меньшим энергопотреблением (люминесцентные, светодиодные и т.д.). Отечественная промышленность на настоящем этапе ее развития не достаточно готова к таким изменениям, так как исторически не была направлена на экономию ресурсов. Данная работа посвящена энергосберегающей технологии освещения на базе люминесцентных ламп.

Целью проектирования является разработка электронного балласта для системы из двух люминесцентных ламп, последовательно соединенных в режиме управления током. Электронный балласт должен обладать наилучшими характеристиками с точки зрения продления жизни ламп, качества освещения, минимальными энергопотреблением и стоимостью.

Зарубежные производители выпускают специализированные микросхемы для осуществления управления освещением различными типами ламп, в том числе люминесцентных. Задачей проектирования было разработать такую систему управления освещением для двух ламп типа T8 по 18 Вт на базе новой микросхемы IRS2168D компании International Rectifier. Данная микросхема позволяет обеспечить безопасный запуск лампы, включающий в себя этапы прогрева катода, зажигания лампы и рабочий режим. А также осуществляет независимое управление блоком корректора коэффициента мощности (PFC) и выходным полумостовым инвертором (ПИ) с переменными, программируемыми частотой и коэффициентом усиления. Схема на базе IRS2168D имеет защиту от сгорания, старения, отсутствия лампы, защиты от пиковых токов и напряжений в силовых узлах схемы.

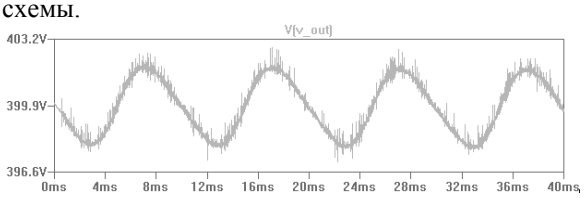


Рис. 1. Напряжение на выходе PFC

Однако, несмотря на все преимущества, микросхема IRS2168D не позволяет осуществить прекращение накала нитей лампы в рабочем режиме, когда для поддержания работы в номинальном режиме не требуется греть катоды. Функция отключения накала была включена в схему посредством добавления электрической цепи с компаратором и ключом переменного тока, а также цепей независимого поддержания тока лампы, включающие вторичные обмотки трансформатора тока лампы. PFC на базе повышающего преобразователя обеспечивает промежуточное постоянное напряжение 400 В с пульсацией уровнем 2,5 В с частотой сети (рис. 1).

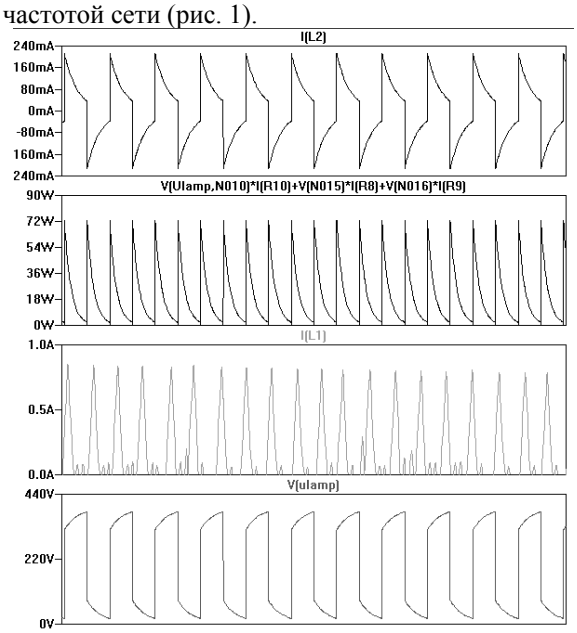


Рис. 2. Временные диаграммы (по порядку) тока дросселя ПИ, выходной мощности, тока дросселя PFC, напряжения на лампе

Резонансная цепь выходного инвертора настроена на частоты: 52,8 кГц в рабочем режиме, 57,3 кГц в режиме зажигания и 64,1 кГц в режиме прогрева; транзистор PFC работает на частоте 97 кГц. По габаритам плата электронного балласта должна входить в отведенный для нее слот, поэтому имеет вытянутую прямоугольную форму и не имеет высоких элементов.

Разработанное устройство отличается низкими уровня пиковых значений токов трансформатора тока лампы, дросселей PFC и ПИ (рис. 2) и, соответственно, малыми габаритами магнитных элементов, потребляет чисто активный синусоидальный ток из сети. Среднее напряжение на лампе 196 В.

В среде иммитационного моделирования электрических схем LTSpice разработана модель разрабатываемого устройства. Модель включает в себя замкнутую систему управления блоками PFC и ПИ, эквивалентное представление лампы в виде активной нагрузки во всех режимах, прогрев, зажигание и рабочем. Некоторые временные диаграммы моделирования представлены на рис. 1 и 2. Иммитационная модель для рабочего режима работы схемы предаставлена на рис. 3.

Результаты работы с LTSpice обладают высокой корреляцией с расчетами, произведенными в среде MathCAD, а также в представляемой производителем программе расчета электронных балластов Ballast Designer v4.2.26. Наиболее удобным, быстрым и современным способом разработки печатных плат является программа Altium Designer, однако инерционность настоящего инженерного сообщества в России не позволяет перейти к подобному проектированию в кратчайшие сроки. Поэтому печатная плата разработанного устройства выполнена в среде P-CAD 2006, показана на рис. 4.

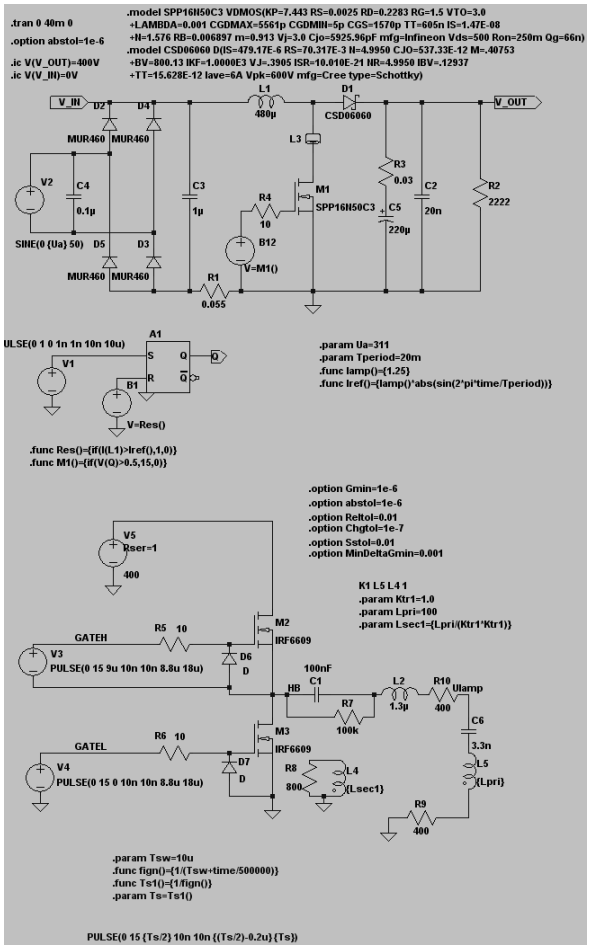


Рис. 3. Иммитационная модель устройства в рабочем режиме в среде LTSpice



Рис. 4. Печатная плата электронного балласта на базе IRS2168D

НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Маров Д.Ю.

Научный руководитель: Плотников И.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: igorplt@tpu.ru

Россия – крупнейшая страна в мире по площади зон децентрализованного электроснабжения. Это в основном территории Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. Надежное и экономичное энергообеспечение этих зон является важнейшей народнохозяйственной задачей, определяющей степень развития этих регионов.

Для электроснабжения таких автономных потребителей традиционно используются малые электростанции, построенные на основе дизель-генераторов. Как источники электроснабжения они обладают большими преимуществами и большими недостатками, а именно: большой расход органического топлива на выработку одного кВт·ч электроэнергии, загрязнение окружающей среды и пр. Однако полноценной им замены нет.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование в энергетическом балансе регионов возобновляемых источников энергии и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Перспективным вариантом построения автономных систем электроснабжения представляются ветро-дизельные энергетические установки с оптимальной системой управления режимами работы дизель – генератора для уменьшения расхода топлива. Такие установки с точки зрения управления ими представляют собой достаточно сложные технические системы. Поэтому для выработки стратегии управления ими приходится прибегать к средствам компьютерного моделирования с использованием таких программных продуктов как MathLab компании The MathWorks. В тоже время окончательно принять решение о способах управления элементами системы можно только проведя натурные испытания. Создавать полномасштабные энергетические системы для проведения экспериментальных научных исследований не оправдано дорого. В настоящее время на кафедре Электроснабжения промышленных предприятий ТПУ идет процесс создания прототипа энергетического ветро-дизельного комплекса на генерирующую мощность 10-15 кВт. Его основой является трехфазный дизель-генератор Kipor KDE 12EA3.

Одной из составляющих экспериментального комплекса является система моделирования нагрузок автономного потребителя. Характерной чертой такого потребителя является резко переменный график электрической нагрузки в течение суток и года. В качестве примера, на рис. 1 приведен суточный график потребления небольшого автономного поселения [1]. Поэтому для анализа работы энергетического комплекса необходимо иметь устройство, которое могло бы воспроизводить нагрузки объекта, как в ручном режиме управления, так и обеспечивать изменение нагрузки по заданному закону.

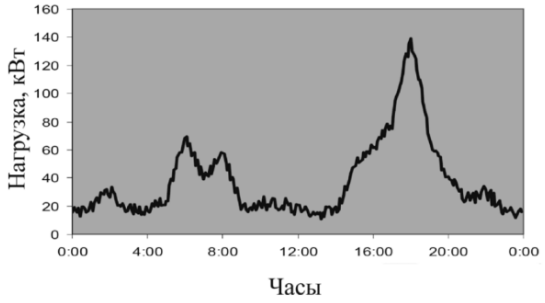


Рис. 1. Суточный график нагрузок небольшого автономного поселения

Целью данной работы являлось создание натурного моделирующего стенда нагрузок автономного потребителя мощностью 0 – 15 кВт. Структура стенда показана на рис. 2.

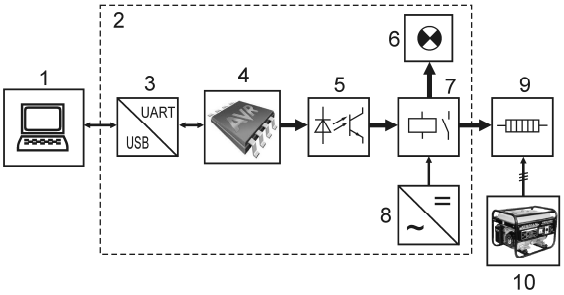


Рис. 2. Структура стенда моделирования нагрузок автономного потребителя: 1 – персональный компьютер; 2 – блок управления нагрузками; 3 – USB интерфейс; 4 – микроконтроллер; 5 – схема оптронной развязки; 6 – схема индикации; 7 – блок электромеханических силовых реле; 8 – источник питания; 9 – блок балластных нагрузок; 10 – энергетическая установка

Основу стенда составляет блок балластных нагрузок (9), представляющий собой три одинаковые секции нагревательных элементов. Схема одной секции представлена на рис. 3. В качестве

рассеивающих мощность элементов выбраны трубчатые оребренные нагреватели типа ТЭНР-45-59 мощностью 1 и 2 кВт по 7 штук в одной секции. Это позволило реализовать диапазон нагрузок 0 – 5 кВт на фазу с шагом изменения в 0,25 кВт, а при необходимости масштабировать систему. Охлаждение секции осуществляется принудительным обдувом воздухом посредством двух вентиляторов. Коммутация нагревательных элементов осуществляется силовыми электромагнитными реле типа WJ-114-1C, входящими в состав блока (7) (рис. 2). Предварительные экспериментальные исследования показали, что данные реле обеспечивают требуемую надежность переключений при условии, что нагрузка, как в данном случае, носит активный характер.

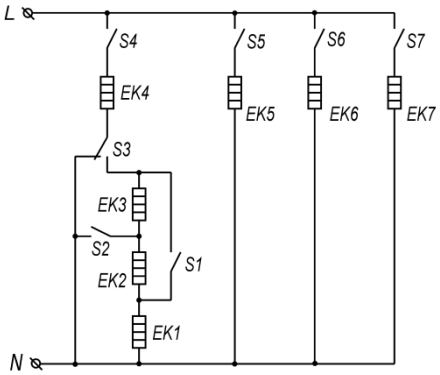


Рис. 3. Схема секции блока балластных нагрузок

Блок управления нагрузками (2 на рис. 1) построен на основе однокристального восьмиразрядного микроконтроллера (4) типа ATmega32 семейства AVR компании Atmel [2] . Микроконтроллер обеспечивает прием информации от персонального компьютера (1), ее декодирование и управление через схему гальванической развязки (5) электромеханическими реле, а также осуществляет контроль и диагностику всей системы.

Для связи стенда с персональным компьютером выбран интерфейс USB 2.0, реализованный посредством микросхемы FT232BM компании Future Technology Devices International Limited [3]. Эта микросхема с компонентами обвязки представляет собой законченный однокристальный преобразователь интерфейсов USB – асинхронный последовательный интерфейс (UART). Она обеспечивает режим работы для интерфейса USB 2.0 (Full Speed) со скоростью обмена 12 МБ/с. Совместима с интерфейсом USB 1.1. К достоинствам этой микросхемы следует отнести хорошую техническую поддержку, предлагаемую компанией FTDI. Она заключается в наличии и обновлении документации, драйверов, утилит и пр., что упрощает и ускоряет процесс создания программного обеспечения для персонального компьютера.

Следует отметить, что при необходимости в системе можно легко реализовать другие типы интерфейсов, например, такие как RS-485 или RS-422, широко используемые в промышленном оборудовании.

Конструктивно блок управления нагрузками выполнен в виде отдельного пульта, внешний вид которого показан на рис. 4.

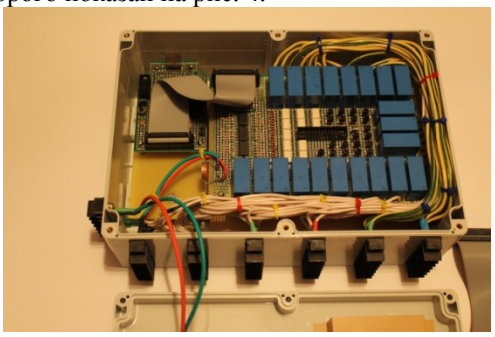


Рис. 4. Внешний вид блока управления нагрузками (верхняя крышка снята)

Управление стендом осуществляется с помощью персонального компьютера. В настоящее время с использованием среды разработки Visual Studio Net 2008 C++ компании Microsoft создано необходимое программное обеспечение. Оно позволяет управлять работой моделирующего стенда, как в «ручном», так и в «автоматическом» режимах. В ручном режиме величина нагрузки как симметричной, так и несимметричной задается на компьютере оператором. В автоматическом режиме программа считывает данные нагрузки из файла данных и реализует график нагрузки. При этом исходный файл данных может быть подготовлен заранее с использованием результатов моделирования в среде MathLab, а также могут быть использованы данные непосредственно любого реального объекта автономного электроснабжения. Минимальный шаг изменения нагрузки по времени составляет 0.5 секунды.

В настоящее время моделирующий стенд изготовлен и прошел испытания, которые показали его работоспособность.

Данная работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» по направлению «Новые и возобновляемые источники энергии».

Список литературы

1. Nayar C. Remote Area Micro-Grid System using Diesel Driven Doubly Fed Induction Generators, Photovoltaics and Wind Generators // IEEE International Conference On Sustainable Energy Technologies (ICSET), Singapore, 24-27 Nov., 2008, pp.1212-1217.
2. www.atmel.com – сайт компании Atmel. [электронный ресурс].
3. www.ftdichip.com – сайт компании Future Technology Devices International Limited. [электронный ресурс].

АВТОНОМАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОМА С НУЛЕВЫМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ

Мелешкин А.В.

Научный руководитель: Удалов С.Н., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20
E-mail: ameleshckin@mail.ru

Рассмотрен дом с автономной гибридной системой электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии и его основные элементы. Такая система может содержать в своем составе до трех источников, имеющих разную природу исходной энергии, которые преобразуются в данной системе в электрическую энергию.

Введение

В зависимости от географического положения дома зависит состав гибридной системы, то есть выбираются те источники энергии, преобразование которых экономически выгодно.

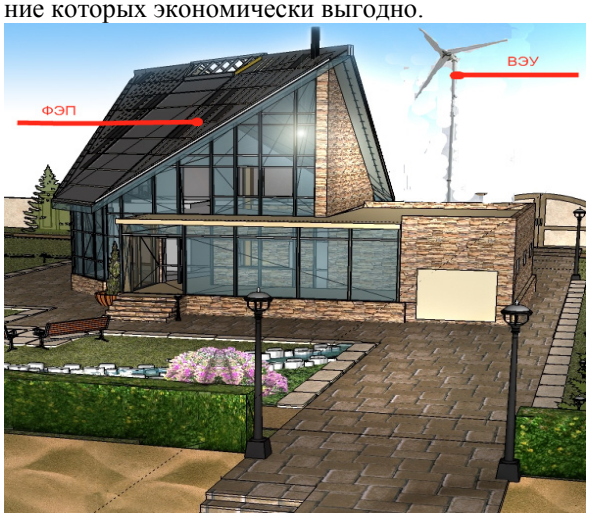


Рис. 1 Внешний вид автономного гибридного дома

Виды источников возобновляемой энергии и возможности их использования

Существуют множество видов возобновляемой энергии: солнечная, ветряная, биомассы, морские приливы, гидроэнергия и другие виды. При расчете электроснабжения зачастую используют ветровую, солнечную и гидроэнергию, из-за большой доступности этих источников. Установки, преобразующие эту энергию могут иметь разную мощность и габаритные размеры Например, фотоэлектрические панели (ФЭП) можно разместить на крыше дома, важно при этом расположить его по оси восток-запад, чтобы ФЭП находились на южном скате крыши, для большего восприятия светового потока. Рентабельно ставить ФЭП при среднегодовой интенсивности светового потока свыше 500 Вт/м^2. Ветроустановку желательно расположить на участке удаленном от дома, из-за создаваемого шума. Её можно ставить при среднегодовой скорости ветра 5 м/с. Для исходной местности расположения дома производиться ветроэнергетический расчет с помощью функции распределения Релея и определяется вероятность повторяемости скорости ветра на годовом интервале времени. Из полученных данных и определяется, сколько энергии выработает ветроустановка. МикроГЭС ставиться в том случае, если коттедж расположен вблизи от гидроресурса, также проводится водноэнергетический расчет. [1]

Гибридная система электроснабжения и ёе основные элементы [2]



Рис. 2 Основные элементы гибридной системы

Изменение погодных условий очень сильно влияет на генерируемую мощность, поэтому желательно ставить несколько источников возобновляемой энергии, так как они будут дополнять друг друга. Еще один существенный минус характеризуется непостоянством мощности во времени, причём график изменения этой мощности может не совпадать с графиком её потребления. Эта проблема решается путём установки в систему аккумуляторных батарей, которые будут накапливать энергию и выдавать её в нужное время. Ёмкость аккумуляторных батарей рассчитывается таким образом, чтобы коттедж мог получать электрическую энергию баз подзарядки, в экономичном ре-

жиме, в течение трех суток. Для нормальной работы аккумуляторов необходимо создать оптимальные условия, например, при низкой температуре аккумуляторы быстро разряжаются, следовательно, их необходимо поместить в специальное помещение, в котором будет поддерживаться нужный уровень температуры. Глубина разряда – параметр аккумулятора, который необходимо соблюдать для нормальной эксплуатации, иначе аккумулятор выйдет из строя раньше времени. Вручную контролировать процесс разряда и заряда невозможно, для управления этими процессами ставится контроллер заряда. Гибридная система вырабатывает мощность на постоянном токе, а всё оборудование в доме работает на переменном. Для этого ставиться инвертор, который преобразует переменный ток в постоянный, и является одним из самых дорогих элементов гибридной системы. Естественно такая система не может обойтись без резерва, и этим резервом является генератор, работающий на топливе. Он включается тогда, когда накопленной мощности не хватает, для покрытия нагрузки. Если вырабатываемая мощность, выше чем потребляемая, и аккумулятор заряжен до максимума, излишнюю энергию можно использовать для электрического подогрева воды в баке-накопителе. Управление системой осуществляет контроллер, который отслеживает генерируемую энергию и управляет режимами работы. Гибридную систему можно подключить к сети, для этого достаточно поставить два датчика, один на вход, другой на выход. Такое подключение позволит продавать излишки электроэнергии, выработанные системой в сеть, и покупать, при её недостатке.



Рис. 3 Гибридная система подключенная к сети

Преимущества гибридной системы электроснабжения [3]:

1. Разовые затраты на монтаж системы, независимость от роста цен на энергоносители;
2. Полная автономность (не требует подключения в электросеть и дополнительной подзарядки); также возможно дополнение ею обычных систем (выполнение функции системы бесперебойного электроснабжения);
3. Надежность и долговечность (современные системы позволят получать электроэнергию независимо от времени года и погодных условий в течение длительного периода);
4. Экологичность;
5. Простота в эксплуатации.

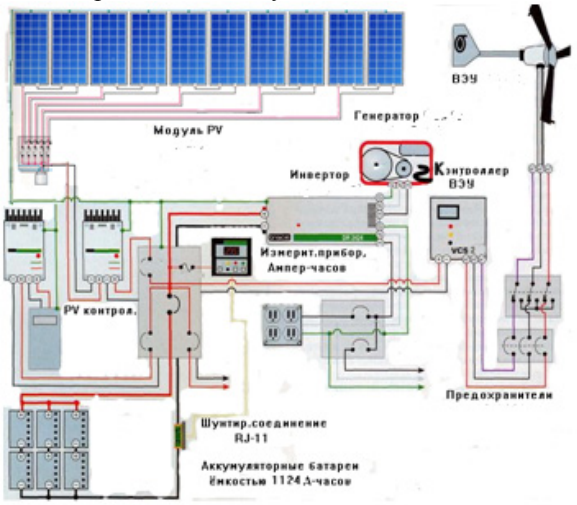


Рис. 4 Принципиальная схема для гибридной системы

Заключение

Учитывая высокую рассредоточенность и близость ВИЭ к потребителям, а также возможность аккумулирования энергии, особенно привлекательным становится электроснабжение на основе возобновляемой энергетике небольших объектов. К примеру для обеспечения электрической энергии дома площадью 160 м^2, достаточно поставить систему, в состав которой входят: фотоэлектрические панели мощностью 1 кВт, ветроэнергетическая установка мощностью 1,5-2 кВт, резервный генератор на топливе 4-5 кВт и инвертор на 2-4 кВт.

Список литературы

1. Удалов С. Н. Возобновляемые источники энергии. Учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ,2007.
2. http://www.solarhome.ru
3. http://www.umniydom.org

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ РАСЧЕТНОЙ СТАТИСТИКИ

Моисеева Е.В.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: moiseevaev@tpu.ru

Известно, что по полным вероятностным характеристикам (функции и плотности распределения вероятностей, сокращенно ФРВ и ПРВ) аргументов могут быть определены вероятностные характеристики функциональных зависимостей от этих аргументов. Для этого существуют достаточно распространённые в литературе способы: аналитический метод неслучайных функций от случайных аргументов (НФСЛ), метод статистических испытаний результатов функциональных зависимостей при разных вариантах значений аргументов, реализуемых с помощью статистического моделирования (СМСН), позволяющий получать на ЭВМ машинную (неретроспективную) статистику, метод степенного разложения функциональных зависимостей относительно математических ожиданий случайных аргументов (СРМО), дающий возможность получать основные моментные характеристики (математические ожидания и дисперсию) функциональной зависимости. Существующие методы позволяют это делать аналитически для не более, чем трёхмерной функциональной зависимости, а методы СМСИ и СРМО для 10-12-и-размерной функции. Однако задачи электроэнергетики имеют существенно большую размерность. В ТПУ разработан метод, позволяющий выполнять эту процедуру приближенно для функциональной зависимости любой размерности – метод селекции границ интервалов данных (СГИД)[1]. В настоящей статье описаны основные этапы решения проблемы – определения вероятностных характеристик параметров режимов энергосистем.

Метод СГИД позволяет по ФРВ аргументов любой детерминированной или случайной функциональной зависимости определить практически точно (при известном виде) или приближенно ФРВ результатов этой зависимости. Зная же полные вероятностные характеристики интересующих величин (параметров режима) можно просто находить однозначные и объективные решения ряда электроэнергетических задач: дефицитов и резервов мощности электрических узлов, выбора оптимальных мощностей трансформаторных связей, сечений проводов линий, выбора оборудования, коммутационных аппаратов и токоведущих частей.

Любую задачу можно сформулировать как функциональную зависимость (ФЗ) от исходных данных (аргументов). При детерминированной ФЗ, ее значения при каждом варианте значений случайных аргументов будут представлять из себя некоторое жесткое их преобразование, однако значения ФЗ будут случайными. Если же ФЗ в условиях задачи является случайной, то случайными будут как выходные данные, так и характер функционального преобразования.

Функция распределения вероятностей является интегральной вероятностной характеристикой и не убывает в своём диапазоне от 0 до 1 и во всём диапазоне значений её аргумента. Благодаря данным свойствам ФРВ можно утверждать, что, если все аргументы (исходные данные) ФЗ принять как значения, соответствующие одному и тому же значению их ФРВ (иначе квантилей порядка, определяемого этим значением ФРВ), то есть основания при нарастающей ФЗ предположить результаты преобразования её аргументов или выходное значение ФЗ соответствующим тому же значению ФРВ функциональной зависимости, то есть квантилю того же порядка, что и у квантилей аргументов, а при убывающей ФЗ – квантилем порядка разности единицы и порядка квантилей аргументов. По разности порядков квантилей соседних вариантов аргументов и соответствующей разности полученных квантилей ФЗ можно определить является ли ФЗ монотонно возрастающей или убывающей в данном многомерном интервале аргументов. Если обе указанные разности совпадают по знаку, то ФЗ является возрастающей, а при разных знаках – убывающей.

Выбор квантилей и определение ФРВ исходных данных аргументов, определение параметров ФРВ ФЗ иллюстрируется на рис. 1, где $f_1(x),...,f_i(x_i),...,f_y(y)$ – ФРВ соответственно аргументов (а, б), ФРВ ФЗ $Y=\varphi(X_1,...,X_i,...)$ (в), а p_1, p_2 – порядки двух вариантов квантилей аргументов $X_1,...,X_i,...$

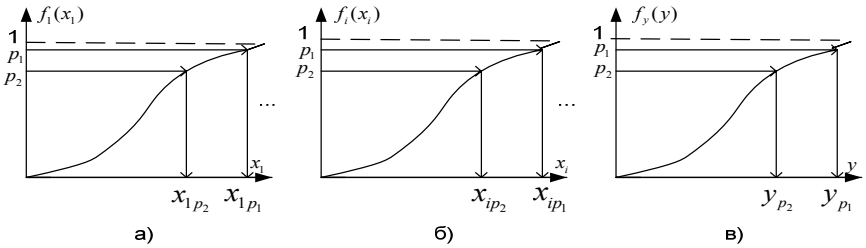


Рис. 1. а), б) Определение квантилей порядков p_1, p_2, в) определение ФЗУ

Практическая проверка полученного способа [1] показала, что метод СГИД даёт точные результаты для экстремальных значений ФРВ и её аргументов, тогда как в средней части ФРВ по методу СГИД имеет заметные погрешности. Этого недостатка можно избежать при известном виде закона распределения вероятностей (ЗРВ) ФЗ (для параметров режимов – это нормальный ЗРВ), ФРВ которого определяется несколькими параметрами (у нормального ЗРВ их два), задавая квантили аргументов порядков близких к единице или нулю и получая значение ФЗ того же порядка в случае возрастающей ФЗ и разности единицы и порядка квантилей аргументов при убывающей ФЗ, т.е. значение ФЗ в областях максимального или минимального значений ФЗ и ФРВ, где истинная ФРВ и определённая по методу СГИД практически не отличаются.

Метод СГИД может быть применен для любой ФЗ, моделирующей задачи в разных отраслях, в частности, он просто применяется в задаче определения параметров режимов энергосистемы. В качестве исходных данных (аргументов) в этой задаче используются активные и реактивные мощности электрических узлов, активные мощности и напряжения генераторных узлов, а выходными данными, т.е. ФЗ являются параметры режимов. Для определения ФРВ аргументов используются максимальное и минимальное значение, например, активной нагрузки Ni суточного графика снятого системой АСКУЭ. Так как ЗРВ мощности является нормальным, просто находятся два параметра ФРВ: математическое ожидание $m(N_i)$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma(N_i)$:

$$\sigma(N_i) = (n_{ia} - n_{iH})/6,\ m(N_i) = (n_{ia} - n_{iH})/2$$

где n_{ia}, n_{iH} – максимальное и минимальное наблюдаемое значение i-го электрического узла. Подставляя значения квантилей порядков $p_1 = 0,9987$ и $p_2 = 0,99$ всех исходных данных, например активной мощности i-го узла:

$$n_{ip1} = n_{i0.9987} = m(N_i) + \sigma(N_i) \cdot \phi^{-1}(0.9987 - 0.5)$$

$$n_{ip2} = n_{i0.99} = m(N_i) + \sigma(N_i) \cdot \phi^{-1}(0.99 - 0.5)$$

где ϕ^{-1} – обратная функция Лапласа, можно после расчёта режима получить квантили параметров режимов порядков p_1 и p_2, при возрастающей ФЗ (например, активная мощность ветви ijk) и порядков $(1-p_1)$ и $(1-p_2)$ при убывающей ФЗ (например напряжение s-го узла). Так как ЗРВ параметров режима является практически нормальным, то можно составить выражения квантилей, например, активной мощности ijk-ой ветви, которые имеют те же порядки, что и исходные данные, т.е.:

$$n_{ijkp1} = m(N_{ijk}) + \sigma(N_{ijk}) \cdot \phi^{-1}(p_1 - 0.5)$$

$$n_{ijkp2} = m(N_{ijk}) + \sigma(N_{ijk}) \cdot \phi^{-1}(p_2 - 0.5)$$

Рассматривая эти выражения как уравнения относительно $m(N_{ijk})$ и $\sigma(N_{ijk})$, можно найти последние как параметры нормального ЗРВ, т.е.:

$$\sigma(N_{ijk}) = \frac{n_{ijkp1} - n_{ijkp2}}{\phi^{-1}(p_1 - 0,5) - \phi^{-1}(p_2 - 0,5)}$$

$$m(N_{ijk}) = n_{ijkp_1} - \sigma(N_{ijk})\phi^{-1}(p_1 - 0,5)$$

Для более удобного расчёта квантилей порядка была создана программа в Matlab, которая считывает данные АСКУЭ и автоматически рассчитывает данные для определения параметров закона распределения.

В качестве вывода следует отметить, что определение вероятностных характеристик в качестве параметров режимов электроэнергетической системы является перспективной задачей, которая позволяет корректно решить многие проблемы электроэнергетики: как перечисленные выше, так и такие принципиально актуальные задачи, как техническая и экономическая эффективность релейной защиты и автоматики, объективная проверка оборудования, коммутационных аппаратов и токоведущих частей на действие токов КЗ и асинхронных режимов, вероятности узловых или системных аварий и т.д.

Список литературы

1. Кривова Л.В., Шмойлов А.В. Выбор и обоснование оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов с применением вероятностных технологий: Монография. – Томск: Издательство ТПУ, 2006. – 75 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ НА РЕЖИМЫ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ СЕТЕЙ

Мурсалимов Т.И., Мастерова О.А.

Научный руководитель: Мастерова О.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 643050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: forset42rus@mail.ru

Одной из основных задач, в процессе формирования конкурентного рынка электроэнергии, является обеспечения надежного функционирования и развития единой электрической сети (ЕЭС).

В настоящее время основными проблемами транспорта электроэнергии в ЕЭС России является [1]:

- недостаточная пропускная способность ряда межсистемных и внутрисистемных образующих связей;
- слабая управляемость параметрами режима, в частности, обеспечения нормальных уровней напряжения;
- неоптимальное распределение потоков мощности и, как следствие, увеличение потерь активной мощности;
- низкое качество электрической энергии.

Для решения указанных проблем должны применяться регулирующие, компенсирующие устройства. Однако простым наращиванием объема традиционных устройств не всегда можно добиться желаемых результатов. Нужны новые, более эффективные устройства на основе современных технологий. К таким устройствам относятся статические тиристорные компенсаторы, которые находят все большее применение в электрических сетях.

Статический тиристорный компенсатор (СТК) – это многофункциональное статическое устройство, обеспечивающее плавное или ступенчатое изменение потребляемой и (или) выдаваемой им реактивной мощности на шинах его подключения в соответствии с заданным законом.

Основу СТК составляют накопительные элементы (емкости, индуктивности), реакторно-тиристорные и конденсаторно-тиристорные блоки. СТК за счет тиристорного управления обладают исключительным быстродействием и осуществляют безинерционное плавное регулирование (наибольшая скорость регулирования от 1% до 100% за 0,3 сек) реактивной мощности во всем диапазоне от мощности, генерируемой конденсаторами, до мощности, потребляемой индуктивностью.

С точки зрения регулирования напряжения и реактивной мощности регулируемым параметром СТК является реактивная мощность, а его режим описывается неравенствами:

$$Q_{\min} \le Q_{СТК} \le Q_{\max} \; ; \; U_{\min} \le U_{СТК} \le U_{\max} \; .$$

Одной из наиболее часто применяемых схем СТК является схема косвенной компенсации [2], состоящая из конденсаторной батареи X_C с выключателем В и управляемого тиристорным ключом ТК реактора X_L (рис. 1)

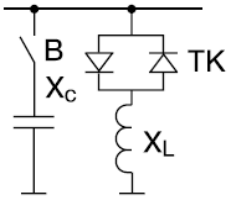


Рис. 1. Упрощенная схема СТК

Рабочая характеристика данного СТК представлена на рис. 2

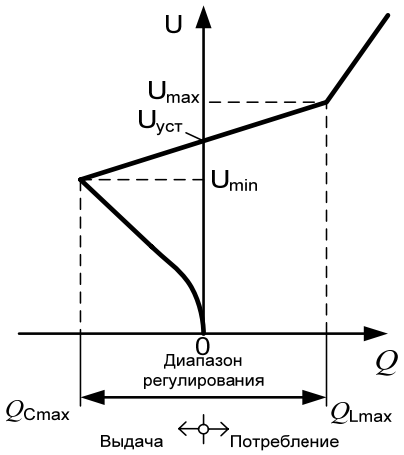


Рис. 2. Рабочая характеристика СТК

В регулировочном диапазоне от Q_{Cmax} до Q_{Lmax} характеристика имеет наклон (2–5%), определяемый статизмом $K_{\text{СТ}}$. За пределами диапазона регулирования характеристика изменяется по линейному закону, зависящему от величины напряжения U и параметров X_C и X_L.

Рассмотрим возможность увеличения пропускной способности системообразующих связей за счет установки СТК. При этом следует учитывать, что пропускная способность линий 220–750 кВ ограничивается нагревом проводов и устойчивостью электропередачи. Причем с увеличением длины линий второй фактор (устойчивость) определяет предел передаваемой мощности.

Известно, что передаваемая по линии без потерь активная мощность P в зависимости от угла передачи δ определяются как:

$$P = \frac{U_1 U_2}{x} \sin \delta , \qquad (1)$$

где U_1, U_2 – напряжения в начале и в конце линии; x – индуктивное сопротивление линии.

Предельная мощность, передаваемая по линии равна

$$P_{пр} = \frac{U_1 U_2}{x_л} \text{ при } \delta = \pi / 2. \qquad (2)$$

Как следует из выражения (2), предел передаваемой мощности $P_{пр}$ длинных ВЛ может быть увеличен за счет снижения сопротивления линии путем деления линии на части при установке в середине линии СТК.

Для анализа влияния места установки и мощности СТК на предел передаваемой мощности проведены исследования на простейшей модели электропередачи, представленной на рис. 3

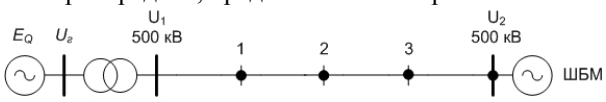


Рис. 3. Исследуемая схема

Генератор соединен с шинами бесконечной мощности через повышающий трансформатор и воздушную линию (ВЛ) 500 кВ, рабитую на 4 участка по 100 км каждый. Расчеты проводились с помощью функции «Утяжеление» программного комплекса MUSTANG. В ходе эксперимента, СТК мощностью 50, 100, 150, 200 и 250 Мвар были поочередно подключены в 1, 2 и 3точках ВЛ.

В результате проделанных расчетов были выявлены зависимости пределов передаваемой мощности от места установки и мощности СТК (рис. 4).

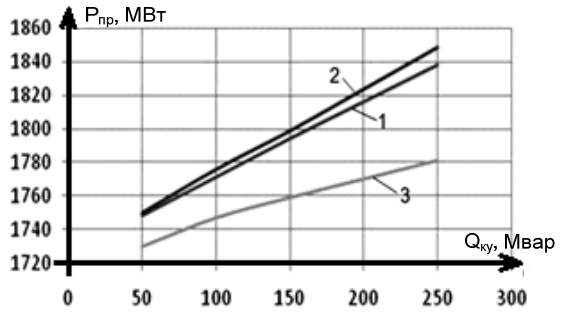


Рис. 4. Пределы передаваемой мощности в зависимости от мощности СТК при установке его 1 - в точке 1; 2 - в точке 2; 3 - в точке 3

В ходе анализа полученных результатов было выявлено, что чем ближе место установки СТК к электрическому центру электропередачи, тем реальнее возможность получить наибольший предел передаваемой мощности.

Однако с помощью установки СТК в системообразующих сетях можно добиться не только увеличения пропускной способности электропередачи. Далее для оценки эффективности данного устройства рассмотрим влияние установки реального СТК мощностью 100 Мвар на подстанции (ПС) Ново-Анжерская 500 кВ на режимы Кузбасской энергосистемы. Для этого был проведен ряд расчетов в программном комплексе MUSTANG [3].

Расчеты режимов включали в себя: расчеты установившегося летнего режима по состоянию на 2009 г. и режима при перспективном увеличения потребления электрической энергии, расчеты послеаварийных установившихся режимов (после отключения одной из ЛЭП 500 кВ), расчеты утяжеленных режимов.

По результатам проведенных исследований установлено, что:

1. Установка СТК на ПС Ново-Анжерская позволяет влиять на уровни напряжения в узлах сети 500 кВ Кузбасской энергосистемы.

2. Наличие СТК приводит к снижению темпов износа оборудования, т.к. позволяет исключить частые коммутации неуправляемых шунтирующих реакторов (ШР), установленных на ПС Ново-Анжерская, для поддержания нормальных уровней напряжения при увеличении нагрузок и в послеаварийных режимах.

3. СТК позволяет, в отличие от включения-отключения ШР, осуществлять плавное регулирование напряжения, добиваясь тем самым оптимальных уровней напряжения на ПС Ново-Анжерская и связанных с ней подстанций 500 кВ.

4. Применение СТК увеличивает предельную мощность, передаваемую по сети, повышает запасы по статической устойчивости электростанций и узлов нагрузки, увеличивая тем самым пропускную способность электрической сети 500…220 кВ.

Выводы

Применение статических тиристорных компенсаторов, особенно при оптимальном их размещении, позволяет увеличить пропускную способность, стабилизировать уровни напряжения и увеличить управляемость системообразующих сетей.

Список литературы

1. Ю.Г. Шакарян, Обзор и анализ мирового и отечественного опыта и тенденций использования технологии FACTS в энергосистемах.
2. В.И. Кочкин, О.П. Нечаев Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий.- М.: НЦ ЭНАС, 2002. – 257 с.
3. Тюлькин М.В., Исследование эффективности реализации пилотного проекта по установке статического тиристорного компенсатора на подстанции Ново-Анжерская // Изв. Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317 – № 4. – С. 100-103

ИССЛЕДОВАНИЕ О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ АЛЮМИНИЙ–СТАЛЬ

Назарова М.Е.

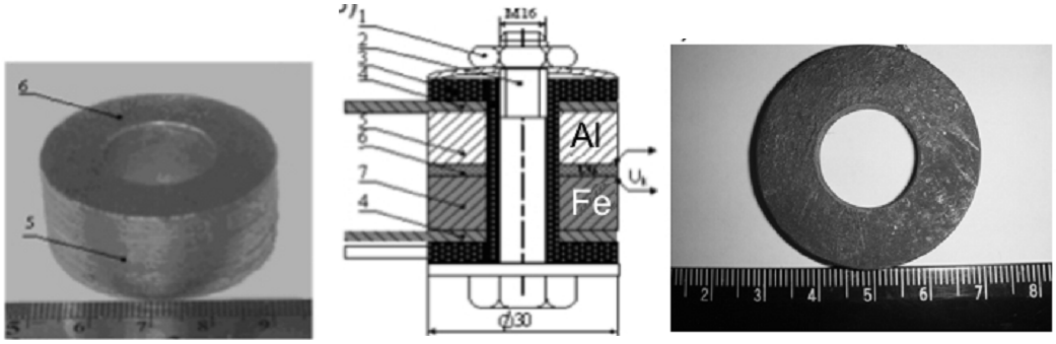
Научный руководитель: Сивков А. А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина,30
E-mail: terra.777@mail.ru

В Энергетическом институте Томского политехнического университета ведутся исследования по нанесению медного покрытия на различные металлические поверхности с целью согласования контактных пар и снижения переходных контактных сопротивлений в сильноточных промышленных электрических сетях. Метод основан на воздействии на металлическую поверхность высокоскоростной импульсной струи медной электроэрозионной плазмы, создаваемой сильноточным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) [1, 2, 3].

В системах электроснабжения металлургических предприятий часто встречаются сильноточные контактные соединения силовой алюминиевой ошиновки со стальными токоведущими элементами конструкции электрических плавильных печей и электролизеров. Эти соединения характеризуются низкой надежностью, высокими переходными сопротивлениями и большими потерями энергии. Для решения этой проблемы проведены эксперименты по нанесению медного покрытия на контактные поверхности алюминиевых (АД-31) и стальных токоведущих элементов. Исследования влияния медного покрытия на величину переходного сопротивления контактной пары проведены по методике, описанной в [4].

На рис. 1 показаны фотографии образцов с медным покрытием и конструкция экспериментальной сборки, с помощью которой производилось стягивание образцов контактных элементов болтом М16 с контролирующим моментом затяжки болтового соединения в пределах 40÷100 Н·м и усилия сжатия.



а б в

Рис. 1. Стяжное устройство для исследования переходных контактных сопротивлений: а) исследуемый образец из алюминия с медным покрытием; б) 1 – гайка М16; 2 – стяжная шпилька М16; 3 – стеклопластиковый изолятор; 4 – токоподводящие шины; в) исследуемый образец из стали с медным покрытием

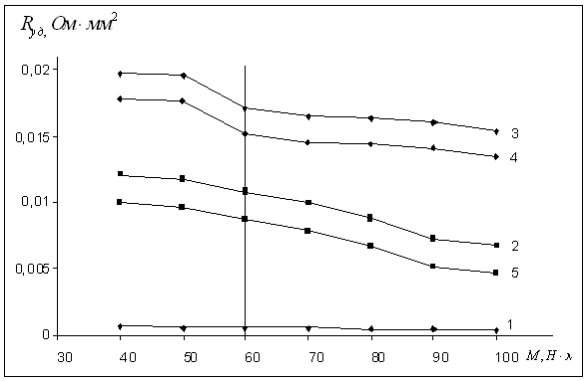


Рис. 2. Зависимость $R_{уд}$ от М: кривая 1 – медь–медь; кривая 2 – алюминий с медным покрытием–сталь; кривая 3 – алюминий–сталь; 4 – алюминий–сталь; 5 – алюминий с медным покрытием–сталь с медным покрытием со смазкой

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости величины удельного переходного сопротивления от момента затяжки болтового соединения для контактных пар: медь-медь (1), алюминий с медным покрытием – сталь с медным покрытием (2), алюминий – сталь (3), при площади контактных поверхностей мм^2.

Вид полученных зависимостей полностью соответствует известной закономерности снижения сопротивления с увеличением момента затяжки или усилия сжатия контактного соединения. При этом использование медного покрытия, нанесенного предложенным способом позволяет практически в 2 раза снизить переходное сопротивление контактной пары алюминий – сталь. Превышение сопротивления относительно тестового соединения медь-медь обусловлено в основном наличием

двух дополнительных переходов между медным покрытием сталью и алюминием. Это подтверждается результатами экспериментов с использованием дополнительного фактора снижения переходного сопротивления – специальной электроконтактной смазки на основе медного порошка “Суперконт”. Смазка, нанесенная на поверхности медных покрытий, как это видно на кривой 4, 5 (рис. 2), лишь незначительно уменьшает величину удельного переходного сопротивления, однако позволяет защитить контактные соединения от воздействия внешних агрессивных факторов и предотвратить коррозию покрытия.

Результаты исследований показали перспективной использования магнитно-плазменной технологии нанесения медного покрытия на контактные поверхности токоведущих элементов из разных металлов, в том числе стальных, обеспечивающего существенное снижение переходного контактного соединения, повышение его надежности и снижение электрических потерь.

Список литературы

1. Трущелев А. С. Пак А. Я. Влияние условий нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность на переходное сопротивление контактной пары медь-алюминий. Энергетика: экология, надежность, безопасность. Материалы докладов IX всероссийской научно-технической конференции. Томск, ТПУ, 21-25 апреля 2009г.
2. Герасимов Д. Ю., Цыбина А. С., Сивков А. А. Использование коаксиального магнитоплазменного ускорителя для нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность. // приборы. 2005г. №6. стр. 33-40.
3. Сайгаш А.С., Сивков А.А., Пак А.Я. О возможности уменьшения переходных сопротивлений сильноточных контактных соединений // Проблемы энергетики.- 2008.-№9-10/1. С. 20-28
4. Орозалиев Э. У. Исследование сильноточных неподвижных контактных соединений. «Современные техники и технологии» материалы докладов XVI Международной научно – практической конференции студентов и молодых ученых. Томск, ТПУ, 12–16 апреля 2010 г.

ВЛИЯНИЕ ГРИБКОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ТРЕКИНГОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРА

Нгуен Х.Х.

Научный руководитель: Лавринович В.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: toihoanghiep86@gmail.com

Одним из основных эксплуатационных показателей изоляторов является трекингостойкость. На поверхности изоляции, находящейся под напряжением в загрязненной влажной атмосфере, часто наблюдается появление искр, перемещающихся с одного места на другое, с образования трека. Под трекингом понимают прогрессирующее образование токопроводящих перемычек, которые появляются на поверхности твердого электроизоляционного материала в результате комбинированных воздействий электрического напряжения и электролитического загрязнения его поверхности. А трекингостойкость – это способность диэлектрика выдерживать воздействие поверхностных пробоев без трекинга [1].

Полимерные изоляторы в настоящее время широко используются в энергосистемах разных стран. В процессе эксплуатации на поверхности полимерных изоляторов наблюдается развитие в виде черного пятна грибковых образований, которые могут влиять на трекингостойкость кремний-органического полимера [2]. Степень влияния грибковых образований на трекингостойкость и напряжение перекрытия кремний органической изоляции в настоящее время мало изучено. Целью данной работы было изучение влияния грибковых образований на трекингостойкость различных видов полимерной изоляции.

Методика

Нами применялся метод каплепадения для определения трекингостойкости различных материалов. При этом необходимо определить величину максимального напряжения, при которой материал выдерживает испытание на пяти участках при нанесении определенного количества капель электролита (50 капель) без образования токопроводящих перемычек. Это напряжение в вольтах называется сравнительным индексом трекингостойкости при условии, что напряжение, сниженное на 25 В, не вызывает замыкание между электродами при 100 каплях, при испытании на пяти новых участках [1].

В качестве загрязнителя используется 0,1%-ный раствор хлористого аммония (NH_4Cl) в дистиллированной воде. Схема расположения электродов и их размеры показаны на рис. 1. На основании 1 располагается образец 2 испытуемого материала, который должен иметь плоскую, гладкую поверхность с площадью не менее 15х15 мм, толщиной больше 3 мм. Электроды 3 изготавливаются из меди сечением 5х2 мм. С помощью капельницы 4 (диаметр отверстия 1,1 мм) в пространство между электродами 1 на поверхность образца с интервалом в (30±5) с подают по капле электролит.

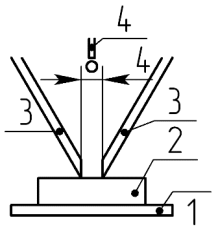


Рис. 1. Расположение электродов и их размеры: 1 – металлическая доставка; 2 – образец; 3 – медный электрод; 4 – конец капельницы

На рис. 2 приведена электрическая схема установки.

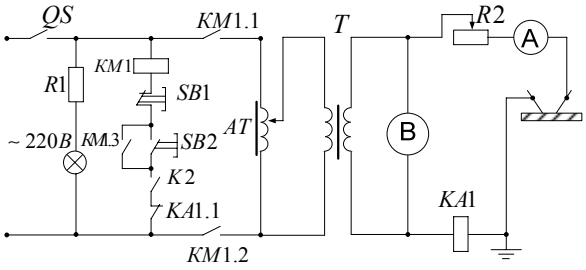


Рис. 2. Электрическая схема установки

QS – автоматический воздушный выключатель; R1 – защитный резистор; KM1 – магнитный пускатель; KM1.1, KM1.2, KM1.3 – контакты магнитного пускателя; SB1, SB2 – контакты кнопки Пуск, Стоп; KA – реле максимального тока; AT – автотрансформатор; T – повышающий трансформатор; R2 – переменное сопротивление для ограничения тока через трек; L – сигнальные лампа напряжения; K2 – блокировочные контакты двери ограждения.

Замыкание между электродами фиксируем с помощью защитного реле KA1, которое срабатывает при токе 0,5 А. Согласно ГОСТ 27473-87 считается, что трек сформировался, когда срабатывает защитное реле KA1, или если образец загорается без срабатывания защитного реле.

Установка для испытания изоляционного материала на трекингостойкость изображена на рис. 3. Она состоит из двух частей: первая – электрические элементы и аппараты, соединяемые по рис. 2; вторая – испытательная камера, в которой установлены образцы, электроды и капельница. Все элементы размещены в металлическом корпусе со смотровым окном для наблюдения за объектом испытания.



Рис. 3. Установка для испытания на трекингостойкость

В ходе работы было проведено испытание на трекингостойкость следующих материалов: кремнийорганическая изоляция, оргстекло, пластик ППТ, стеклотекстолит СТЗ, полиэтилен, поливинилхлорид.

Результат испытания

На рис. 4 приведены в качестве примера два испытанных образца стеклотекстолита. На рис. 4, а видна дорожка черного цвета (трек), образующаяся в результате перекрытия между электродами, при напряжении 175 В. На рис. 4, б показан образец стеклотекстолита после падения на него 100 капель электролита при напряжении 100 В. Видно, что след эрозии диэлектрика сформировался между электродами в виде канавки некоторой глубины, направленной вдоль плоскости электродов.

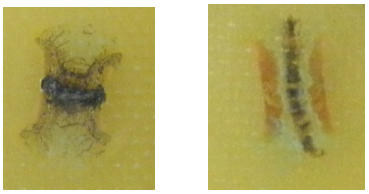


Рис. 4. Образцы после испытание на трекингостойкость

Результаты испытаний на трекингостойкость различных материалов представлены в табл. 1.

Таблица 1

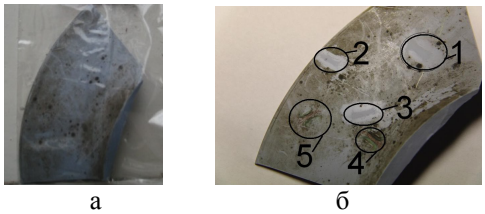
Сравнительный индекс трекингостойкости некоторых изоляционных материалов

Материалы	Испытательное напряжени, В	Количество капель не менее	Группа трекингостойкости
Кремнийорганический полимер	600	100	а, 1
Оргстекло	600	100	а, 1
Пластик ППТ	125	50	3б
Стеклотестолит СТЗ	125	50	3б
Полиэтилен	125	50	3б
ПВХ	100	50	3б

Из таблицы 1 видно, что лучшей трекингостойкостью обладают кремнийорганический полимер и оргстекло. Пластик ППТ, стеклотекстолит, полиэтилен и поливинилхлорид имеют значительно меньшую трекингостойкость по сравнению с кремнийорганической изоляцией.

Влияние грибковых образований

Как выше-сказано, на поверхности полимерных изоляторов, работающих во влажной среде имеются аномальные загрязнения в виде черных пятен (рис. 5, а).



а б

Рис. 5. Образец кремнийорганического изолятора с загрязнениями: а – до испытания, б – после испытания на трекингостойкость

С целью исследования природы этих загрязнений было выполнено микрофотографирование черных участок, как показано на рис. 6. Видно, что все пятна представляют собой плотное центральное тело (ядро) и вокруг множественные длинные нити. Это характерная картина колонии микроскопических грибов [2].

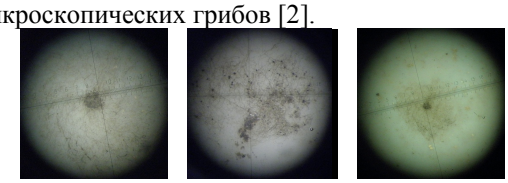


Рис. 6. Микрофотографирование загрязненных участок

Эти загрязненные участки подвергались испытанию на трекингостойкость. При испытании наблюдалось, что возникавшая искра ярче, чем при отсутствии грибов. Результат испытания показывает, что микроорганические грибы незначимо влияют на трекингостойкость кремнийорганического изолятора. Образцы выдерживают 100 капель электролита при приложении 600 В. На рис. 5, б иллюстрируется образец после испытания на трекингостойкость в 5 выделенных точках. Видно, что разрушаемые поверхности имеют неявно выраженный эрозионный характер без образования проводящего трека.

В результате проведенной работы сделан сопоставительный анализ различных диэлектриков по трекингостойкости. Показано, что оргстекло и кремнийорганический полимер обладают наивысшей трекингостойкостью по сравнению с другими полимерными материалами. Не обнаружено влияния грибковых образований на поверхности кремнийорганического полимера на его трекингостойкость.

Список литературы

1. ГОСТ 27473-87. Материалы электроизоляционные твердые. Метод определения сравнительного и контрольного индексов трекингостойкости во влажной среде. – Введ. 01.01.89. – М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1988, 6 с.
2. Кирцидели И.Ю., Соловьев Э.П., Ярмаркин М.К., Опорные полимерные изоляторы. Биологическая атака. // Журнал Новости Электротехники, №2 (56) 2009.- С. 58 – 61.

ТЕХНОЛОГИЯ PLC И НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

Николенко К.В., Юрченко А.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rubos_saboteur@mail.ru

О технологии PLC (Power Line Communication) или «Связь по электросети» так или иначе слышали многие, однако о реальных возможностях технологии осведомлено лишь небольшое количество специалистов. Отчасти это связано с информационной политикой производителей и невнятным маркетингом, который не учитывал российские реалии, отчасти виноваты болезни роста, поскольку первая и вторая версия стандарта работали не так хорошо, как хотелось бы. В этом обзоре представлен свежий взгляд на возможности этой интересной технологии, которая базируется на стандарте, одобренном UPA в 2006 году. Этот стандарт обеспечивает физическую скорость передачи данных до 200 Мбит/сек в режиме полу-дуплекс, что соответствует максимальной скорости передачи реальных данных 80 мбит/сек в полнодуплексном режиме. Максимальная скорость ниже пропускной способности FastEthernet из-за издержек на служебный трафик и избыточность данных для протокола коррекции ошибок.

PLC технологии сейчас находятся на этапе становления и бурного развития, особенно в Европе и США. В 2000 году был образован HomePlug Powerline Alliance – консорциум компаний производящих электрооборудование, поставщиков эл. энергии, провайдеров сетей (интернет и телевидение). И уже к 2005 году был создан стандарт HomePlug AV в котором требовались скорости передачи данных от 14 до 200 Mbit/s. Что уже значительно, но это можно считать 2-м поколением PLC.

В настоящее время технологии продвинулись еще дальше. И третье поколение PLC не заставит себя ждать. В феврале 2011 года (в момент написания статьи) принимается новый стандарт IEEE 1901. В этом стандарте не только еще больше повышаются скорость передачи данных и их надежность, но и применяются новые методы передачи. Так в PLC 2-го поколения (имеется ввиду HomePlug AV, деление на поколения условное и применяется автором для наглядности) применялась только ортогонального частотно-разделенного мультиплексирования (OFDM). В PLC 3-го поколения применяется уже Dual PHY, т.е двойной физический уровень передачи данных. И это действительно так: вместе с FFT OFDM применяется Wavelet OFDM modulation, т.е. ортогональное частотно-разделенное мультиплексирование, но с применением вейвлетов. Что позволяет в несколько раз поднять скорость передачи данных. И по расчетам специалистов с применением IEEE 1901 она должна достичь 500 Mbit/s. (!)

Суть технологии

Принципы работы PLC 3-го поколения не слишком отличаются от принципов 1 и 2-го поколений. Поэтому, для наглядности некоторые детали будут опущены, но сути технологии это не меняет.

Итак, основой технологии Powerline, или PLC, является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал.

При использовании обычного частотного мультиплексирования (FDM – Frequency-Division Multiplexing) защитные интервалы (Guard Band) между поднесущими, необходимые для предотвращения взаимного влияния сигналов, довольно велики, поэтому доступный спектр используется не очень эффективно.

В случае же ортогонального частотно-разделенного мультиплексирования (OFDM), центры поднесущих частот размещены так, что пик каждого последующего сигнала совпадает с нулевым значением предыдущих (рис. 1). Такое размещение позволяет более эффективно использовать доступную полосу частот.

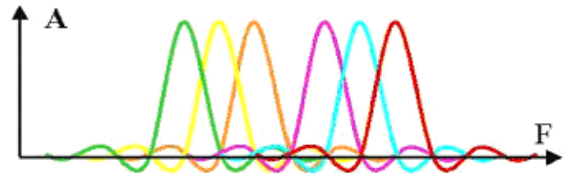


Рис. 1. OFDM

Перед тем как отдельные поднесущие частоты будут объединены в один сигнал, они претерпевают фазовую модуляцию, каждая – своей последовательностью бит.

После этого все они проходят через PowerPacket engine и собираются в единый информационный пакет, который еще называют OFDM-symbol. На рис. 2 приведен пример относительной квадратурной фазовой манипуляции (DQPSK – Differential Quadrature Phase Shift Keying) на каждой из 4-х поднесущих частот в диапазоне 4-5 МГц.

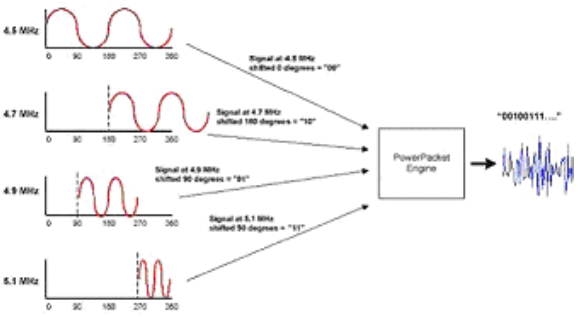


Рис. 2. DQPSK-модуляция

Реально в технологии Powerline используются 84 поднесущие частоты в диапазоне 4-21 МГц. Теоретическая скорость передачи данных при использовании параллельных потоков с одновременным фазовым модулированием сигналов составляет более 100 Мб/с. Адаптация к физической среде, устранение ошибок и разрешение конфликтов. При передаче сигналов по бытовой сети электропитания могут возникать большие затухания в передающей функции на определенных частотах, что приведет к потере данных.

В лабораторных условиях была построена АСКУЭ на этапе т.н. «последней мили» с применением оборудования компании «Инкотекс». Согласно проведенным исследованиям затухание PLC гораздо меньше ожидаемого. Получение PLC пакетов в рамках одной ТП составило 100%. Т.о. технология PLC как нельзя лучше подходит для локальных сетей сбора-передачи данных.

АСКУЭ осуществляет контроль не только за потреблением от городской сети, но и от солнечного энергетического комплекса мощностью 240 Вт. Учитывает сгенерированную и потребленную электроэнергию. За счет чего мы можем оценивать эффективность использование энергетического комплекса для освещения.

На отечественном рынке технология PLC известна прежде всего решениями типа «Домашняя сеть по электропроводке» которые представлены такими брендами как Zyxel, Dlink, Qlan. А также представлены системы сбора передачи данных в рамках АСКУЭ, сдесь существует перспектива объединения технологический сети сбора данных и коммерческой сети предоставления доступа. Плюсы применения PLC очевидны:

\+ нет необходимости прокладывать новые сети.

\+ готовая инфраструктура (электросети уже обслуживает электрокомпания, а значит нет необходимости увеличивать тариф)

Но у PLC есть и свои минусы. При этом существует множество неверных представлений о них. Давайте разберемся.

Мифы и факты о PLC

Технология PLC проделала непростой путь от непонятно работающих поделок до решений операторского класса. На этом пути в разное время у разных людей возникали различные впечатления, которые превратились в устойчивые мифы[1]. Рассмотрим некоторые из них:

- Технология PLC медленная и ненадежная.
- Существуют устройства, которые при включении «блокируют» всю сеть и с этим ничего сделать нельзя.
- После развертывания PLC сети возможно возникновение помех в радиостанциях.
- В России плохие электросети, поэтому у нас эта технология никогда хорошо работать не сможет.

На самом деле часть, а зачастую и все вышеперечисленное не соответствует действительности:

• Ранние версии стандартов работали недостаточно надежно. Третье поколение устройств может похвастать высокой надежностью, а алгоритмы и протоколы непрерывно совершенствуются в регулярно выпускаемых обновлениях программного обеспечения.

• Устройства, которые оказывают влияние на PLC, хорошо известны. Это мощные электродвигатели, используемые в кондиционерах, холодильниках, и т.п. Способы борьбы тоже известны – использование специализированных недорогих фильтров и правильный дизайн PLC сети.

• При передаче даже по очень хорошему силовому кабелю сигнал быстро затухает, при передаче же по воздуху, например в коттеджной застройке, сигнал не оказывает ощутимого влияния на технику, работающую в поселке, поскольку линии электропередач и оборудование достаточно удалены друг от друга;

• Существуют совершенно разные типы электросетей. Для технологии PLC важны материал, толщина проводов, их геометрия, качество соединений, количество разветвлений. В России была очень хорошая школа электроэнергетики. В некоторых местах электропроводка, проложенная 30-40 лет назад, и сейчас обслуживает потребителей, увеличивших свое потребление в несколько раз благодаря советскому запасу прочности.

Кроме мифов существуют и вполне определенные нюансы, вызванные физическими особенностями распространения сигнала, которые существенно сужают сферу применения решений на базе PLC.

• В алюминиевой проводке затухание сигнала сильнее, чем в медной, что сокращает дальность связи примерно в 2 раза.

• В подземных кабелях из-за свойств земли затухание сигнала в 2-3 раза больше. Однако на передачу сигнала в электросетях, в основном, влияет не ослабление, а уровень шума, который в подземных коммуникациях существенно ниже.

• Развертывание PLC зачастую дешевле т.к. нет необходимости проектировать и прокладывать дополнительные коммуникационные сети.

• Устройства маршрутизации не сложнее чем в LAN-сетях.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРУПП ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА «ЗВЕЗДА–ЗВЕЗДА» ПРИ НАЛИЧИИ ОБЩЕЙ НАГРУЗКИ

Осинцев А.А.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет
630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: osintsev@list.ru

Характер переходных процессов (ПП) в цепях трансформаторов тока (ТТ) имеет определяющее значение для устойчивости функционирования быстродействующих защит сосредоточенных объектов энергосистемы. При насыщениях сердечников ТТ, обусловленных апериодической составляющей первичного тока, происходит искажение входных сигналов защиты и, как следствие, возникает вероятность неправильного функционирования устройства.

Расчет ПП в таких условиях затрудняется из-за особенностей функционирования ТТ в группе, а также из-за взаимодействия между группами при наличии общей нагрузки. Таким образом, аналитическое исследование ПП в группах ТТ, даже при ряде допущений, является чрезвычайно трудоёмкой задачей, и даёт лишь приближенную оценку возможного протекания процессов. Как показывает практика, сочетание аналитического и модельного исследования ПП является наиболее эффективным. Аналитика используется для выделения наиболее тяжелых режимов с точки зрения устойчивости функционирования защиты, которые затем обсчитываются на математической модели.

В качестве моделируемой системы рассматриваются ТТ, соединенные по схеме «звезда» при наличии общей нагрузки у ТТ разных групп. В работе используется Г-образная схема замещения, в ветви намагничивания которой учитывается реальная усредненная нелинейная характеристика намагничивания сердечника [1]. Стоит также отметить, что в модели не учитывается влияние частных гистерезисных циклов и активных потерь на перемагничивание в связи с их малой значимостью при оценке функционирования дифференциальных защит.

Группам ТТ «звезда», работающим на общую нагрузку, соответствует схема замещения, представленная на рис. 1.

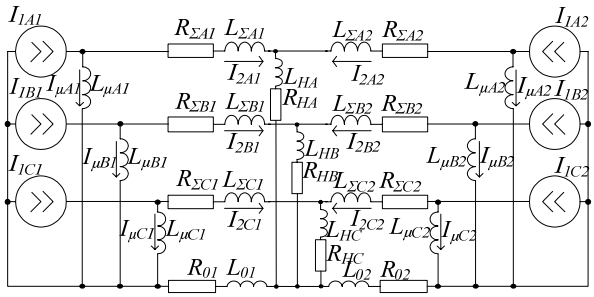


Рис. 1. Схема замещения групп ТТ «звезда» с общей нагрузкой

Обозначения, принятые на схеме замещения: I_{1ji} – первичный ток ТТ, приведенный ко вторичной стороне; $I_{\mu ji}$ – ток намагничивания ТТ; I_{2ji} – вторичный ток ТТ; $R_{\Sigma ji}$ – суммарное активное сопротивление нагрузки, подключенной к ТТ; $L_{\Sigma ji}$ – суммарная индуктивность нагрузки, подключенной к ТТ; R_{Hj} – активное сопротивление общей нагрузки в фазе; L_{Hj} – индуктивность общей нагрузки в фазе; R_{0i} – активное сопротивление нулевого провода группы ТТ; L_{0i} – индуктивность нулевого провода группы ТТ; $i = 1, 2$ – номер группы ТТ; $j = A, B, C$.

Процессы в ТТ, согласно представленной схеме замещения, описываются следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{d\Psi_{ji}}{dt} = L_{\Sigma ji}\dfrac{di_{2ji}}{dt} + R_{\Sigma ji}\cdot i_{2ji} + L_{Hj}\sum\limits_i \dfrac{di_{2ji}}{dt} + \\ \quad + R_{Hj}\sum\limits_i i_{2ji} + L_{0i}\sum\limits_j \dfrac{di_{2ji}}{dt} + R_{0i}\sum\limits_j i_{2ji}; \\ L_{\mu ji} = \dfrac{d\Psi_{ji}}{di_{\mu ji}}. \end{cases} \quad (1)$$

С учетом того, что

$$i_{2ji} = i_{1ji} - i_{\mu ji}, \quad (2)$$

введем вспомогательную переменную

$$S_{ji} = \Psi_{ji} + L_{\Sigma ji}\cdot i_{\mu ji} + L_{Hj}\sum_i i_{\mu ji} + L_{0i}j\sum_i i_{\mu ji} \quad (3)$$

и преобразуем первое уравнение системы (1) с учетом (2) и (3):

$$\frac{dS_{ji}}{dt} = L_{\Sigma ji}\frac{di_{1ji}}{dt} + R_{\Sigma ji}\cdot i_{2ji} + L_{Hj}\sum_i \frac{di_{1ji}}{dt} + \\ + R_{Hj}\sum_i i_{2ji} + L_{0i}\sum_j \frac{di_{1ji}}{dt} + R_{0i}\sum_j i_{2ji}. \quad (4)$$

Преобразуем второе уравнение системы (1):

$$\frac{d\Psi_{ji}}{dt} = L_{\mu ji}\frac{di_{\mu ji}}{dt}. \quad (5)$$

Подставим (5) в первое уравнение системы (1) и переместим все слагаемые, включающие токи намагничивания ТТ, в левую часть с учетом (2):

$$L_{ji}\frac{di_{\mu ji}}{dt} + L_{Hji}\frac{di_{\mu jk}}{dt} + L_{0i}\left(\frac{di_{\mu ni}}{dt} + \frac{di_{\mu pi}}{dt}\right) = \\ L_{\Sigma ji}\frac{di_{1ji}}{dt} + R_{\Sigma ji}\cdot i_{2ji} + L_{Hj}\sum_i \frac{di_{1ji}}{dt} + \\ + R_{Hj}\sum_i i_{2ji} + L_{0i}\sum_j \frac{di_{1ji}}{dt} + R_{0i}\sum_j i_{2ji}. \quad (6)$$

где $j = A,B,C$; $n = B,C,A$; $p = C,A,B$; $i = 1,2$; $k = 2,1$; $L_{ji} = L_{\mu ji} + L_{\Sigma ji} + L_{Hj} + L_{0i}$.

Запишем уравнение (6) в матричном виде:

$$M \cdot I'_{\mu} = N, \quad (7)$$

где $M = \begin{bmatrix} L_{A1} & L_{HA} & L_{01} & 0 & L_{01} & 0 \\ L_{HA} & L_{A2} & 0 & L_{02} & 0 & L_{02} \\ L_{01} & 0 & L_{B1} & L_{HB} & L_{01} & 0 \\ 0 & L_{02} & L_{HB} & L_{B2} & 0 & L_{02} \\ L_{01} & 0 & L_{01} & 0 & L_{C1} & L_{HC} \\ 0 & L_{02} & 0 & L_{02} & L_{HC} & L_{C2} \end{bmatrix}$

$$N = \begin{bmatrix} L_{\Sigma A1}\dfrac{di_{1A1}}{dt} + R_{\Sigma A1}\cdot i_{2A1} + L_{HA}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Ai}}{dt} + \\ \quad + R_{HA}\sum\limits_i i_{2Ai} + L_{01}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j1}}{dt} + R_{01}\sum\limits_j i_{2j1} \\ L_{\Sigma A2}\dfrac{di_{1A2}}{dt} + R_{\Sigma A2}\cdot i_{2A2} + L_{HA}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Ai}}{dt} + \\ \quad + R_{HA}\sum\limits_i i_{2Ai} + L_{02}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j2}}{dt} + R_{02}\sum\limits_j i_{2j2} \\ L_{\Sigma B1}\dfrac{di_{1B1}}{dt} + R_{\Sigma B1}\cdot i_{2B1} + L_{HB}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Bi}}{dt} + \\ \quad + R_{HB}\sum\limits_i i_{2Bi} + L_{01}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j1}}{dt} + R_{01}\sum\limits_j i_{2j1} \\ L_{\Sigma B2}\dfrac{di_{1B2}}{dt} + R_{\Sigma B2}\cdot i_{2B2} + L_{HB}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Bi}}{dt} + \\ \quad + R_{HB}\sum\limits_i i_{2Bi} + L_{02}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j2}}{dt} + R_{02}\sum\limits_j i_{2j2} \\ L_{\Sigma C1}\dfrac{di_{1C1}}{dt} + R_{\Sigma C1}\cdot i_{2C1} + L_{HC}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Ci}}{dt} + \\ \quad + R_{HC}\sum\limits_i i_{2Ci} + L_{01}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j1}}{dt} + R_{01}\sum\limits_j i_{2j1} \\ L_{\Sigma C2}\dfrac{di_{1C2}}{dt} + R_{\Sigma C2}\cdot i_{2C2} + L_{HC}\sum\limits_i \dfrac{di_{1Ci}}{dt} + \\ \quad + R_{HC}\sum\limits_i i_{2Ci} + L_{02}\sum\limits_j \dfrac{di_{1j2}}{dt} + R_{02}\sum\limits_j i_{2j2} \end{bmatrix}$$

Решение уравнения (7) имеет следующий вид:

$$I'_{\mu} = M^{-1}\cdot N \quad (8)$$

и представляет собой систему дифференциальных уравнений относительно производных от токов намагничивания ТТ по времени.

Матрица М содержит в себе нелинейные элементы $L_{\mu ji}$,отражающие нелинейность характеристик намагничивания сердечников ТТ. $L_{\mu ji}$ является дифференциальной индуктивностью, определяемой соотношением $L_{\mu ji} = d\Psi_{ji} / di_{\mu ji}$. По интерполяционному полиному $i_{\mu} = f(\Psi)$ характеристики намагничивания сердечника ТТ в точке характеристики, соответствующей текущему значению потока Ψ_{ji}, одним из методов численного дифференцирования определяется значение его производной по току намагничивания, которое и является текущим значением $L_{\mu ji}$.

Уравнение (4) также можно записать в матричном виде:

$$S' = N,$$

где S' – матрица-столбец левых частей (4).

Полную систему уравнений при взаимодействии между группами ТТ можно записать в виде:

$$\begin{cases} M \cdot I_{\mu}^{'} = N \\ S^{'} = N \\ L_{\mu ji} = f(\Psi_{ji}) \end{cases} \quad (10)$$

где Ψ_{ji} определяется из (3).

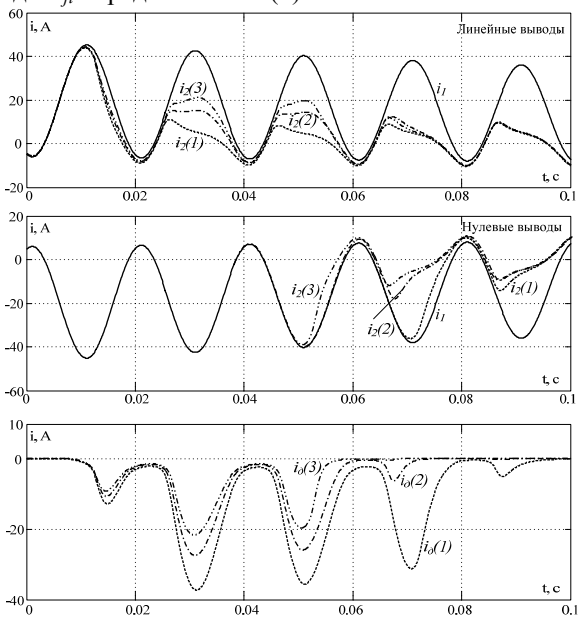


Рис. 2. Осциллограммы токов при внешнем КЗ(3)

Поскольку система (10) содержит дифференциальные уравнения, представленные в явной форме Коши, то она пригодна к непосредственному решению в пакете MATLAB. Такая математическая модель позволяет рассчитывать входные сигналы дифференциальной защиты при учете взаимодействия между группами, если известны первичные токи ТТ и остаточные индукции их сердечников.

В качестве примера на рис. 2 отображены результаты моделирования вторичных токов ТТ ТВТ-6000/5, установленных на выводах генератора ТВФ-63, для одной из фаз при внешнем трехфазном КЗ большой кратности. Осциллограммы показаны при различной величине общего активного сопротивления в дифференциальной цепи (1–0 Ом, 2–1 Ом, 3–2 Ом).

Таким образом, разработанные средства моделирования позволяют получать вторичные токи ТТ, поступающие в дифференциальную защиту, в сложных переходных режимах, что дает возможность исследовать устойчивость функционирования защиты при насыщениях ТТ.

Список литературы

1. Электрические цепи с ферромагнитными элементами в релейной защите / А.Д. Дроздов, А.С. Засыпкин, С.Л. Кужеков и др. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

ОКИСЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

Осокин Г.Е., Корнев Я.И.

Научный руководитель: Ушаков В.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2а
E-mail: jahivolt@mail.tomsknet.ru

Введение

Использование импульсных электрических разрядов для активации физико-химических процессов в растворах открывает перспективы создания новых технологий, отличающихся от традиционных методов простотой и высокой эффективностью. Одним из направлений использования электрических разрядов является обработка технологических растворов, используемых в гидрометаллургии при извлечении ценных компонентов из вмещающих пород методом выщелачивания.

Для таких технологических растворов характерна повышенная концентрация железа (III), которое является переносчиком электронов от выделяемого компонента к окислителю, что значительно увеличивает скорость реакции. В процессе выщелачивания железо восстанавливается до двухвалентного состояния и окислительно-восстановительный потенциал системы снижается, что замедляет процесс окисления ценного компонента. Для успешного протекания процесса необходимо введение окислителя в количестве, которое обеспечит поддержание оптимального соотношения $[Fe^{3+}]/[Fe^{2+}] > 1$ [1].

Известно, что импульсные разряды атмосферного давления во влажном воздухе являются эффективным источником сильных окислителей – озона (O_3), атомарного кислорода (O) и гидроксильных радикалов (·OH), а также оксидов азота (NOx) [2]. В данной работе приводятся результаты по окислению ионов двухвалентного железа в сернокислых растворах импульсными электрическими разрядами.

Методики эксперимента

Эксперименты проводились с применением модельных растворов, которые представляли собой водные растворы серной кислоты и сернокислого железа (II). Концентрация кислоты составляла от 1 до 2 г/л, концентрация ионов двухвалентного железа – от 0,5 до 1 г/л. В зависимости от концентрации серной кислоты начальный водородный показатель (pH) раствора варьировался от 1,6 до 2,2. Электрическая проводимость растворов составляла 9-10 мСм/см.

Для окисления железа использовались импульсный барьерный и искровой разряды.

Импульсный барьерный разряд зажигался между высоковольтными и заземленными электродами, изолированными друг от друга при помощи диэлектрических барьеров [3]. Расстояние между электродами составляло 3 мм. Параметры импульсов питающего напряжения: длительность 1 мкс, время нарастания 150 нс и амплитуда напряжения 25 кВ.

Искровой разряд возникает в виде высокотемпературного плазменного канала с высокой степенью ионизации. Межэлектродное расстояние составляло 10 мм. Значительная концентрация электронов (10^{16}-10^{17} $см^{-3}$) и активных частиц в канале разряда приводит к малому выходу озона и короткоживущих радикалов, но повышает выход соединений азота NOx [4]. В условиях эксперимента амплитуда напряжения пробоя составляла 25 кВ, амплитуда тока разряда – до 1000 ампер. Ток разряда носил характер затухающих колебаний с полупериодом 130 нс.

Эксперименты по активации технологических растворов проводились в реакторе с поперечным сечением 200х200 мм. Конструкция реактора представлена на рисунке 1.

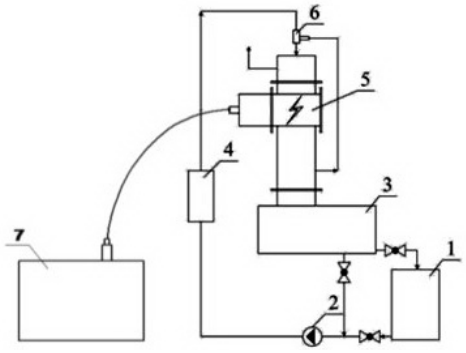


*Рис. 1. Установка электроразрядной обработки: 1 – бак исходного раствора, 2 – насос, 3 – бак–коллектор, 4 –расходомер, 5 –блок электроразрядной обработки, 6 – эжектор, 7 – генератор высоковольтных импульсов*Модельный раствор из бака исходного раствора 1 подавался наверх колонны в устройство диспергирования, откуда в виде капель диаметром 0,1-1,0 мм направлялся в блок электроразрядной обработки. Обработанный раствор накапливался в баке 3, после чего перекачивался в бак исходного раствора и процесс повторялся. Скорость подачи раствора в зону разряда составляла 50-70 л/час. Объем раствора составлял 30 литров. В обрабатываемых растворах анализировали pH, окислительно-восстановительный потенциал, концентрацию ионов железа (Fe^{2+} и Fe^{3+}) и концентрацию нитрат- и нитрит-ионов. В газовой фазе определялась концентрация озона.

Результаты и обсуждение

Концентрация озона

Озон является одним из конечных продуктов электрического разряда, а также важным индикатором протекающих в разряде физико-химических процессов.

Концентрация озона в газовой фазе при импульсном барьерном разряде снижается с увеличением электропроводности обрабатываемого раствора, и при значениях от 20 до 1500 мкСм/см падает с 7,8 до 0,9 г/кВт·час, а при значениях, присущих технологическим растворам выщелачивания (9-10 мСм/см), не превышает порога определения газоанализатора.

При обработке искровым разрядом озон не регистрировался при любой электропроводности раствора. Известно [4], что при увеличении энергии и температуры вещества в канале разряда начинают доминировать процессы образования оксидов азота (NOx) и распада озона.

Концентрация нитрат- и нитрит-ионов

Обработка искровым разрядом приводит к значительному увеличению концентрации нитрат- и нитрит-ионов в растворе по сравнению с обработкой барьерным разрядом (табл. 1).

Таблица 1

Образование ионов NO_2^- и NO_3^-

	Эффективность производства, г/кВт·час	
	БР	ИР
$[NO_3^-]$, мг/л	2,76	19,3
$[NO_2^-]$, мг/л	0,1	13,2

Увеличение концентрации азотсодержащих ионов при прочих равных условиях свидетельствует о большей концентрации оксидов азота в газовой фазе при искровом разряде.

Концентрация ионов Fe^{3+}

Сравнительные исследования показывают, что в кислой среде при прочих равных условиях искровой разряд оказывается предпочтительнее барьерного для окисления железа. Эффективность окисления железа в барьерном разряде была равна 4,5-6,0 г/кВт·час, в то время как для искрового разряда она составила 25-35 г/кВт·час.

Непосредственное влияние плазмы искрового разряда на обрабатываемый раствор, по всей видимости, незначительно, учитывая малые геометрические размеры искрового канала по сравнению с размерами реактора. Короткоживущие активные частицы (радикалы O, OH, HO_2 и др.), образую-

щиеся в разряде, имеют времена жизни порядка десятков микросекунд и радиус диффузии, сравнимый с размерами разрядного промежутка (порядка нескольких мм) [5], поэтому их влияние, по всей видимости, невелико.

Таким образом, более высокая эффективность искрового разряда, наблюдаемая в экспериментах, вероятнее всего, обусловлена повышенной концентрацией азотсодержащих частиц.

Механизм окисления железа в электрических разрядах

При электрическом пробое воздушного промежутка происходит образование монооксида азота, при этом лимитирующей стадией является разрыв связи в молекуле N_2.

$$N2 + e \rightarrow N + N + e;\ E = 9{,}0\ эВ. \quad (1)$$

Известно [4], что процесс образования атомарного азота протекает быстрее при большей плотности электронов, что может наблюдаться при искровом пробое. После разрыва молекулы азота происходит образование молекулы оксида азота по цепному механизму реакции:

$$N+O_2 \rightarrow NO + O; \quad (2)$$

$$O + N_2 \rightarrow NO + N; \quad (3)$$

Образовавшийся монооксид азота может быть впоследствии окислен до высших оксидов кислородом воздуха либо продуктами разряда.

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2; \quad (4)$$

Основными окислителями железа (II) являются оксид азота NO_2 и азотистая кислота HNO_2, образующаяся при растворении NO_2 в воде. Окисление железа может протекать по следующей реакции:

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + NO_2 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + NO + H_2O. \quad (5)$$

Образовавшийся монооксид азота снова окисляется по реакции (4).

Выводы

При обработке сернокислых технологических растворов импульсным электрическим разрядом концентрация озона незначительна. Окисление железа в искровом разряде происходит более эффективно, что может говорить о доминирующей окислительной роли азотных частиц. При этом наблюдается последействие: процесс окисления протекает длительное время после окончания электроразрядной обработки.

Установлено, что электрический разряд является перспективным инструментом окисления железа в технологических растворах. Эффективность окисления железа составляет до 35 г/кВт·час в искровом разряде и до 6 г/кВт·час в барьерном разряде.

Список литературы

1. Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием и другими геотехнологическими методами. Москва : Атомиздат, 1981.
2. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. Москва : Издательство Московского университета, 1989. 5-211-00415-9.
3. Kornev J., Yavorovsky N., Preis S. et al. Generation of active oxidant species by pulsed dielectric barrier discharge in water-air mixtures. Ozone: Sci. Eng. 2006 г., Т. 28, 4.
4. Fridman, A. Plasma chemistry. New York : Cambridge University Press, 2008. ISBN-13 978-0-511-39857-5.
5. Ono R., Tesuji Oda. Measurement of Hydroxul radicals in an atmospheric pressure discharge plasma. IEEE Trans. on Ind. Applications, 2000 г., Т. 36, 1.

РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ РЕЗЕРВНОЙ СТУПЕНИ ТОКОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Прутик А.Ф.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет; 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lex@tpu.ru

Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности (СТЗНП), как правило, выполняется в виде четырех ступеней. В этом виде, первая ступень является наиболее быстродействующей, но охватывает только часть защищаемой линии. Основными ступенями являются вторая и третья, зона действия которых распространяется на всю линию. Оценка технической эффективности (ТЭ) данных ступеней достаточно подробно рассмотрена, например, в [1]. В данной работе рассматриваются особенности оценки ТЭ для четвертой ступени, наиболее чувствительной, резервирующей и обладающей наибольшей выдержкой времени.

Уставка анализируемой ступени отстраивается от тока небаланса фильтра нулевой последовательности в рабочем режиме и обязательно согласуется по времени, в ряде случаев и по току, с резервными ступенями защит предыдущих линий (возможно согласование с третьей ступенью, но в этом случае практически трудно обеспечить чувствительность). Зона действия распространяется на защищаемую

линию и элементы первой периферии сети в направлении действия. Названые отличия учитываются в приведенном выражении технического эффекта (1) через вероятности событий:

$$E=p(\mathrm{A})+\sum_{\mathrm{п}=1}^{n_{\mathrm{п}}} p(\mathrm{A}_{\mathrm{п}})-\left[\begin{array}{l} p(\mathrm{O})+\sum_{\mathrm{п}=1}^{n_{\mathrm{п}}} p(\mathrm{O}_{\mathrm{п}})+ \\ +p(\mathrm{Л}_{\mathrm{ар}})+p(\mathrm{Л}_{\mathrm{нпф}}) \\ +p(\mathrm{Л}_{\mathrm{э}}) \\ +\sum_{\mathrm{п}=1}^{n_{\mathrm{п}}}\sum_{\mathrm{пп}=1}^{n_{\mathrm{пп}}} p(\mathrm{И}_{\mathrm{п\text{-}пп}}) \end{array}\right], \quad (1)$$

где А – состояние КЗ на пространстве защищаемого объекта (ЗО) и предыдущих (индекс «п») элементов; О, Л – события отказов и ложных действий канала РЗ соответственно; И – событие излишних действий, пп – на предыдущем к предыдущему элементу; нижние индексы для различения событий ложных действий: э – в эксплуатационных условиях, ар – в асинхронных режимах, нпф – в неполнофазных режимах.

Вероятности состояния КЗ, отказов и ложных действий определяются аналогично [1]:

$$p(\mathrm{A})=\omega^{\mathrm{кз}(1,4)}\mathrm{m}(T^{\mathrm{IV}}),$$

$$p(\mathrm{A}_{\mathrm{п}})=\omega_{\mathrm{п}}^{\mathrm{кз}(1,4)}\mathrm{m}(T^{\mathrm{IV}}),$$

где $\omega^{\mathrm{кз}(1,4)}$ параметр потока однофазных и двухфазных КЗ на землю, $\mathrm{m}(T^{\mathrm{IV}})$ – средняя продолжительность устранения КЗ рассматриваемым каналом РЗ (фактически, временная уставка четвертой ступени).

Вероятности отказов определяются через вероятности состояния защищаемого элемента сети и условные вероятности с использованием метода селекции границ и интервалов данных [2]:

$$p(\mathrm{O})=p(\mathrm{O/A})p(\mathrm{A}),\ p(\mathrm{O}_{\mathrm{п}})=p(\mathrm{O}_{\mathrm{п}}/\mathrm{A}_{\mathrm{п}})p(\mathrm{A}_{\mathrm{п}}).$$

Определение вероятности отказов на предыдущем элементе поясняет рис. 1.

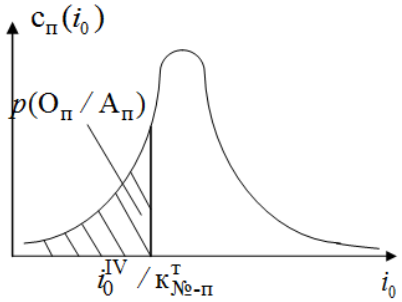


Рис. 1. Определение условной вероятности отказов $p(\mathrm{O}_{\mathrm{п}}/\mathrm{A}_{\mathrm{п}})$ при КЗ на предыдущем элементе: $\mathrm{к}^{\mathrm{т}}_{\mathrm{№\text{-}п}}$ – коэффициент токораспределения, представляющий собой отношение тока через защиту на защищаемом элементе (№) и элементе, с защитой которого производится согласование (п)

• Вероятности ложных действий также определяются произведением условной вероятности, определенной по методу СГИД, и безусловной вероятности соответствующего состояния: $p(\mathrm{Л}_{\mathrm{э}})=p(\mathrm{Л}_{\mathrm{э}}/\mathrm{Э})p(\mathrm{Э})$, $p(\mathrm{Л}_{\mathrm{ар}})=p(\mathrm{Л}_{\mathrm{ар}}/\mathrm{АР})p(\mathrm{АР})$, $p(\mathrm{Л}_{\mathrm{нпф}})=p(\mathrm{Л}_{\mathrm{нпф}}/\mathrm{НПФ})p(\mathrm{НПФ})$ [1].

• Вероятности излишних действий (ИД) целесообразно рассмотреть с привлечением рисунка 2, на котором показан фрагмент электрической сети. Излишними действиями для четвертой ступени комплекта СТЗНП на конце к=1 элемента №, являются действия при КЗ в зоне второй периферии: линия пп=1 и трансформатор пп=2 на рисунке. При этом рассматриваемый комплект СТЗНП взаимодействует с сонаправленными в действии РЗ установленными на данных элементах (на концах к=1). В свою очередь, последние при КЗ имеют области действия и отказа в действии.

Рассмотрим составляющую излишних действий при КЗ на элементе второй периферии пп=1, относящейся к предыдущему элементу п=1.

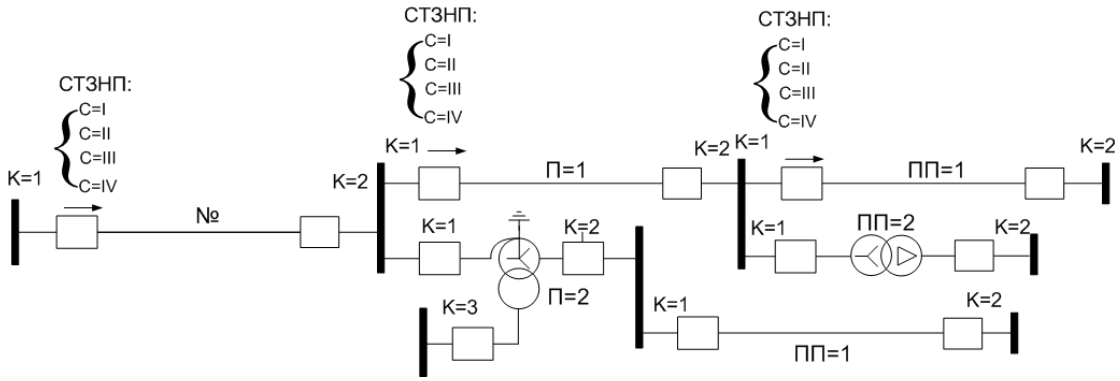


Рис. 2. Размещение релейных защит в сети: на линиях №, п=1, пп=1 с концами к=1 и к=2; на автотрансформаторе п=2 с выводами к=В, к=С, к=Н

В отличие от основных ступеней, резервирующая четвертая ступень взаимодействует, как было отмечено выше, в большинстве случаев с резервной ступенью предыдущей линии в связи с трудностью обеспечения чувствительности в случае ее согласования с основными ступенями. Поэтому излишние действия анализируемой ступени элемента № имеют место только в случае отказа в действии предыдущих однонаправленных резервирующих ступеней элемента п=1 и предыдущего к нему пп=1. Из отмеченного следует выражение для расчета ИД (2), которое поясняет рис. 3.

$$p(\text{И}) = \sum_{\text{п}=1}^{n_{\text{п}}} \left\{ p(\text{О}^{\text{IV}}_{\text{п-№}}/\text{ВКЗ}) p(\text{ВКЗ}) \right\}, \qquad (2)$$

где ВКЗ – событие внешнего КЗ по отношению к рассчитываемому каналу защиты.

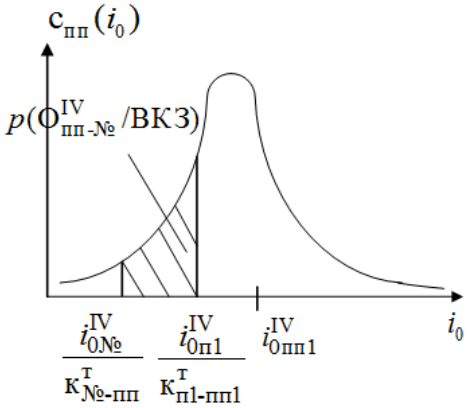


Рис. 3. Определение вероятности излишних действий четвертой ступени при КЗ на предыдущем элементе пп

В том случае если токовая уставка анализируемой ступени РЗ в координатах второй периферии пп=1 оказывается более грубой, чем взаимодействующие с ней, излишние действия отсутствуют (рис. 4)

В последнем случае, область излишних действий имела бы место, если учесть вероятность отказа элемента блокирования (в данном случае – элемента выдержки времени). Однако данные отказы связаны с аппаратной частью РЗ, не относящейся к функциональной эффективности РЗ, которая, с практической точки зрения автора, должна рассматриваться обособленно.

Таким образом, рассматриваются излишние действия на всех элементах второй периферии, который затем суммируются, согласно выражению (1). При этом возможен учет удельного веса каждого элемента на результирующую эффективность рассчитываемого канала РЗ.

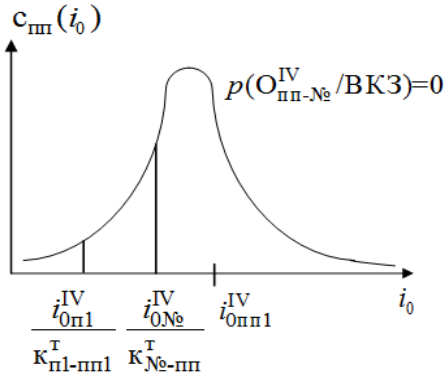


Рис. 4. Определение вероятности излишних действий четвертой ступени при КЗ на предыдущем элементе пп

Список литературы

1. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов и программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество. №12. 2009 г. – с. 19-26.
2. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Развитие вероятностного метода селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы пятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 264 с. – с. 36-38.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТК НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ SIMULINK

Сергеев Р.В., Мастерова О.А.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Мастерова О.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:roman3262@yandex.ru

В настоящее время в ЕЭС России актуальные проблемами функционирования линий электропередач в значительной степени обусловлены недостаточным объемом средств регулирования напряжения и реактивной мощности. Самым перспективным и эффективным средством решения данных проблем во всем мире признаны технологии гибких (управляемых) линий электропередач FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System).

Для использования данных технологий необходимо правильно определить, какое именно уст-

ройство FACTS (СТК, СТАТКОМ, ОПРМ, ФПТ) наиболее целесообразно использовать для достижения максимального эффекта при минимальных капиталовложениях в каждом конкретном случае.

В данной работе проведено исследование влияния одного из FACTS-устройств, а именно статического тиристорного компенсатора, на модели, созданной в математической системе Matlab с использованием пакета имитационного моделирования Simulink.

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК, мировое обозначение SVC) имеют возможность в непрерывном режиме и практически мгновенно в соответствии с запросами сети вводить емкостную или индуктивную составляющую, таким образом регулируя напряжение сети и поддерживая необходимый уровень генерации реактивной мощности.

Сущность управления реактивной мощностью заключается во встречно-параллельном включении тиристоров в цепь реактора и (или) конденсаторной батареи. При полностью открытых тиристорах ток в цепи реактора или конденсаторной батареи максимальный. Изменением угла управления тиристорами этот ток можно уменьшить до нуля.

Мощность СТК определяется по соотношению:

$$Q\,стк = Q\,кб - Qp,$$

где $Qкб$ – мощности конденсаторной батареи; $Q\,p$ – мощности реактора.

Мощность СТК может изменяться от потребления до выработки (в пределах диапазона регулирования) за 1-2 периода промышленной частоты при практически неизменном напряжении на выходе СТК.

При $Qкб > Qp$ СТК выдает реактивную мощность в сеть, при $Qкб < Qp$ СТК потребляет реактивную мощность из сети.

Моделирование управляемой электропередачи, содержащей СТК (рис. 1) наиболее целесообразно проводить в среде инженерных расчетов Matlab/Simulink с использованием встроенной библиотеки «SimPowerSystem», содержащей широкий набор блоков элементов для имитационного моделирования электротехнических устройств [1].

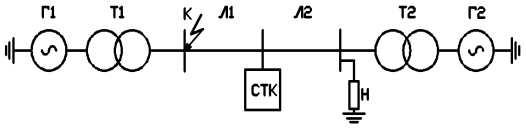


Рис. 1. Схема управляемой электропередачи

Это дает возможность моделировать различные измерительные устройства, получать осциллограммы токов и напряжений различных фаз, определять перетоки мощности в линиях. Так же данная библиотека содержит готовые модели некоторых FACTS-устройств, в частности СТК. Использование всех этих элементов позволяет получать достоверные данные о влиянии СТК режим работы электропередачи.

Ниже представлена схема модели СТК, (рис. 2) имеющаяся в библиотеке блоков «SimPowerSystem».

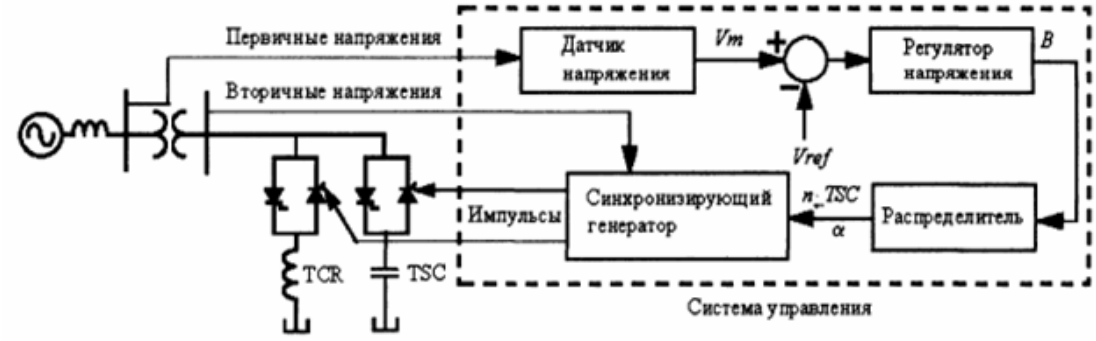


Рис. 2. Схема управления СТК реализованная в пакете имитационного моделирования Simulink

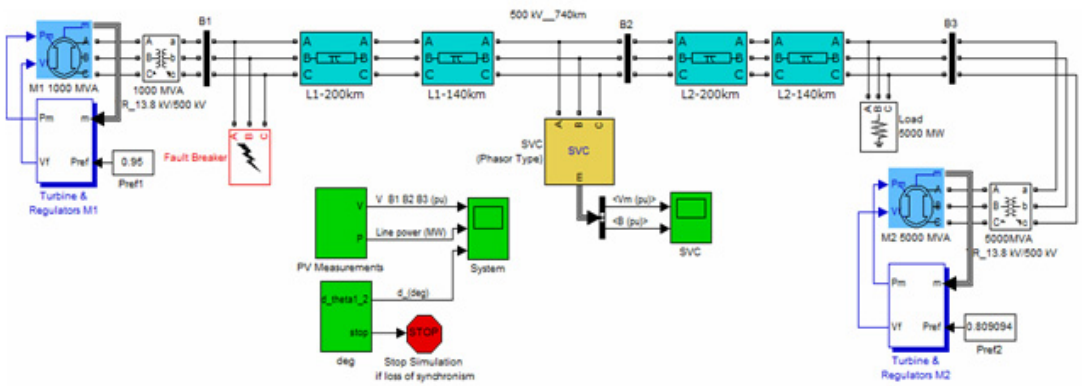


Рис.3. Модель управляемой электропередачи реализованная в пакете имитационного моделирования Simulink

Основу СТК составляют реакторно-тиристорные и конденсаторно-тиристорные блоки. Устройство управления тиристорами СТК, обеспечивающее изменение реактивной мощности от потребления до выработки (в пределах диапазона регулирования), состоит:

- из датчика напряжения, измеряет напряжение которым необходимо управлять;
- стабилизатора напряжения, определяет реактивную проводимость системы TSC, необходимую для поддержания постоянства линейного напряжения;
- распределителя, определяет группу тиристоров на которую должны подаваться импульсы управления, а также угол управления тиристорами;
- синхронизирующего генератора, вырабатывает импульсы управления тиристорами [2].

Анализ влияния СТК на режим работы управляемой электропередачи проводился по следующим параметрам:

- уровень стабилизации напряжения в точке подключения;
- пропускная способность линии;
- влияние на переходный процесс в аварийных режимах.

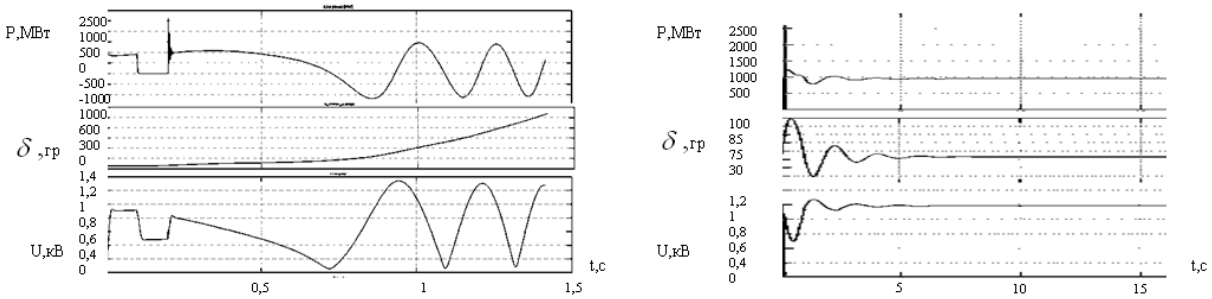


Рис.4. Переходные процессы в линии 500 кВ: а) при трехфазном КЗ без установки СТК; б) при трехфазном КЗ с установкой СТК

На рис. 4 показаны переходные процессы в линии 500 кВ при трехфазном КЗ.По результатам эксперимента сделаны выводы.

С помощью СТК удается добиться стабилизации напряжения в точке подключения устройства при значительных увеличениях передаваемой мощности по линии, а также при различных видах коротких замыканий.

Установка СТК позволяет увеличить предаваемую мощность по линии.

Использование СТК оказывает значительное влияние на переходные процессы позволяя добиться сохранения динамической устойчивости.

Список литературы

1. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: НЦ ЭНАС, 2002. – 257 с.: ил.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem, Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОРМОЖЕНИЯ КАК МЕРЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Снегирева К.К.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: snegirevakaterina@sibmail.com

Главное свойство релейной защиты (РЗ) – селективность в настоящее время неполно развито в части приспособленности к свойствам конкретного контролируемого объекта в составе электрической сети. Это приводит к недостаточно адекватной настройке РЗ, осуществляемой специалистами (расчетчиками) помощью экпертно-руководящего метода, что не учитывает всех особенностей инфраструктуры компонентов и района сети, в которую входит защищаемый объект. И также не позволяет правильно учесть потери от помех, возникающие в процессе эксплуатации этой защиты.

Наиболее полноценное и качественное решение проблемы селективности при настройке и эксплуатации систем РЗ может быть получено в

рамках обобщенного показателя, выраженного в максимуме технического эффекта. Технический эффект для любой РЗ, в том числе дифференциальной токовой защиты трансформаторов и автотрансформаторов (ДТРЗ), определяется разностью потенциального эффекта – вероятности короткого замыкания (КЗ) на защищаемом объекте p(A) и вероятностью потерь p(П), определяемых отказами срабатывания, ложными и излишними действиями: $E = \mathrm{p(A)} - \mathrm{p(П)}$. Алгоритм расчета данного критерия разрабатывается на протяжении последних лет в Томском политехническом университете (ТПУ), который использует метод селекции границ и интервалов исходных и выходных данных (СГИД) для определения полных вероятностных характеристик, разработанный также в ТПУ [1].

Построение современных дифференциальных токовых защит осуществляется в виде двух ступеней: чувствительной и грубой, что является одним из мероприятий по снижению потерь [2]. Эти каналы, как и в других средствах РЗ, функционируют независимо друг от друга. Формула расчета технического эффекта функционирования дифференциальных защит (чувствительного канала – верхний индекс «ч») через вероятности потенциального эффекта и потерь имеет следующий вид:

$$E^{\text{ч}}_{\text{№}} = \mathrm{p(A_{№})} - \mathrm{p(O^{ч}_{№})} - \mathrm{p(Л^{чэ}_{№})} - \mathrm{p(Л^{чар}_{№})} - \mathrm{p(Л^{чнам}_{№})} - \mathrm{p(И^{ч}_{№})},$$

где буквой p обозначены вероятности событий, А – КЗ на защищаемом объекте №, О – функциональные отказы срабатывания ДТРЗ, Л – ложных, И – излишних действий данной защиты; нижний индекс №, означает также номер дифференциальной защиты защищаемого объекта, а в верхнем индексе, кроме обозначения «ч», имеют место дополнительные обозначения: э – рабочего эксплуатационного состояния, ар – асинхронного режима, нам – броска тока намагничивания.

Все указанные составляющие как вероятности состояний могли бы быть определены в виде произведения параметра потока соответствующих состояний неправильных действий защиты $\omega_{\text{№}}$ на среднюю продолжительность обнаружения и отключения дифференциальной защитой КЗ на защищаемом объекте $\mathrm{m(T_{№})}$, например: $\mathrm{p(A_{№})}=\omega_{\text{№}} \cdot \mathrm{m(T_{№})}$. Однако данный расчет затруднен тем, что параметры потоков редкостных событий (отказов, ложных действий при асинхронных режимах, бросках тока намагничивания, а также излишних действий) являются статистически непредставительными. Поэтому целесообразно безусловные вероятности потерь рассчитывать через совмещение их с событиями более представительными (по методу СГИД): т.е. в виде произведения условной вероятности интересующей потери при условии соответствующего состояния на безусловную вероятность этого состояния, которую возможно определить как произведение соответствующего параметра данного события на среднюю продолжительность работы ДТРЗ. Например, вероятность отказов срабатывания защиты совмещается с вероятностью КЗ на защищаемом объекте:

$$\mathrm{p(O^{ч}_{№})}=\mathrm{p(O^{ч}_{№}/A_{№})} \cdot \mathrm{p(A_{№})}=\mathrm{p(O^{ч}_{№}/A_{№})} \cdot \omega_{\text{№}} \mathrm{m(T_{№})}.$$

Аналогично рассчитывается вероятность излишних действий защиты – с вероятностью возникновения внешнего КЗ, а ложных действий – с асинхронным режимом и броском тока намагничивания.

Результатом расчета технической эффективности, определяемой как отношение технического эффекта (E) к вероятности наличия КЗ на защищаемом объекте (области действия (p(A)): $E^* = \mathrm{E} / \mathrm{p(A)}$, является кривая зависимости $E^* = f(\mathrm{y})$, представленная на рисунке 1, где y – это значение уставки рассматриваемой РЗ, полученное путем перебора. Максимальная точка кривой со значением технической эффективности, приближающимся к 100%, является объективным однозначным критерием правильно и оптимально выбранной уставки.

выбранной уставки

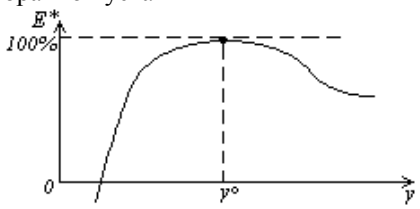


Рис. 1. Упрощенный график зависимости $E^* = f(\mathrm{y})$, *где* y^{o} *– оптимальное значение уставки*

Чтобы снизить количество функциональных излишних действий, при этом обеспечить высокую чувствительность в дифференциальных защитах используется различные виды торможения (загрубления) от сквозного тока при внешних КЗ. Торможение осуществляется путем автоматического увеличения значения уставки срабатывания защиты пропорционально доле от суммы протекающих токов в плечах защиты. Указанное позволяет обеспечить высокую чувствительность при малых токах внутреннего повреждения, также обеспечивает адекватное торможение при внешних КЗ, сопровождающихся протеканием разных, в том числе больших сквозных токов, когда может иметь место сильное насыщение измерительных трансформаторов тока в одном из плеч защиты, возникает неадекватное торможение.

Важной особенностью реализации современных цифровых продольных дифференциальных защит трансформаторов и автотрансформаторов является использование дифференциально-фазного принципа построения торможения для повышения чувствительности и уменьшения потерь излишних действий [3]. В этом случае тормозной ток определяется с использованием наи-

большего из токов трех плеч I_1' по выражению: $I_т = \sqrt{I_1' I_2' \cos\alpha}$. $\cos\alpha$ определяется углом между $\underline{I}_1', -\underline{I}_2'$. Ток I_2' находится по выражению: $I_2' = \left|\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 - \underline{I}_1'\right|$, где $I_д = \left|\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3\right|$ – сумма токов, протекающих по обмоткам защищаемого автотрансформатора (или трехобмоточного трансформатора) в момент КЗ. Тормозной ток $I_т$ формируется только при положительном значением $\cos\alpha$, т.е. при внешнем КЗ, при котором угол $\alpha < \pi/2$ (при одинаковых условиях положительных направлений сквозных токов $\underline{I}_1', \underline{I}_2'$ с обеих сторон защищаемых обмоток трансформатора). При КЗ в защищаемом трансформаторе или автотрансформаторе, при котором $\cos\alpha < 0$ (при мнимом значении квадратного корня) тормозной ток не формируется.

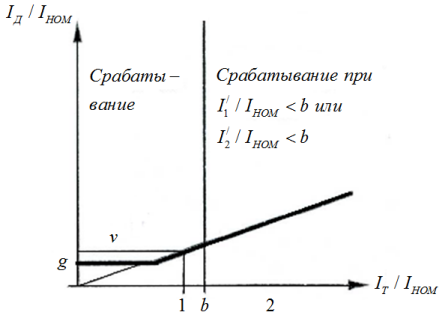


Рис. 2. Тормозная характеристика терминала RET 316

Выше приведена тормозная характеристика терминала RET 316 как наглядного представителя нового поколения релейных защит. Как видно на рисунке 2 данная тормозная характеристика имеет три области срабатывания защиты, что позволяет предусмотреть различные варианты событий.

Отличительной особенностью является наличие уставки *b* – запрет действия защиты (блокировка) при ограниченной кратности тока внешнего КЗ.

Благодаря данному дифференциально-фазному принципу построения торможения в рассматриваемых защитах трансформаторов и автотрансформаторов, удается полностью избежать появления таких потерь как излишние действия при внешних КЗ, обеспечивая при этом высокую чувствительность.

Представленная методика расчета технической эффективности показывает возможность качественной оценки настройки релейных защит сетей, основанной на количественной вероятностной мере. А применение дифференциально-фазного принципа построения торможения позволяет снизить суммарные потери защиты, т.е. повысить ее техническую эффективность.

Список литературы

1. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики», 2008, № 7 – 8/1. – с. 146 – 157.
2. Снегирева К.К. Технической эффективность дифференциальной защиты трансформаторов и автотрансформаторов. – НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 4-х частях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. Часть 2 – 358 с.
3. Аржанников Е.А., Аржанникова А.Е. Выбор параметров срабатывания микропроцессорных защит трансформаторов и линий: учеб. пособие/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2007. – 154 с.

ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Темербаев С.А., Дербенев А.М.

Научный руководитель: Довгун В.П., д.т.н., профессор

Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий
660074, Россия, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского, 26
E-mail: seregat89@gmail.com

Введение

В последнее время все больше внимания уделяется проблеме качества электроэнергии. Под качеством электрической энергии (ЭЭ) понимается степень соответствия параметров электроэнергии их установленным значениям [1]. Проблемы, связанные с качеством ЭЭ, в первую очередь вызваны увеличением числа устройств, создающих гармоники тока и напряжения, частоты которых кратны основной частоте (50 Гц). Такие гармоники называются высшими. Источниками высших гармоник является нелинейная нагрузка: выпрямители, системы бесперебойного питания, тиристорные регуляторы, газоразрядные осветительные устройства, электродуговые печи, электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения и т.д. [2].

Влияние высших гармонических составляющих на качество ЭЭ можно оценить с помощью специальных показателей. В России показатели качества электрической энергии (ПКЭ) и методика их расчета определена ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [3]. К показателям качества электроэнергии в стандарте относят:

- установившееся отклонение напряжения δU_y;
- размах изменения напряжения δU_t;
- доза фликера P_t;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U};
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U};
- отклонение частоты Δf;
- длительность провала напряжения $\Delta t_П$;
- импульсное напряжение $U_{имп}$;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{пер\ U}$.

Отклонение перечисленных показателей качества электрической энергии от нормы может вызвать массу нежелательных эффектов: повреждение оборудования, перегрев аппаратуры, наводки в управляющих сетях, резонансы.

Для определения параметров качества электроэнергии используются специальные приборы – анализаторы электропотребления, или анализаторы качества электроэнергии. Использование этих дорогостоящих приборов оправдано для решения практических задач. Однако для научных исследований и учебных целей необходимы измерительные системы с открытым программным обеспечением.

В докладе рассмотрена альтернатива современным приборам, это информационно – измерительная система для определения ПКЭ, реализованная в среде LabVIEW.

Обзор виртуального прибора LabVIEW для определения ПКЭ

Прежде всего, разработанная система отвечает следующим требованиям:

- открытый код, что позволяет изменять и совершенствовать алгоритмы расчета.
- модульная структура, т.е. расчет каждого показателя качества электроэнергии выполняется в отдельном модуле.

На рис. 1 представлена лицевая панель виртуального прибора LabVIEW.

Разработанный виртуальный прибор позволяет определять:

- установившееся отклонение напряжения δU_y

$$\delta U_y = \sqrt{\frac{1}{12}\left[\left(\sqrt{3}U_{AB} + \sqrt{4U_{BC}^2 - \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB}\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}}\right)^2\right]},$$

где U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – действующие значения междуфазных напряжений основной частоты.

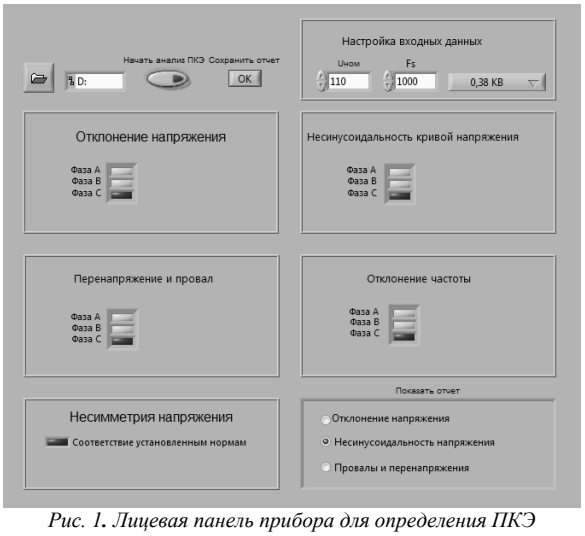


Рис. 1. Лицевая панель прибора для определения ПКЭ

- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}{U_{(1)}}} \cdot 100,$$

где $U_{(1)}$– действующее значение междуфазного (фазного) напряжения основной частоты, $U_{(n)}$ – действующее значение напряжения n–ой гармоники.

- коэффициент n–ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n}$

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100.$$

- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U}

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100,$$

где $U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы, $U_{1(1)}$. – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты.

- отклонение частоты Δf

$$\Delta f = f_y - f_{ном},$$

где $f_{ном}$ – номинальное значение частоты, f_y – усредненное значение частоты за 20 с.

- длительность провала напряжения $\Delta t_П$

$$\Delta t_П = t_K - t_H,$$

где t_H, t_K – начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

- коэффициент временного перенапряжения $K_{пер\ U}$

$$K_{пер.U} = \frac{U_{a\max}}{\sqrt{2}U_{ном}},$$

где $U_{a\ max}$ – максимальное значение напряжения при резком его изменении.

Методика расчета каждого из показателей соответствует методике, определяемой в [3].

Отдельно нужно отметить такой показатель качества электроэнергии как коэффициент *n*-ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$, потому как именно этот показатель характеризует уровень высших гармоник. Для расчета этого показателя и определения спектрального состава входного сигнала в приборе используется быстрое преобразование Фурье, а так же исследована возможность использования других алгоритмов цифрового спектрального оценивания.

Входными данными для расчета является файл формата .txt или .csv, хранящий в себе массив значений осциллограммы кривой напряжения с известной частотой дискретизации. На лицевой панели прибора указывается путь к файлу с данными, номинальное напряжение и частота дискретизации.

Отчет несинусоидальности напряжения

	NormDop	PredelDop	95%	Max	Sootvetstvie
0	0,38	0,57	0,12	0,14	1,00
1	100,00	150,00	100,00	100,00	0,00
2	2,00	3,00	0,86	0,95	1,00
3	5,00	7,50	0,86	0,93	1,00
4	1,00	1,50	0,88	0,94	1,00
5	6,00	9,00	0,87	0,93	1,00
6	0,50	0,75	0,86	0,91	0,00
7	5,00	7,50	0,85	0,92	1,00
8	0,50	0,75	0,86	0,93	0,00
9	1,50	2,25	0,84	0,92	1,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Рис. 2. Отчет о коэффициенте n-ой гармонической составляющей

В результате расчета в соответствующих окнах загораются зеленые индикаторы, если показатель соответствует нормам в [3]. Так же на лицевой панели прибора можно подробно посмотреть отчет об отклонении напряжения, несинусоидальности кривой напряжения, зафиксированных провалах и перенапряжениях (рис. 2). Все отчеты можно сохранить в html файл в виде таблиц.

Заключение

Постоянное увеличение числа нелинейных устройств, являющихся источниками высших гармоник, делает проблему качества электрической энергии одной из важнейших в области энергосбережения.

Разработанный виртуальный прибор может использоваться в научных и исследовательских целях как альтернатива современным анализаторам ПКЭ. Благодаря открытому коду и модульной структуре может успешно применяться для обучения, как виртуальный лабораторный стенд. В дальнейшем планируется усовершенствовать прибор, добавить возможность анализа ПКЭ в режиме реального времени.

Список литературы

1. ГОСТ 23875-88. Качество электрической энергии. Термины и определения.
2. Карташев И.И., Тульский В.Н.Управление качеством электроэнергии. – М. издательский дом МЭИ 2006.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кехтарнаваз Н., Ким Н. Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием LabVIEW. – М. «Додека – XXI» 2007

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЕЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Токарев И.С.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tokarevisgtt@sibmail.com

Расчеты установившихся режимов (УР) являются основными при решении задач, связанных с проектированием и эксплуатацией электрических систем (ЭС). Результаты этих расчетов используются при планировании режимов и оперативном управлении ЭС, а также служат базой для выполнения оптимизации, анализа устойчивости и надежности.

В настоящее время актуальность задач расчета установившихся режимов возросла вследствие создания автоматизированных систем диспетчерского и противоаварийного управления на базе ЭВМ.

Появились также новые задачи, связанные с определением пределов и запасов статической устойчивости. Необходимость решения этих задач непосредственно в цикле управления ЭС на основе информации, получаемой по каналам телемеханики, потребовала разработки новых методов расчета УР в реальном масштабе времени.

Исходную информацию, необходимую для расчета установившегося режима ЭС, можно разделить на три группы.

В первую входят параметры схемы замещения, к которым относятся: сопротивления линий электропередачи (ЛЭП), коэффициенты трансформации, шунты намагничивания и сопротивления трансформаторов, емкостные проводимости ЛЭП и индуктивные реакторов. Указанные элементы энергосистемы связывают в единую схему путем задания информации о топологии ЭС.

Вторую группу образуют данные о нагрузках ЭС, которые могут задаваться в виде эквивалентных шунтов, постоянных отборов мощности, статических характеристик, зависящих от напряжения и частоты.

Третья группа информации складывается из данных об источниках электроэнергии: активных мощностей P и модулей U напряжений синхронных генераторов (СГ), снабженных автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ); реактивных мощностей Q СГ, не имеющих АРВ; статизмов σ результатов скорости первичных двигателей и т.д.

В результате расчета УР определяются модули U_i и фазы δ_i напряжений в узлах сети, перетоки (P_{ij}, Q_{ij}) и потери (ΔP_{ij}, ΔQ_{ij}) активных и реактивных мощностей, токи Iij в ЛЭП, частоты f в системе.

Данные о генерирующих мощностях и нагрузках называются независимыми переменными. Результаты же расчета являются зависимыми переменными.

В задании любой независимой переменной, как правило, имеет место погрешность. Это приводит к некоторой неопределенности результатов расчета. Величина погрешности сильно зависит от того, насколько далеко вперед прогнозируется схемно-режимные ситуации в ЭС.

Существенно влияет на результаты расчетов УР и погрешность в задании коэффициентов трансформации. В настоящее время информация о текущих значениях параметров режима собирается в различных точках энергосистемы и передается в диспетчерские центры с помощью телемеханических устройств. Эта информация, тем не менее, не является абсолютно достоверной, т.к. является неполной (охватить всю энергосистему телеизмерениями нельзя по экономическим соображениям), содержит погрешности, обусловленные измерительными приборами и разновременностью измерений, может содержать грубые ошибки, связанные с отказами датчиков и каналов передачи информации. За счет избыточного количества измерений в некоторых районах энергосистемы обычно удается значительно повысить достоверность данных о текущем режиме ЭС. Это делается с помощью специальных алгоритмов оценивания состояния. Однако элемент неопределенности здесь все же остается.

Решение системы нелинейных уравнений установившегося режима возможно только приближенными, итерационными методами. При этом весьма важным является надежность получения решения, если оно существует. С другой стороны, учитывая большую размерность задачи, весьма острым требованием является быстродействие итерационных процедур. Эти требования находятся в противоречии друг с другом, и любой из много численных методов расчета потокораспределения является компромиссным с точки зрения надежности или быстродействия.

Другая особенность состоит в том, что учет ограничений на параметры режима (например, на диапазоны изменения реактивных мощностей генераторов) приводит к необходимости замены некоторых уравнений системы в ходе самого расчета. Это порождает дополнительное множество альтернативных решений и усложняет сходимость итерационных процедур.

Современные энергосистемы (ЭС) характеризуются концентрацией значительных мощностей на отдельных станциях, объединенных на параллельную работу линиями электропередачи большой протяженности. Сложность схем и многообразие режимов работы ЭС приводит к необходимости применения непосредственно в цикле оперативного управления энергосистемами развитых средств информационной и вычислительной техники.

Одна из важнейших задач оперативного управления ЭС состоит в обеспечении статической устойчивости (СУ) нормальных и, особенно, послеаварийных режимов. Именно ограничения по статической устойчивости определяют, в основном, допустимую область управления режимами. Проблема анализа СУ возникает и в практике проектирования энергосистем, а также при настройке устройств автоматического регулирования для отдельных элементов ЭС. Поэтому от корректности расчетов СУ и принимаемых на основе их результатов решений непосредственно зависят как уровень надежности работы энергосистем, так и полнота использования пропускной способности электрических сетей.

Основой для анализа устойчивости являются результаты расчетов предельных по СУ режимов. Для повышения эффективности расчетов предельных режимов (ПР) требуется создание математических моделей и методов, достаточно полно учитывающих специфику уравнений, описывающих установившиеся режимы.

Проблема расчетов установившихся режимов для задач проектирования, краткосрочного и долгосрочного планирования в сложных ЭС, содержащих сотни и тысячи узлов, в основном решена. Существующее программное обеспечение, благодаря широкому применению современных методов учета слабой заполненности матриц , обеспе-

чивает достаточное для указанного класса задач быстродействие.

Применение корректирующих коэффициентов в методе Ньютона, а также использование алгоритмов, учитывающих нелинейные члены разложения функций невязок в ряд Тейлора, позволило решить проблему надежной сходимости итерационных процессов при расчете «тяжелых» режимов, близких к предельным по устойчивости. В результате расчеты режимов по базовым схемам ЭС, содержащим более тысячи узлов, происходят за минуты, а по оперативным схемам, включающим несколько сотен узлов – за десятки секунд.

Однако в настоящее время все более актуальными становятся задачи, связанные с расчетом предельных режимов и оценкой запасов СУ непосредственно в цикле оперативного управления ЭС. Это приводит к необходимости разработки эффективных методов и алгоритмов, обеспечивающих как высокое быстродействие, так и надежность получения результата. Это вызвано тем, что при оперативном управлении расчеты ПР должны проводится в темпе процесса изменения схемно-режимной ситуации, а адекватная работа централизованных систем противоаварийной автоматики (ПАА) требует просмотра большого количества аварийных ситуаций за весьма короткое время, обусловленное значительной скоростью изменения параметров режима. Поэтому требуется разработка новых подходов, более полно учитывающих специфику задач оперативного управления.

Одним из таких методов является критерий Найквиста по обеспечению статической устойчивости энергосистем, который позволяет строить режимные характеристики без процедуры линеаризации, что значительно ускоряет процесс анализа частотных характеристик.

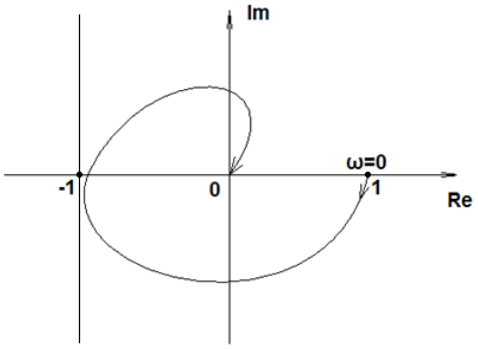


Рис. 1. График определяющий границы устойчивости энергосистемы по критерию

Список литературы

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических систем. – М.: Энергия, 1977.
3. Хрущев Ю.В. Методы расчета устойчивости энергосистем: Учебное пособие. – Томск, 2005.
4. Веников В.Н., Строев В.Н., Идельчик В.И., Тарасов В.И. Оценка статической устойчивости электрических систем на основе решения уравнений установившегося режима. – Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1971, №5.
5. Баринов В.А. Определение запаса статической апериодической устойчивости сложных электроэнергетических систем. – Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1973, №1.
6. Жуков П.А., Стратин И.П. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем: Методы расчетов. – М.: Энергия, 1979.

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Толубаев В.В.

Научный руководитель: Семенов С. М., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vitaliy281088@sibmail.com

При эксплуатации электрических сетей можно столкнуться со следующими проблемами: кратковременные импульсы при включении дополнительных потребителей, снижение и повышение напряжения сети при изменении величины подключенной к ней нагрузки, длительное отключение питания потребителей при авариях. Всё это может привести к негативным последствиям: выходу из строя оборудования (как промышленного, так и бытового), потери данных (сервера, ЭВМ и т.д.), нарушению технологического процесса на производстве, а как следствие к экономическим потери. Наиболее опасно отключение медицинского оборудования, систем пожаротушения и вентиляции, так как это может привести к получению персоналом травм или более серьезным последствиям.

Качество электроэнергии в электрических сетях определяется ГОСТ 13109 – 97. Стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения). Основными контролируемыми параметрами ГОСТ 13109 – 97 являются:

- напряжение;
- частота сети;
- коэффициент нелинейных искажений формы напряжения.

Стоит отметить, что показатели и нормы КЭ для электрических сетей в России ниже требований к качеству электроэнергии европейских стран.

Нынешнее оборудование, наряду с активным использованием инновационных технологий, становится все более капризным в отношении потребляемой энергии. Броски напряжения и перебои в электроснабжении негативно отражаются на стабильном качестве работы, а то и на исправности приборов, офисного и промышленного оборудования. Поэтому, в настоящее время, вопросу об обеспечении потребителей качественной электроэнергией уделяется повышенное внимание [1].

Для решения проблем обеспечения качественной электроэнергией однофазных нагрузок необходимо применять источники бесперебойного питания (ИБП). Основными схемами их исполнения являются следующие: «on-line», «off-line», «line interactive».

Принципы работы всех трех систем различны. Наиболее эффективно обеспечивают потребителя качественной электроэнергией системы «on-line» и «line interactive». Для нагрузок средних мощностей используются «line interactive», так же они называются ИБП с регулированием напряжения. На рис. 1. представлена функциональная схема ИБП.

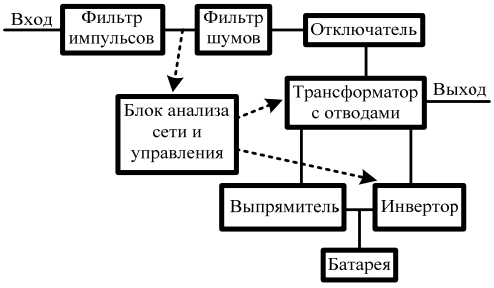


Рис. 1. Схема ИБП типа «line interactive»

Одной из составляющих такой системы является логический блок анализа сети и управления – главный элемент ИБП с регулированием напряжения, отличающим его от источника с переключением («off-line»). Для управления взаимодействующих с сетью источников обычно используются недорогие микропроцессоры, применение которых позволяет возложить на ИБП массу новых, дополнительных функций.

Прежде всего, блок анализа служит не только для измерения действующего значение напряжения сети (как это делает управляющая схема ИБП с переключением), но и для постоянного контроля формы синусоиды. Для этого в состав блока анализа сети включают специальный элемент – аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Несколько раз за полупериод АЦП производит измерение мгновенного значения напряжения сети (рис. 2).

В случае пропажи питания в системах «off-line» и «line Interactive» происходит переключение нагрузки от сети на питание от инвертора. В этот момент возможно искажение формы синусоиды питающего напряжения (рис. 3).



Рис. 2. Результат измерения мгновенного значения напряжения сети



Рис. 3. Осциллограмма питающего напряжения при переключении «сеть-батарея»

Для защиты ответственных потребителей, где недопустима даже кратковременная потеря электропитания используют системы «on-line». ИБП, действующие по схеме «on-line», в отличие от систем «off-line» и «line interactive», дают уверенность, что не будет перерывов в снабжении электропитанием, даже в случае его отсутствия в сети или переключения на аварийный режим в системах «off-line» и «line Interactive», а также не будет искажена форма питающего напряжения. Для этого используется технология двойного преобразования питания, которая позволяет непрерывно преобразовывать переменный ток основной сети в постоянный, который используется для заряда батареи, прежде чем быть поданным через инвертор, для преобразования обратно в переменный ток для питания. Это гарантирует отсутствие времени переключения при возникновении проблем с питанием от основной сети, а также обеспечивает компенсацию «просадок» (снижение напряжения на линии) – проблемы, с которой не могут справиться системы типа «off-line». В большинстве случаев питание основной сети пропадает не вдруг, но за несколько периодов. По мере падения напряжения «просадка» компенсируется батареей ИБП типа «on-line». Инвертор не обнаруживает различий даже в случае смешения напряжения батареи и постоянного тока, полученного от основной сети. Если полностью прекратилась подача питания от основной сети, вся нагрузка пере-

ключается на работу от батареи. Что касается требовательных к КЭ потребителей, то для них не происходит никаких изменений в подаче напряжения и синусоидальный сигнал на выходе постоянно синхронизирован с основной сетью [2, 3].

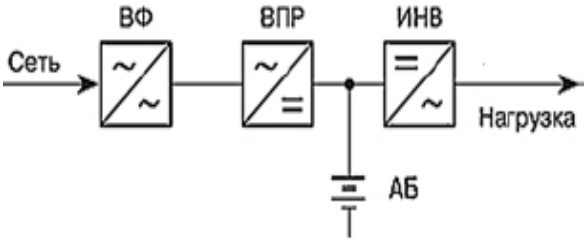


Рис. 4. Функциональная схема силовой части ИБП типа «on-line»

На рис. 4 представлена функциональная схема силовой части ИБП типа “on-line”. Так как это источник с двойным преобразованием энергии, то сеть заходит через вводный фильтр (ВФ) и попадает на выпрямитель (ВПР), который преобразует переменный ток в постоянный. Постоянный ток потом поступает на инвертор (ИНВ), и на заряд аккумуляторной батареи (АБ). В нормальном режиме работы ИНВ питается от ВПР, в аварийном режиме от АБ. Нагрузка подключена к выходу переменного тока источника. Среди всех перечисленных достоинств, таких как простота, высокое качество электроэнергии, отсутствие искажений формы синусоиды питающего напряжения, для данного типа ИБП следует отметить существенный недостаток – постоянная работа полупроводниковых приборов в выпрямителе и инверторе, а также то, что двойное преобразование электроэнергии ведет к снижению КПД всего устройства.

Основными техническими характеристиками ИБП данного типа являются:

- мощность подключаемой нагрузки;
- отклонение выходного напряжения $U_{вых} \pm 5\%$;
- коэффициент нелинейных искажений $< 5\%$;
- время автономной работы с максимальной нагрузкой.

В заключении можно отметить, что применение ИБП в снабжении электроэнергией современных потребителей является обязательным на сегодняшний день. Тип источника следует выбирать исходя из требований потребителей к качеству электропитания. Потребность в использовании источников приводит к появлению тенденции их развития и совершенствования как в плане материалов и комплектующих, так и в плане технологий.

Список литературы

1. Журнал «Электронные компоненты» №6.2008;
2. Журнал «Электронные компоненты» №7.2003;
3. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания / Сергеев Б. С./ Справочник. – М.: Радио и связь, 1992. – 224 с.

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Федорова Е.А.

Научный руководитель: Коломиец Н.В., доцент, к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yekaterinaverevkina@ymail.com

Вопрос выбора оптимального режима электроснабжения является одной из актуальных проблем современной электроэнергетики. Использование автономных систем электроснабжения является одним из возможных путей решения электрификации отдаленных объектов и районов. Такой метод электроснабжения широко используется на объектах нефте- и газодобывающей отрасли, а также в отдаленных населенных пунктах (районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Восточной Сибири, где живет около 20 процентов населения страны).

В системах автономного электроснабжения процессы выработки и потребления мощности связаны более тесным образом, чем в объединенных энергосистемах. При условии, что автономная электростанция удовлетворяет потребности своего предприятия с учетом требуемого резерва мощности, это позволяет выбрать для нее в качестве нормального режима работы как режим параллельной работы с энергосистемой, так и режим автономной работы. Следует отметить, что при выборе автономного режима работы электростанции, возникает вопрос о выборе подварианта автономного режима работы:

- автономная работа электростанции с возможность подключения к сети на параллельную работу в случае дефицита мощности в автономной системе электроснабжения;
- автономная работа электростанции осуществляется при условии переключения электропри-

емников с электростанции на энергосистему и обратно с разрывом цепи питания [1].

В настоящее время системы автономного электроснабжения наиболее часто встречаются на объектах нефтегазовой отрасли. Для обеспечения процессов добычи, переработки, транспортировки и хранения нефти и газа требуются огромные энергозатраты. Так, например, для обеспечения нужд объектов ОАО «Газпром» требуется порядка 15млрд кВт/ч ежегодно, причем большую долю составляет электроэнергия полученная от более чем 50 энергосистем России, и только около 7% от требуемого объема генерируется на собственных автономных системах электроснабжения, которые в большей своей части представлены газотурбинными электростанциями, или электростанциями, работающими на привозном топливе (уголь, мазут, дизель). Такая ситуация наблюдается практически на всех предприятиях нефтегазовой отрасли, что делает их энергозависимыми от внешних источников, и ставит под угрозу безопасность всех процессов, связанных с добычей нефти и газа.

Основными потребителями электроэнергии на данных предприятиях являются приводы маслонасосов, вентиляторов, насосов, средств технологической автоматики газоперекачивающих агрегатов, связи, автоматизированная система управления и других машин, задействованных в процессе добычи, транспортировки и хранения нефти и газа.

Эти установки относятся к потребителям особой группы по надежности и бесперебойности электроснабжения. Нарушение электроснабжения этих электроустановок ведет к аварийным остановкам добычи и как следствие невыполнению поставленного плана, т.е. экономическим издержкам нефтегазовых компаний. Значительная протяженность высоковольтных сетей, значительная удаленность месторождений нефти и газа от сетей единой энергосистемы, являются основными преградами на пути повышения надежности и экономичности электроснабжения этих объектов.

В связи с этим многими компаниями было принято решение об увеличении мощностей вырабатываемых на автономных станциях. На примере ОАО «Газпром» видно, что основными целями наращивания собственных мощностей является:

- энергетическая безопасность объектов добычи, транспортировки и переработки газа, повышение экономической эффективности энергообеспечения всей инфраструктуры ОАО «Газпром», включая вспомогательные объекты;
- реализация политики ресурсосбережения, имея в виду использование имеющегося утилизационного потенциала и ряда перспективных технических решений;
- -получение дополнительной прибыли за счет возможной продажи излишков вырабатываемой электроэнергии и тепла сторонним потребителям [2].

В основу создания нового типа электрогенерирующего оборудования положены три основных принципа: энергоэффективность, экологическая безопасность, энергосбережение.

Наиболее выгодным вариантом электроснабжения является генерирование мощностей на электростанциях и установках газотурбинного или газопоршневого типа. Генерируемая мощность в этом случае лежит в диапазоне от 0,5 до 25 МВт. Топливом для установок такого типа является попутный нефтяной газ, выделяемый при добыче нефти в больших количествах. Этот газ, в большинстве случаев, сжигается в факелах, т.е. утилизируется, не неся никакой пользы, а также загрязняя окружающую среду.

Использование этого газа для обеспечения электроснабжния месторождений и сторонних потребителей может дать значительный энергетический, экологический и в некоторой степени экономический эффект.

Экономической особенностью автономных систем электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли является то, что основной целью их функционирования не является получение экономической прибыли от продажи электроэнергии [3].

Современные автономные электростанции, имеющие в качестве первичного двигателя газотурбинную установку, имеют в своем составе редуктор, через который происходит согласование оборотов вращения вала турбины и вала электрогенератора. Это обусловлено различием скоростей вращения турбины и генератора.

Максимальная скорость вращения электрогенератора ограничена сверху и не может превышать 3000 об/мин, данное ограничение установлено, т.к. генерирование напряжения должно осуществляться с неизменной частотой 50 Гц. Но для турбины вращения с частотой 3000 об./мин является неприемлемым по техническим характеристикам, и оптимальному режиму работы, т.е. оптимальным технически характеристикам, соответствует частота вращения, в пределах 6000–24000 об./мин. В этих условиях при соединении вала турбины с валом электрогенератора наличие редуктора является обязательным. Наличие редуктора приводит к увеличению веса и габаритов устройства, появлению люфта между турбиной и генератором и ряду других нежелательных явлений.

К недостаткам, существующим у автономных электростанций выполненный по схеме «турбина-генератор» относятся наличие редуктора, который ухудшает надежность схемы в целом. Можно сказать, что одним из перспективных направлений при создании новых схемных решений является введение в структуру автономной электростанции преобразователя частоты, установленного между выходными выводами генератора и выходными выводами установки. Это позволяет коренным образом изменить условия работы первичного двигателя и генератора, и устраняет недостатки, вызванные наличием редуктора в схеме.

Введение в схему преобразователя частоты позволяет снять ограничения по скорости вращения генератора, что позволяет соединить турбину и генератор непосредственно без редуктора. При этом генерация электроэнергии осуществляется с частотой значительно превышающей промышленную частоту. Повышение рабочей частоты генератора позволяет выполнить его с меньшими габаритами и более высоким электрическим КПД.

Наличие преобразователя частоты в схеме автономной электростанции в качестве частотозадающего органа позволяет получать напряжение частотой 50 Гц с любой требуемой точностью, в этом случае на стабильность частоты не будут влиять изменения нагрузки и параметры работы сети.

Введение в схему автономной станции преобразователя частоты позволяет решить три принципиально важные задачи:

- обеспечиваются качественные параметры генерируемого напряжения по частоте и напряжению в соответствии с ГОСТ во всех режимах работы;
- -возможность создания турбогенераторов по схеме единый вал без редуктора, при работе на оборотах значительно более высоких, чем 3000 об./мин;
- увеличение перегрузочной способности генератора [2].

Данные мероприятия повышают надежность электростанции. Следует также отметить и тот факт, что при автономном электроснабжении значительно снижаются токи короткого замыкания в 2-5 раз, т.к. отсутствует подпитка места короткого замыкания от системы.

Объекты автономной или «малой» энергетики нашли свое применение не только на промышленных объектах РФ, они используются в качестве третьего источника питания для объектов особой группы электроприемников, больниц. Источником энергии для них могут служить не только газ, но также дизельное топливо. Особо следует отметить тенденцию использования автономных электростанций использующих нетрадиционные источники энергии, ветроэлектрические установки и солнечные батареи.

Список литературы

1. Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя. – М.: ЭЛЕКС-КМ, 2005. – 408 с.: ил.
2. О концепции сотовой энергетики применительно к объектам газовой промышленности. http://energotexnika.san.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=48:soten&catid=56:entpress&Itemid=82
3. Салманов Ф.К., Шпилевой В.А. Нефтяной газ – на энергетику нефтедобычи. Геология нефти и газа, 1992, №12, с. 32-34.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОВМЕЩЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Коржнева Т.Г., Дырдина А.В., Филимонова Ю.В.

Научные руководители: Ушаков В.Я. профессор, д.т.н., Овчаров А.Т., профессор, д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tigra1988@sibmail.ru

Развитие энергетики до недавнего времени не встречало принципиальных трудностей. Увеличение производства энергии происходило в основном за счет увеличения добычи нефти и газа, угля. Поэтому сейчас все труднее становится сохранить высокий темп развития энергетики путем использования лишь традиционных ископаемых источников энергии.

Но дело не в близком их исчерпании – тревожит в первую очередь пагубное влияние использования невозобновляемых энергетических ресурсов на среду обитания человека. Главный недостаток сжигаемого на тепловых электростанциях (ТЭС) ископаемого горючего – загрязнение окружающей среды вредными выбросами.

Нерациональное потребление энергетических ресурсов привело к экологическим катастрофам. В мире отмечается закономерный рост количества природных катастрофических явлений, которые являются следствием нарушения энергетического баланса Земли. В последние годы внимание мирового сообщества привлекает глобальное изменение климата, основной причиной которого, по мнению специалистов, является действие парникового эффекта. Эти изменения связывают с увеличением вредных выбросов в атмосферу, в первую очередь двуокиси углерода (CO_2), а также других веществ.

Климатические изменения в ближайшие 50 лет могут поставить около четверти наземных животных и растений на грань вымирания. По оценкам ученых, к 2050 г. с лица Земли могут исчезнуть до 1 млн. особей флоры и фауны. В результате погибнет, по меньшей мере, одна особь из десяти. Эти потери неизбежно негативно скажутся на условиях жизнедеятельности человека.

Несмотря на принимаемые в последние годы рядом государств мер, не удается сократить загрязнение окружающей среды за счет энергетических и связанных с ними отраслей.

В связи с этим, вопросы энергетической эффективности во всех сферах социальной и производственной деятельности человечества приобрели особую актуальность.

Так, суммарное потребление энергии человечеством в наше время превышает 120 миллиардов МВтч/год. Необходимо отметить, что около 40% мирового объема вырабатываемой энергии расходуется на эксплуатацию зданий, что составляет 50 миллиардов МВтч/год энергии. В статьях энергетических расходов по эксплуатации зданий расходы электроэнергии на освещение и отопление занимают лидирующее положение – около 60% (рис. 1), т.е. порядка 30 миллиардов МВтч/год ЭЭ расходуется на освещение и кондиционирование капитальных строений в мире [1].



Рис. 1. Типичные затраты энергии

Эти обстоятельства определяют возрастающую роль возобновляемых источников энергии, широкое использование которых не приведет к нарушению экологического баланса Земли.

В развитие энергосберегающего подхода к проектированию освещения привлекает возможность использования энергии, которую дарит солнце, поскольку солнечная радиация – это практически неограниченный ресурс, доступный повсеместно. Независимость от сетей центрального электроснабжения и ситуаций с кризисными явлениями теоретически открывает безграничные возможности в развитии сетей освещения.

В долгосрочной перспективе реальной альтернативы солнечной энергетике нет. Уже сейчас она показала свою зрелость и готовность к широкому внедрению.

Использование современных достижений позволяет создать экономически выгодную осветительную установку.

Инновационная концепция автономной автоматизированной системы совмещенного освещения базируется на экологической и энергетической эффективности применяемых технологий, технических решений и на использовании солнечной энергии. Автоматизированная система управления совмещенным освещением интегрирует в единый комплекс источники естественного и искусственного освещения, создает высокое качество световой среды.

Основным элементом комплекса является система естественного освещения – Solatube Daylightning System. Естественный свет попадает на купол и с помощью системы линз передается вниз по световоду, многократно отражаясь, поступает в помещение через рассеиватель, встроенный в потолок. Световод изнутри имеет многослойное интерференционное покрытие, обеспечивающее рекордную отражающую способность 99,7%. Уникальные свойства покрытия обеспечивают эффективное поступление видимого излучения и препятствуют передаче тепловой и ультрафиолетовой составляющих солнечного света.

Купол световода способен улавливать не только прямые солнечные лучи, но и собирать свет всей полусферой, обеспечивая необходимый уровень освещения помещения даже в облачные дни, зимние месяцы, раннее утро и к концу дня, когда солнце не поднимается высоко над горизонтом. Эти свойства системы позволяют в течение светлого времени суток исключить искусственное освещение в помещениях и обеспечить естественное освещение высокого качества: высокое качество цветопередачи, однородность и равномерность освещенности, отсутствие пульсаций.

Когда естественного света не достаточно для поддержания необходимого уровня освещенности, начинает работать система искусственного освещения, для питания которой используется энергия солнца, преобразованная солнечными батареями в электрическую, накопленную в аккумуляторах.

Автоматика необходима для регулирования и поддержания постоянного нормируемого уровня освещенности в помещении.

Дополнительным средством для энергоэффективной установки являются энергосберегающие характеристики светодиодной светотехники, которые предопределили предпочтение к ее использованию.

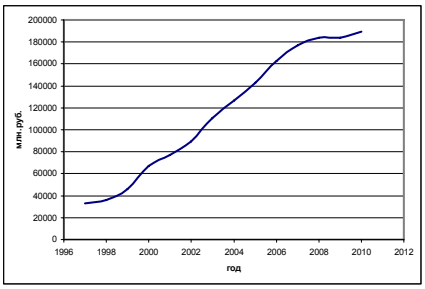


Рис. 2. Текущие затраты на охрану окружающей среды Российской Федерации

Использование данного комплекса во всем мире позволит высвободить 7,5% ЭЭ от общей потребляемой ЭЭ, а это 9 млрд. МВтч/год. 23% от этого объема позволит сэкономить система Solatube. Установка обойдется в 6420 млрд. долл. Оставшуюся часть будут вырабатывать солнечные батареи. Для выработки 6,95 млрд. МВтч/год потребуется солнечные станции общей мощностью 5345ГВт, что составит 34743 млрд. долл. Использование такой системы в глобальных масштабах

позволит сэкономить 41,5 млрд. баррелей нефти в год. Расходы в мире на предотвращение глобального потепления превышают 350 млрд. долл. в год, которые непрерывно возрастают и к 2020г. увеличатся на 30%, к 2050 г. – на 60%. Природные катаклизмы и катастрофы, инициированные изменением климата планеты в результате глобального потепления вынуждают расходовать миллиарды долларов ежегодно на ликвидацию последствий экологических катастроф.

Например, по данным РФ за последние 14 лет, текущие затраты на охрану окружающей среды увеличились в 5,5 раз [2].

В настоящее время стоимость преобразователей энергии солнца в свет и ЭЭ пока достаточно высока, но прогнозируя темпы нарастания последствий экологических катастроф эти затраты в скором времени станут ничтожно малыми. С другой стороны, если не делать ничего, то в недалеком будущем изменения климата будут стоить самому существованию жизни на земле. Если в настоящее время срочно не принять меры – уже через 20 лет на ликвидацию последствий потепления придется тратить триллионы долларов. Поэтому убытки от глобального потепления могут стать большими, чем потери от Первой и Второй мировых войн вместе взятыми. Например, увеличение среднестатистической годовой температуры на 3 градуса по Цельсию спровоцирует таяние ледников, повышение уровня мирового океана, что представляет реальную угрозу жизни каждого 20-го жителя планеты [3]. Становится неоспоримым фактором вопрос о выживаемости Человека как биологического вида.

Принимая во внимание интенсивное развитие полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии и тенденцию к снижению их стоимости, развитие систем естественного освещения и электронных систем управления и регулирования вправе отнести это направление к альтернативе традиционной энергетики и один их спасительных вариантов для земной цивилизации. С этих позиций предлагаемый проект «Автоматизированная система управления совмещенным освещением высокой энергетической эффективности» – это выход на новый уровень, как в световом благоустройстве, так и в задачах энергосбережения.

Список литературы

1. www.portal-energo.ru
2. www.nizhstat.gks.ru
3. www.rbc.ua

УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ. ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАВОК СРАБАТЫВАНИЯ

Фролова Е.И.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет
630092,г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: frol73ei@list.ru

Обеспечение надежности и устойчивости работы объединенных энергосистем (ЭС) в определяющей мере связано с функционированием релейной защиты, предназначенной осуществлять быструю и селективную автоматическую ликвидацию повреждений и аварийных режимов в электрической части энергосистем.

Одним из основных показателей технического совершенства устройств релейной защиты (УРЗ) и, в частности, дистанционных защит (ДЗ) и их измерительных дистанционных органов (ДО), является устойчивость их функционирования.

На устойчивость функционирования рассматриваемых ДЗ влияют такие факторы как значения мощности, передаваемой по воздушной линии (ВЛ) до возникновения КЗ, наличия переходного сопротивления в месте КЗ, поведение трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) в переходном процессе и. т. д.

Один из вариантов повышения эффективности функционирования релейной защиты, в частности ДЗ, является решение задачи оптимизации уставок срабатывания этих устройств [1].

Современные цифровые устройства ДЗ реализует, как правило, две характеристики срабатывания: круговую и полигональную. Границы характеристик срабатывания задаются отрезками по осям координат R и X независимо, а также углами их наклона.

В настоящее время согласно действующим стандартам, а также из-за существенных преимуществ кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена (КПИ), ВЛ переводят в кабельное исполнение. При этом на кабельные линии (КЛ) и линии с кабельными вставками ус-

танавливают защиты, предназначенные для ВЛ. В связи с этим использование методик расчета параметров срабатывания УРЗ, разработанных для ВЛ, применительно к КЛ становится некорректным. Кроме того, учитывая относительно высокую стоимость КПИ и невосстанавливающуюся изоляцию, вопрос надежности защиты данных элементов ЭС становится острым.

Первичное сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ определяется для случая металлического короткого замыкания по следующему выражению [2]:

$$Z^{I}_{с.з}=0.85Z_{л}\ . \qquad (1)$$

Сопротивление срабатывания реле определяется на основании первичного сопротивления срабатывания защиты

$$Z^{I}_{ср.}=Z^{I}_{с.з}\cdot\frac{k_I}{k_U}, \qquad (2)$$

где k_I – коэффициент трансформации ТТ; k_U – коэффициент трансформации ТН.

Таким образом, значение уставки срабатывания первой ступени ДЗ, установленной на короткой КЛ, рассчитанное по выражениям (1), (2) не попадает в диапазон изменения параметров терминалов защит.

С данной проблемой столкнулись при расчете уставок срабатывания защит участка сети Новосибирской энергосистемы.

Для линии 110 кВ длиной 7.74 км, выполненной кабелями марки ПвЭгаПу 240/95 и ПвЭгаПу 630/120 с удельными сопротивлениями $Z_{уд1}$=0.126+j0.152 Ом/км и $Z_{уд1}$=0.032+j0.163 Ом/км соответственно и с установленными ТТ на обоих концах линии с коэффициенты трансформации k_I=800/5, уставка срабатывания первой ступени защиты в первичных величинах составила 1.152 Ом, во вторичных 0.167 Ом. Полученное значение уставки срабатывания выставить на терминале защиты не возможно, поскольку диапазон изменения параметров, определяющих форму характеристик РС направленных ступеней ДЗ равен $0.2 \div 100$ Ом на фазу. Задание же минимального значения из диапазона, может привести к излишнему срабатыванию. При этом корректировка полученного значения за счет увеличения коэффициента трансформации ТТ или установки промежуточного ТТ из-за ряда факторов невозможна.

Второй нюанс – при выборе уставок по оси активного сопротивления R необходимо учитывать активное переходное сопротивление в месте КЗ. Для расчета уставки R, в общем случае, применяется следующее выражение [2]:

$$R = R_L + R_{ПЕР},$$

где R_L – активное сопротивление линии; $R_{ПЕР}$ = $R_{ДУГИ}$ – активное переходное сопротивление дуги в месте КЗ на линии.

В части определения активного сопротивления дуги при КЗ существует несколько различных методических рекомендаций, результаты которых часто носят противоречивый характер.

Для определения сопротивления дуги чаще всего используют одно из двух наиболее наглядных и рациональных расчетных выражений:

$$R_{дуги} = 2500 \cdot L / I \text{ или } R_{дуги} = 1050 \cdot L / I \quad (3)$$

где L – длина дуги, м; I – минимальное значение замеряемого тока при двухфазном КЗ в расчетной точке, А.

Приведенные формулы повсеместно используются при расчете параметров срабатывания ДЗ на ВЛ. Проведение же расчета уставок защиты КЛ аналогично расчету уставок ВЛ, как советуют производители защит, вызывает ряд вопросов. Учитывая, что кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена высокого напряжения имеют одножильную конструкцию и прокладываются в отдельных закрытых каналах, встает вопрос о возможности возникновения междуфазных металлических КЗ и через дугу на таких линиях. Поэтому расчет переходного сопротивления по формулам (3) применительно к КЛ является неверным, тем более неизвестно какое значение необходимо принимать вместо длины дуги L. Но учет переходного сопротивления в месте повреждения проводить необходимо, так как при пробое изоляции кабеля возникает дуга, напряжение которой достаточно велико (например, для кабеля 110 кВ напряжение дуги составляет 1.5 кВ, а сопротивление дуги при токе в 1 кА составляет 1.5 Ом [2]).

Также следует иметь в виду, что переходное сопротивление, замеряемое защитой, не равно действительному значению переходного сопротивления в месте повреждения и зависит от схемы включения и вида КЗ [3]. Эквивалентная схема КЗ через дугу показана на рисунке 1.

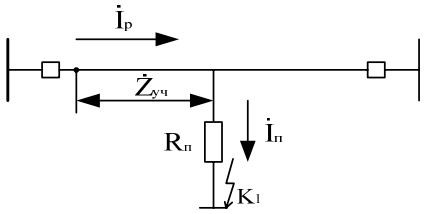


Рис. 1. Эквивалентная схема КЗ через дугу

В общем случае, для линии с двухсторонним питанием при КЗ в точке K_1 ток повреждения не равен току, протекающему через защиту $\mathbf{\dot{I}_П \neq \dot{I}_Р}$, а напряжение в месте установки защиты

$$\dot{U}_р = \dot{I}_р\dot{z}_{уч} + \dot{I}_п R_{пер},$$

тогда сопротивление на зажимах

$$\dot{z}_р = \frac{\dot{U}_р}{\dot{I}_р} = \dot{z}_{уч} + \frac{\dot{I}_п}{\dot{I}_р}R_{пер}. \qquad (4)$$

Величина $\mathbf{\dot{I}_П/\dot{I}_Р}$, в общем случае, является комплексной, соответственно второй член выражения (4) также число комплексное. При этом ток $\mathbf{\dot{I}_П}$ может как опережать, так и отставать от тока $\mathbf{\dot{I}_Р}$, поэтому мнимая часть второго члена выражения (4) может быть или отрицательной или положительной. Таким образом, изменение сопротивле-

ния на зажимах реле, вызванное переходным сопротивлением

$$\dot{z}_{п} = \frac{\dot{I}_{п}}{\dot{I}_{р}} R_{пер},$$

может иметь в комплексной плоскости наклон вверх или вниз (рис. 2). При большом отношении $\dot{I}_{П}/\dot{I}_{Р}$ влияние переходного сопротивления может быть существенным.

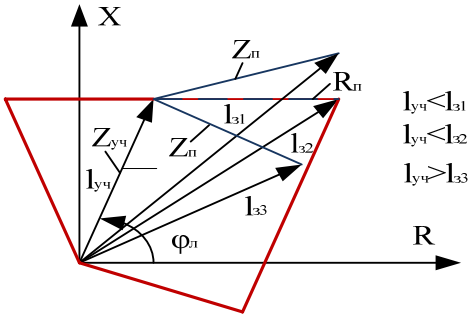


Рис. 2. Изменение зоны срабатывания при замыкании через переходное сопротивление

Переходное сопротивление изменяет зону срабатывания защиты, то есть зона изменяется с $l_{уч}$ на $l_{зам}$. Это приводит или к уменьшению зоны, если $l_{уч} > l_{зам}$ или к ее удлинению, если $l_{уч} < l_{зам}$. Изменение зоны как по величине, так и по знаку зависит от значения $\dot{z}_{П}$ и от характеристики в комплексной плоскости. При вещественном значении $\dot{z}_{П} = R_{ПЕР}$ переходное сопротивление не вызывает погрешности (рис. 2).

Выводы

1. В связи с переводом ВЛ в кабельное исполнение необходима адаптация методик расчета уставок срабатывания РЗ, в частности ДЗ.

2. Для кабелей нового поколения с изоляцией из сшитого полиэтилена требуется разработка модели дуги в кабеле, позволяющей адекватно оценить величину переходного сопротивления при возникновении КЗ через дугу.

3. При расчете уставок срабатывания необходимо учитывать переходное сопротивление, замеряемое защитой, которое не равно действительному значению переходного сопротивления в месте повреждения, и в соответствии с этим определять оптимальную характеристику срабатывания ДЗ.

Список литературы

1. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд. НГТУ. – 2003. – 384 с.
2. Методические указания по расчету уставок релейной защиты и автоматики фирм: “Siemens AG”, “НПП Экра”, “АББ Автоматизация”, “AREVA” и “General Electric” для воздушных и кабельных линий с односторонним питанием, напряжением 110-330 кВ. Вторая редакция – Чебоксары, 2010.
3. Фабрикант В. Л. Дистанционная защита: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 215 с.; ил.

ЗАВИСИМОСТЬ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ ОТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЭП

Фролова С.А

Научный руководитель: Боровиков В.С., инженер РЦР ТПУ

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: frol_sa@mail.ru

Проведение измерений параметров режима ПС-110 кВ филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Бурятэнерго» показывает, что в большинстве случаев сильные искажения наблюдаются при протекании токов в линиях. Протекание несинусоидальных токов по элементам электрической сети вызывает в них добавочные потери мощности и электроэнергии [1].

Добавочными потерями называют потери в элементах электрической сети, вызываемые протеканием несинусоидального тока за вычетом потерь тока основной частоты.

Величина добавочных потерь в линии определяется такими факторами, как гармоническим составом и величиной токов высших гармоник, их распределением вдоль трассы линии, сопротивлениями проводов и тросов [2].

Проведенные измерения показали, что дополнительная загрузка линий электропередачи токами высших гармоник характеризуется следующими коэффициентами, таблица 1.

Таблица 1

Загрузка линий токами высших гармоник

№ п/п	Наименование ВЛ 110 кВ	Коэффициент искажения, %	Коэффициент гармоник, %			
			3	5	7	11
1	МИ-139 Мордвиниково-Иволга	15,0	2,0	5,5		1,5
2	МТ-160 Мордвиниково- Тыбгатай	28,8	2,7	4,5	2,5	4,3
3	ТМ-131 Мордвиниково- ТЭЦ-2	9,1	3,5	3,6		2,2
4	МС-134 Мордвиниково-Сыроежки	10,2	4,5	7,0	6,0	5,7
5	КС-112 Комсомольская-Сосновоозерск	11,2		6,8	1,2	
6	СБ-123 Сосновоозерск- Бекленищево	98,0	1,1	5,8	1,8	
7	СР-124-Сосновоозерск-Романовка	65,0		96,0	20,8	
8	СК-139 Снежная -Курба	52	30,0	6,0	5,0	
9	СКК-120 Снежно-Ключи-Кокша	42	33	31	5	5

Для выяснения возможных значений добавочных потерь, их соотношением с потерями от основной гармоники тока необходимо проведение соответствующих расчетов. Расчет добавочных потерь активной мощности и электроэнергии проводится на основе уникального алгоритма, написанного на языке програмирования «Fortran».

В качестве примера такие расчеты проведены применительно к линии ОКК-120 (Окино-Ключи-Кяхта) «Бурятэнерго» длиной 63,7 км.

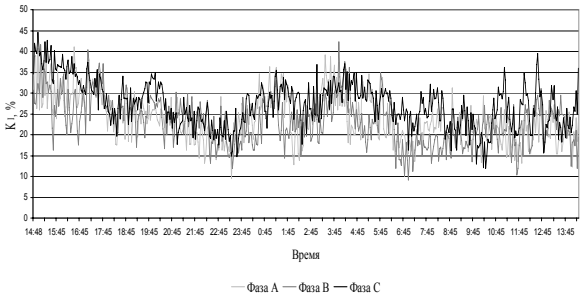


Рис. 1.Суточные графики изменения коэффициентов искажения синусоидальности тока в начале линии 110 кВ ОКК-120 (подстанция «Кяхта»-подстанция «Окино-Ключи»)

Спектральное разложение несинусоидальных кривых напряжения и тока позволяет установить гармонический состав и величину каждой гармоники. Гармоническое разложение может быть выполнено для определенного момента времени (рис. 2.)

Суточные графики изменения коэффициентов искажения показывают с одной стороны слабую связь с характером изменения напряжения на шинах подстанции, а с другой стороны резкопеременный характер изменения коэффициентов искажения во времени, что говорит о нестабильности самого процесса.

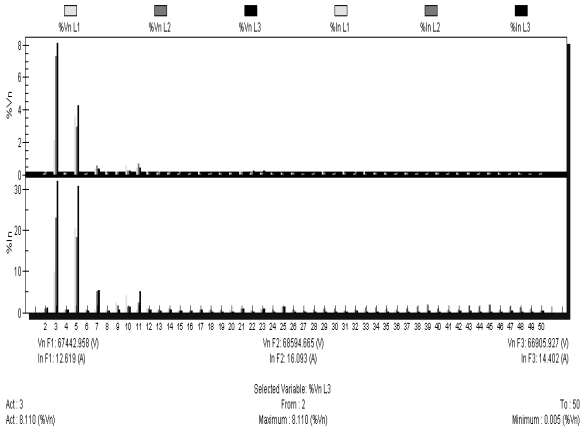


Рис. 2. Один из примеров, поясняющий гармонический состав фазных напряжений (верхняя диаграмма) и фазных токов (нижняя диаграмма) на линии ВЛ 110 «ОКК-120» в месте ее примыкания к подстанции «Окино – Ключи» в один из моментов наибольшего значения коэффициента искажения синусоидальности тока (12 сентября 2010 г., 06: 05: 00)

Искажение синусоидальности вызваны действием гармоник:

- в напряжении – 3 (8 %), 5 (4,5 %);
- в токе – 3 (33 %), 5 (31 %), 7 (5 %), 11 (5%).

Искажение синусоидальности в данном примере столь значительны, что даже визуально заметны на осциллограммах кривых напряжения и, особенно, токов (рис. 3)

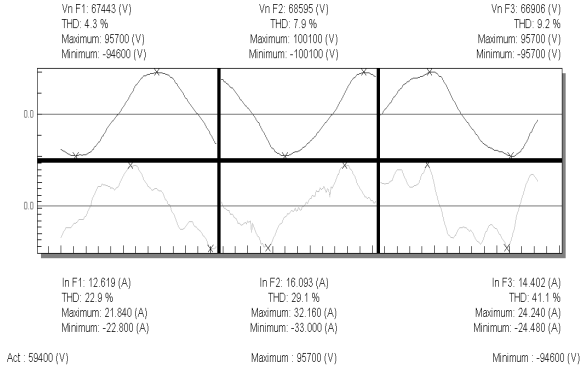


Рис. 3. Оциллограммы фазных напряжений (верхний график) и токов (нижний график на линии ВЛ 110 «ОКК -120» в месте ее примыкания к подстанции «Окино – Ключи», дающие представление о степени искажения синусоидальности в один из моментов наибольшего значения коэффициента (12 сентября 2010 г., 06: 05: 00)

Изменения величины потерь активной мощности в линии на основной частоте и частотах высших гармонических составляющих во времени показаны на рис. 4.

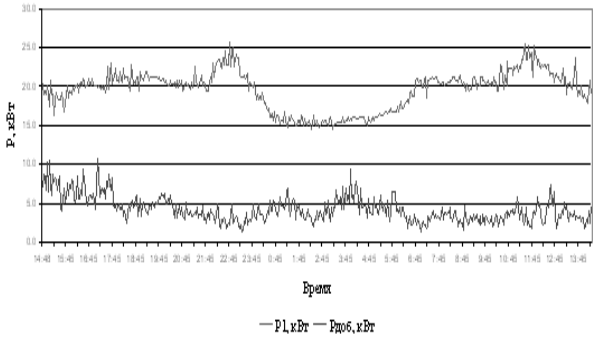


Рис. 4. Потери активной мощности на основной частоте (верхний график) и высших гармониках (нижний график)

В отдельные моменты времени величина добавочных потерь активной мощности достигает 50 % от величины потерь на основной частоте.

Потери активной энергии от действия высших гармоник в данном случае составляют 21,8 % от потерь на частоте 50 Гц.

Выводы

Проведенное обследование показало, что все обследованные линии электропередач характеризуются заметным уровнем коэффициентов искажений синусоидальности, которые во времени изменяются в широком диапазоне. В линиях 110 кВ с высоким коэффициентом искажения синусоидальности токов (преимущественно длинные слабозагруженные линии) добавочные потери мощности часто соизмеримы с потерями на ос-

новной частоте. Потери активной энергии для линии ОКК-120 превышают 21,8 %.

Наличие выявленных добавочных потерь активной энергии может приводить к неточным экономическим расчетам за электроэнергию с сетевыми компаниями, что приводит к ущербу от занижения данной составляющей затрат на передачу электроэнергии.

Список литературы

1. Харлов Н.Н., Иванов В.В., Погонин А.В., Мельников В.А. Формирование уравнений установившихся несинусоидальных режимов электрических систем с учетом распределенности параметров ЛЭП // Известия Томского политехнического университета, 2009 – Т. 314, – № 4. – с. 56-59
2. Харлов Н.Н., Иванов В.В., Мельников В.А., Погонин А.В. Инструментальное энергообследование и энергоаудит //»Энергосбережение, энергоэффективность и энергетическая безопасность регионов России»: Материалы X Всероссийского совещания – Томск, «Технопарк», 18-20 ноября 2009. – Томск: ТМДЦ «Технопарк», 2009. – С. 28-30
3. Кучумов Л.А., Спиридонова Л.В. Потери мощности в электрических сетях и их взаимосвязь с качеством электроэнергии. Ученое пособие.- Л., изд. ЛПИ, 1985, 92 с.
4. N.N. Kharlov, V.S. Borovikov, A.V. Pogonin, V.A. Melnikov ENERGY SURVEY OF MULTICONDUCTOR TRANSMISSION LINES UNDER NONSINUSOIDAL VOLTAGE AND CURRENT CONDITIONS // 6th International Conference on "Technical and Physical Problems of Power Engineering" ICTPE-2010 – Tabriz, Iran, 14-16 September 2010. – Tabriz, Iran: Tabriz, 2010. – с. 639-641
5. С. Боровиков, М.В. Волков, В.В. Иванов, В.В. Литвак, В.А. Мельников, А.И. Погонин, Н.Н. Харлов Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири. Томский политехнический университет.- Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 228 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Харитонова Г.В., Слюсарь Ю.С.

Научный руководитель: Манусов В.З. д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: ga1e4ka@yandex.ru

С каждым годом внедрение нейротехнологий в различные области знаний все более интенсивно. Нейротехнологии позволяют решать многие вопросы более эффективно. Одним из таких вопросов является быстрая и точная оценка потерь активной мощности. В настоящее время потери активной мощности вычисляются, используя специализированное программное обеспечение. На точность результатов влияют в значительной степени представление сетевых компонентов и используемая математическая модель. Как правило, все традиционные методы оценивают потери активной мощности потокораспределением. Главный недостаток этих методов – большое количество информации, которая формирует входные сведения. Эта трудность и увеличение расчетного времени, характерна, как правило, для больших сетей. Применение искусственного интеллекта для анализа режимов работы городских электрических сетей, и, в том числе, для расчета потерь, позволяют увеличить точность полученных результатов, значительно уменьшая время расчета. Такой подход к решению этой проблемы представляет ценную альтернативу традиционным методам. Используя для определения потерь в распределительных сетях приложения Искусственных Нейронных Сетей мы получаем возможность выбора различных параметров, правильность выбора которых влияет на точность расчетов. Это такие параметры как:

1) Выбор архитектуры сети
2) Выбор метода обучения
3) Выбор функции активации
4) Выбор количества входной и выходной информации
5) Объем выборки,

В данной работе исследовался участок городской электрической сети, который содержит кабельные линии напряжением 10 кВ.

Расчетная схема имеет 32 узла и 31 ветвь. Значения нагрузки в узлах этой сети известны.

Задачи, поставленные в данном исследовании:

- возможно ли обучение без учителя для решения задач такого рода?
- определение наиболее эффективного алгоритма обучения;
- определение оптимальной архитектуры сети;
- определение оптимального объема обучающей выборки;
- определение наиболее эффективной функции активации.

В результате множества экспериментов с варьированием числа входных параметров и количества наблюдений была спроектирована нейронная сеть с 4-мя входными, 8-ью скрытыми и одним выходным нейронами. Время обучения для каждого метода – 400 эпох.

Все расчеты в данной работе были проведены в программе STATISTIKA Neural Networks. Одно из главных свойств нейронных сетей состоит в том, что они способны учиться решать задачи на примерах. Вместо того, чтобы непосредственно задавать значения весов сети, мы подаем на вход сети набор обучающих примеров (обучающую выборку), а затем с помощью того или иного алгоритма обучения веса сети корректируются таким образом, чтобы она научилась понимать обучающие данные.

Установлено, что для выбора оптимального входного вектора модели оценки при планировании необходимо применять методы понижения размерности и отбора данных. В работе применены следующие методы: тестирование переменных с помощью проб и ошибок, генетический алгоритм. Выявлены факторы, влияющие на отчетные потери, с учетом диапазона напряжений и физической природы потерь. Для рассматриваемой модели оценки при планировании потерь доказано, следующее:

1. Для определения оптимального объема обучающей выборки эффективно воспользоваться теорией «кривых обучения», которая заключается в построении двух кривых: «ошибки обучения» и «ошибки обобщения» и в случае выхода этих кривых на один асимптотический уровень определение оптимального размера обучающей выборки. Подтверждено, что объем тестовой выборки, которая используется для проверки адекватности построенной модели, и объем контрольной выборки, которая служит для контроля процесса обучения ИНС, являются достаточными для их представительности.

2. В моделях оценки при планировании целесообразно применять следующие функции активации: линейная, логистическая и гиперболическая. Рекомендуется применять логистическую и гиперболическую.

3. Эффективность алгоритмов обучения целесообразно определять исходя из сравнения количества циклов обучения, количества расчетов значения целевой функции, количества знакопеременных произведений, по чувствительности к локальным минимумам. Проведенные исследования показали, что:

- Алгоритм обучения – спуск по сопряженным градиентам, не применим для задач оценки при планировании потерь мощности, так как алгоритм «застревает» в локальных минимумах;
- Алгоритм обучения – быстрое распространение, не эффективен, так как дает большую погрешность обобщения;
- Алгоритмы обучения – обратное распространение, Левенберга-Марквардта, квази-Ньютона, дают приемлемую погрешность обобщения. Недостатком алгоритма обратного распространения является использование большого количества итераций. Наименьшая погрешность была получена с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта, но в сравнении с другими методами обучения этот метод является наиболее продолжительным по времени обучения. Преимущество применения алгоритма квази-Ньютона объясняется его быстрой сходимостью и приемлемой ошибкой. Рекомендуется этот алгоритм использовать при оптимизации параметров ИНС. [1,65] Применение искусственных нейронных сетей для построения модели оценки при планировании потерь мощности в электрических сетях энергосистемы обосновывается попыткой устранения противоречия между необходимостью учета действия большого числа факторов для обеспечения адекватности модели реальным процессам функционирования сложных электроэнергетических систем и необходимостью быстрого получения надежного результата. В результате применения традиционных моделей, реализуемых численными методами, при решении задач оперативного управления функционированием электроэнергетических систем, требующих многократных и многовариантных расчетов, оказывается малоэффективным, а зачастую невозможным.

Таким образом, проведя все вышеперечисленные исследования, мы можем придти к выводу, что оптимальным для такого рода задач является:

1) применение логистических и гиперболических функций активации;

2) обучение по методам обратного распространения ошибки, квази-Ньютона, Левенберга-Марквардта.

При обучении без учителя для начала вносятся данные нагрузок, напряжения и потерь в программу ST Neural Network и она обучается, затем начальные данные изменяются на другие, при этом значения потерь активной мощности не заносятся и обученная на начальных данных сеть выдает результат для новых исходных данных. [1, 231] При этом методе средняя ошибка вычислений составила 0,09021%.

Этот метод считается более правдоподобным, нежели обучение с учителем, так как трудно себе представить обучающий механизм в мозге, который бы сравнивал желаемые и действительные значения выходов, выполняя коррекцию с помощью обратной связи. Поэтому обучение без учителя является более реалистичной моделью обучения для биологической системы.

По результатам исследования можно сделать вывод о целесообразности моделирования ИНС с помощью программ-нейроимитаторов.

Список литературы

1. Осовский С. Нейонные сети для обработки информации. – М.: Финансы и Статистика, 2002. 345 с.

АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ СТУПЕНЕЙ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ

Чан Хоанг Куанг Минь

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: thqminhtk@gmail.com

В Томском политехническом университете в течение ряда лет ведутся работы по формированию вероятностных методов и алгоритмов технической эффективности релейной защиты (РЗ) электрических сетей. Оценка технической эффективности функционирования релейной защиты (РЗ) как разности потенциально возможного эффекта в виде показателя коротких замыканий (КЗ) на защищаемом объекте и потерь (отказов работы, ложных и излишних действий), отнесенной к потенциальному эффекту, является актуальной задачей проектирования и эксплуатации РЗ электрооборудования и электрических сетей. Среди РЗ большой удельный вес занимают дистанционные РЗ линий. Дистанционные РЗ являются основными защитами в магистральных и объединенных распределительных высоковольтных сетях, использующихся для защиты от многофазных КЗ и однофазных КЗ на землю. На рамках этой работы рассматривается алгоритмы для определения технической эффективности основных (первой I и второй II) ступеней дистанционных РЗ высоковольтных линий.

Технический эффект Е в вероятностной форме для данных ступеней при междуфазных (м) и однофазных (1) коротких замыканий на землю может быть представлен выражением:

$$E_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}} = \text{p}(\text{A}_{№}^{\text{I,II(м,1)}}) - \text{p}(\text{O}_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}) - \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{э}}) - \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{ар(м,1)}}) - \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{нпф(1)}}) - \text{p}(\text{И}_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}),$$

где буквой р обозначены вероятности событий:

А – КЗ на защищаемой линии, О – отказов срабатывания, Л – ложных, И – излишних действий;

нижние индексы означают: № – номер защищаемой лини, цифра 1 через запятую – обозначение ее конца к=1 (рис. 1);

верхние индексы – обозначение: (м) – междуфазных (1) – однофазных КЗ, э – рабочих или эксплуатационных состояний, ар – асинхронных режимов, нпф – неполнофазных режимов.

Первая составляющая технического эффекта как имеющая достаточно представительную статистику при КЗ на защищаемой линии определяется выражениями:

$$\text{p}(\text{A}_{№}^{\text{I,II(м,1)}}) = \omega_{№}^{\text{(м,1)}}\text{m}(T_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}),$$

$$\omega_{№}^{\text{(м)}} = \omega_{№} - \omega_{№}^{(1)} = \omega_{\text{у}}[1-\text{p}(\text{K1})]\frac{l_{№}}{100}, \omega_{№}^{(1)} = \omega_{\text{у}}\text{p}(\text{K1})\frac{l_{№}}{100},$$

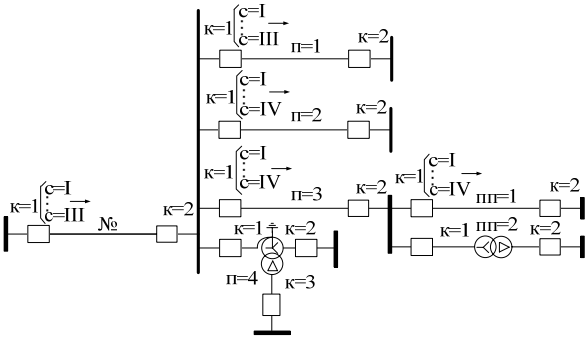


Рис. 1. Схема сети для расчета ДЗ №,1

Вероятности потерь как редкостных событий определяются путем совмещения данных событий с состояниями функционирования защищаемого объекта, с которыми они происходят. Так, вероятность отказов срабатывания основных ступеней ДЗ №,1 определяется выражением:

$$\text{p}(\text{O}_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}) = \text{p}(\text{O}_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}/\text{A}_{№}^{\text{I,II(м,1)}})\text{p}(\text{A}_{№}^{\text{I,II(м,1)}}),$$

в котором условная вероятность при равномерном распределении сопротивления до места КЗ на линии может быть найдена по формуле:

$$\text{p}(\text{O}_{№,1}^{\text{I,II(м,1)}}/\text{A}_{№}^{\text{I,II(м,1)}}) = \frac{z_{1№}^{\text{(м,1)}} - z_{1№,1}^{\text{I,II(м,1)}}}{z_{1№}^{\text{(м,1)}}},$$

Аналогично определяются вероятности ложных действий при асинхронных режимах

$$\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{ар(м,1)}}) = \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{ар(м,1)}}/\text{АР}_{№})\text{p}(\text{АР}_{№}), \text{ где}$$

$$\text{p}(\text{АР}_{№}) = \omega_{№}^{\text{ар}}\text{m}(T_{№}^{\text{алар}}),$$

при эксплуатационных условиях

$$\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{э}}) = \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{э}}/\text{Э}_{№,1})\text{.p}(\text{Э}_{№,1}),$$

где $\text{p}(\text{Э}_{№,1}) = 1 - \text{p}(\text{A}_{№}^{\text{I,м}}) - \text{p}(\text{АР}_{№}) - \sum_{\text{п}=1}^{n_{\text{п}}}\text{p}(\text{ВК}_{\text{п}}^{№,1})$,

и при неполнофазных режимах

$$\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{нпф(1)}}) = \text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{нпф(1)}}/\text{НПФ}_{№,1})\text{p}(\text{НПФ}_{№,1}),$$

причем условные вероятности $\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{ар(м,1)}}/\text{АР}_{№})$, $\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{э}}/\text{Э}_{№,1})$ и $\text{p}(\text{Л}_{№,1}^{\text{нпф(1)}}/\text{НПФ}_{№,1})$ определяются по нормальным распределениям вероятностей, параметры которых определяются по методу селекции границ интервалов данных (СГИД) [1].

Вероятности излишних действий определяются как вероятности действий и отказов РЗ предыдущих элементов (нижний индекс «п») при КЗ на них, т.е.

$$p(И_{№,1}^{I,II(м)}) = \sum_{п=1}^{n_п}[\frac{1}{2}p(Д_{п,1}^{Б,II(м)}/ВК_п^{№,1,Б,II(м)}) + p(О_{п,1}^{Б,II(м)}/ВК_п^{№,1,Б,II(м)})].p(ВК_п^{№,1,Б,II(м)}),$$

где $Д_{ц,1}^{Б(м,1)} = Д_{ц,1}^{I(м,1)} + Д_{ц,1}^{д(м,1)} + Д_{ц,1}^{I(4,1)}$,

$О_{п,1}^{Б(м,1)} = О_{п,1}^{I(м,1)} + О_{п,1}^{д(м,1)} + О_{п,1}^{I(4,1)}$ – для первой ступени ДЗ №,1,

а $Д_{п,1}^{II(м,1)} = Д_{п,1}^{II(м,1)} + Д_{п,1}^{II(4,1)}$, $О_{п,1}^{II(м,1)} = О_{п,1}^{II(м,1)} + О_{п,1}^{II(4,1)}$ – для второй ступени ДЗ №,1.

Условные вероятности действий и отказов срабатывания каналов РЗ (ДЗ, токовых: фазных, нулевой последовательности п=1,2,3, дифференциальных п=4) на п-х предыдущих элементах должны определяться во взаимодействии с первой и второй ступенями ДЗ №,1. Причем в случая взаимодействия со второй ступенью ДЗ №,1 КЗ в области дифференциальных защит предыдущих элементов не учитываются.

В настоящее время широко применяются цифровые релейные защиты, в том числе дистанционные. Принятые уставки по реактивному ху и активному гу сопротивлениям этих защит являются чисто представительскими. Реальные уставки в отличие от токовых защит определяются векторами сопротивлений и граничных линий характеристик срабатывания в комплексной плоскости (рис. 2). В зависимости от активного сопротивлении короткозамкнутой цепи линии и переходного сопротивления векторы уставок пересекают верхнюю или баковую грани характеристик срабатывания, чему соответствует угол φ_z. Ниже приведен анализ для определения реальных уставок ДЗ в зависимости от вида характеристики срабатывания. Если характеристика срабатывания ДЗ имеет вид рис. 2а, то уставки определяются по выражениям:

при $\varphi_4 = 0$ и $\varphi_{z_1} \le \varphi_z < 90°$ $z_в^{I,II} = xy/\sin\varphi_z$,

а при $\varphi_4 = 0$ и $0° \le \varphi_z \le \varphi_{z_1}$, $z_б^{I,II} = \frac{xy}{\sin\varphi_{z_1}} \cdot \frac{\sin(\varphi_{z_1} - \varphi_1)}{\sin(\varphi_z - \varphi_1)}$,

где $\varphi_{z_1} = arctg(\frac{xy.tg\varphi_1}{xy\text{-}ry.tg\varphi_1})$.

Если характеристика имеет вид по рис. 2б (со скосом верней грани) то уставки определяются по выражениям: при $\varphi_4 \ne 0$ и $\varphi_{z_1} \le \varphi_{zc} < 90°$

$$z_{вс}^{I,II} = \frac{xy}{\sin\varphi_z}(1 - \frac{\cos\varphi_z \sin\varphi_4}{\cos(90° - \varphi_z - \varphi_4)}),$$

а при $\varphi_4 \ne 0$ и $0° \le \varphi_z \le \varphi_{z_1}$

$$z_{бс}^{I,II} = \frac{xy}{\sin\varphi_{z_1}} \cdot \frac{\sin(\varphi_{z_1} - \varphi_1)}{\sin(\varphi_z - \varphi_1)},$$

где $\varphi_{z_1} = arctg(\frac{tg\varphi_1(xy - rytg\varphi_4)}{xy + ry.tg\varphi_1})$.

Используя данной анализ, можно определить области захвата заданными уставками первых и вторых ступеней ДЗ пространства предыдущих элементов, необходимые для определения излишних действий каждой ступени.

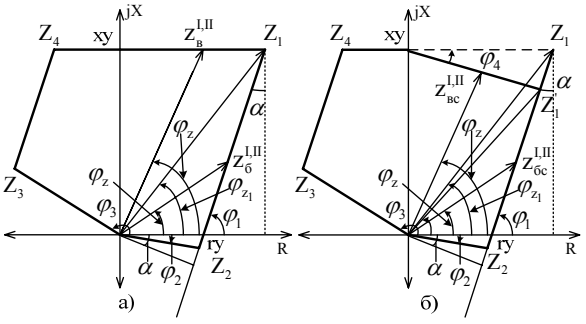


Рис. 2.Характеристика срабатывания ДЗ при $\varphi_4 = 0$ (а) и при $\varphi_4 \ne 0$ (б)

По заданным (принятым) значениям величин сопротивлений векторов уставок $z^{I,II}$ при угле $\varphi_л$ линии, находятся величины векторов сопротивлений предыдущих элементов (линий) путем вычитания из значений уставок сопротивления линии. Полученные разности умножаются на максимальное и минимальное значения коэффициента токораспределения. По скорректированным таким образом указанных разностей определяются вероятности действий и отказов равновременных с анализируемой защитой защит предыдущих компонентов, которые являются вероятностями излишних действий.

Для каждого варианта уставок первых и вторых ступеней анализируемой ДЗ определяется величина технического эффекта $E_{№,1}^{I,II(м,1)}$, по которому находится техническую эффективность по выражению $E_{№,1*}^{I,II(м,1)} = \frac{E_{№,1}^{I,II(м,1)}}{p(A_{№}^{I,II(м,1)})} \cdot 100$ (%), и строится зависимость $E_{№,1*}^{I(м,1)}(z^{I,II})$. По данной зависимости определяется качество каждой ступени ДЗ.

Заключение

Критерий технической эффективности является объективным показателем качества функционирования релейной защиты. По его экстремуму можно определить оптимальные значения величин уставок, а по практически неизменной величине технической эффективности, близко к единице, свойство робастности анализируемой ступени ДЗ. Предложенный вероятностный метод позволяет определить оптимальные уставки первой и второй ступени ДЗ и оптимально настроить все каналы РЗ сети, а также объективно оценить возможности желаемого изменения уставок, чтобы повысить эффективность настройки дистанционных релейных зашит высоковольтных линий от междуфазных и однофазных КЗ на землю.

Список литературы

1. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики//Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики» – 2008. – № 7 – 8/1. – С. 146 – 157.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ПОМОЩЬЮ ЯВЛЕНИЯ ВЗРЫВАЮЩЕЙСЯ ПРОВОЛОЧКИ

Чеботнягин Л.М.

Научный руководитель: В.В. Потапов, доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
E-mail: leonidchebotnyagin@yandex.ru

Удачным решением ряда сложных технологических операций является использование явления взрывающихся проводников (ЯВП). В частности ЯВП нашло применение для крепления труб в трубных решётках теплообменных и других аппаратов химических производств [1, 2].

Крепление этим способом имеет ряд преимуществ, обеспечивающих более прочное и надежное соединение труб с трубной решеткой, чем общепринятые способы, включая обычную сварку.

Упрощённая принципиальная схема установки для соединения труб с трубными решётками с использованием ЯВП изображена на рис. 1. Общая картина получения соединения с помощью такой установки может быть представлена следующим образом. При срабатывании коммутатора батарея высоковольтных конденсаторов, предварительно заряженная от трансформатора через выпрямитель, начинает разряжаться на проволочку взрывного патрона. Патрон наполнен некоторой передающей средой, например водой. Через проволочку протекает ток, который нарастает до своего максимального значения за нескольких микросекунд. Происходит взрыв проволочки, при этом формируется ударная волна, воздействующая на стенку трубы и вызывающая скоростное деформирование и при косом соударении сварку. [1]

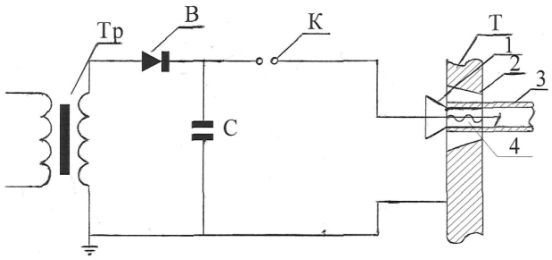
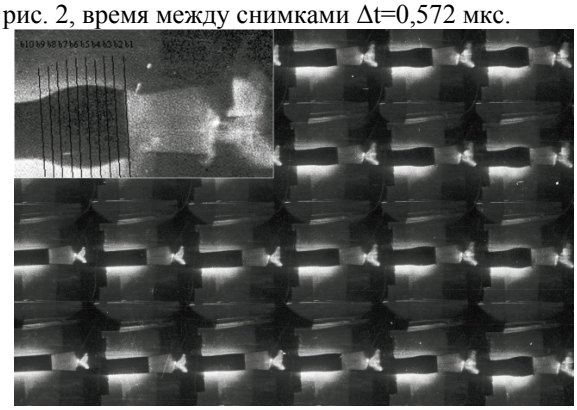


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема установки для соединения труб с трубными решётками: Тр – высоковольтный зарядный трансформатор, В – высоковольтный выпрямитель, С – ударная ёмкость, К – коммутатор (искровой разрядник), Т – технологический узел; 1 – патрон, 2 – трубная решётка, 3 – труба, 4 – взрывающаяся проволочка (ВП)

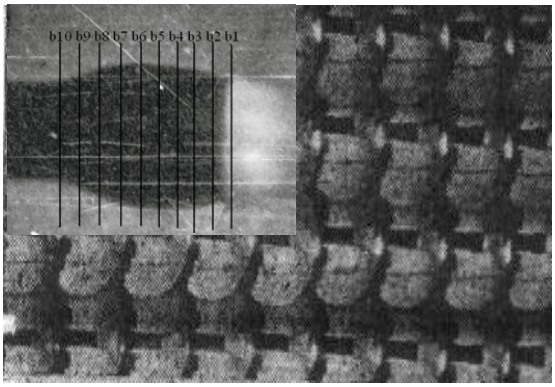
Преимущества данного метода стимулируют дальнейшие исследования механизма скоростного деформирования металлических труб с помощью ЯВП.

В данной работе представлены результаты экспериментов по исследованию некоторых закономерностей скоростного деформирования металлических труб с помощью ЯВП. Эксперименты проводили непосредственно на промышленной установке «Молния-5М» с использованием патронов разового действия конструкции ПКБ электрогидравлики АН УССР в режиме, обеспечивающим сварку.

В качестве материалов для исследования применялись трубы диаметром 28х4 мм из сплава АД1 и латуни Л70 диаметром 25х2,5 мм. Для определения параметров деформирования использовали скоростную фотосъемку процесса свободной раздачи трубы. Съемка осуществлялась с помощью СФР в режиме лупы времени (покадровая съемка) с применением четырехрядной линзовой вставки. Общий вид СФР-граммы приведен на рис. 2, время между снимками Δt=0,572 мкс.



а



б

Рис. 2. СФР-граммы скоростного деформирования труб в сечениях b1…b10: а – латунной Л70 Ø25х2,5 мм; б – алюминиевой АД1 Ø28х4 мм

На рис. 3 представлены графики изменения деформации в четырёх сечениях. Для них характерно наличие интервалов времени, в которых деформация не изменяется, причем эти интервалы для сечений ближе к центральным (*b5*) сокращаются, а в центральном сечении отсутствуют.

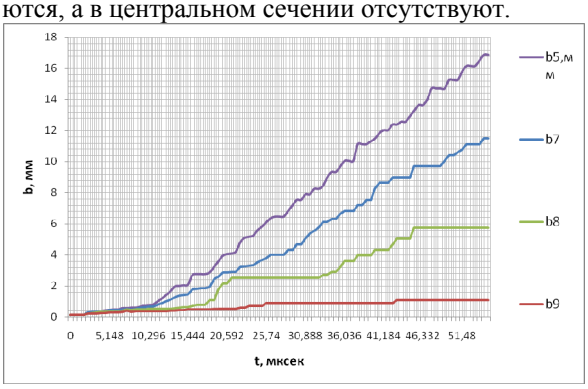


Рис. 3. График деформации трубы от времени

Указанный характер изменения деформации является следствием воздействия ударной волны, претерпевающей многократные отражения в промежутке *ВП – труба*.

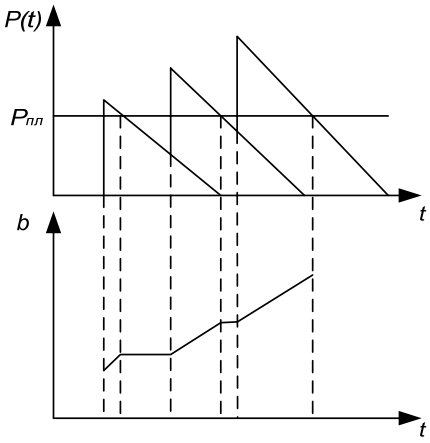


Рис. 7. Стилизованный график процесса деформации: $P_{пл}$ – давление, при котором начинается пластическое течение материала

Имеющиеся интервалы времени на графике деформации трубы (см. рис. 3), на котором отсутствует изменение деформации, хорошо интерпретируются, если предположить, что акустическая жесткость области, занятой продуктами от взрыва проводника, значительно больше акустической жесткости воды и коэффициент отражения от границы раздела *ВП – вода* положительный и близок к единице (рис. 4).

Ударная волна, генерируемая боковой поверхностью ВП, достигает внутренней поверхности трубы за время $\tau_{вц}$:

$$\tau_{вц} = \frac{R - r_{пр}}{c_0}$$

где c_0 – скорость звука в воде; $r_{пр}$ – радиус спиральной области взрывающейся проволочки; R – внутренний радиус трубы.

Акустическая жесткость металла значительно больше акустической жесткости воды и поэтому коэффициент отражения от границы раздела *ВП – стенка трубы* положительный и близок к единице. Амплитуда волны давления, воздействующего на стенку трубы, удваивается. Под действием давления труба начинает деформироваться. Увеличение деформации наблюдается, пока величина воздействующего давления больше давления $P_{пл}$. Деформирование трубы прекращается, когда величина воздействующего давления становится меньше давления $P_{пл}$. Волна, отраженная от стенки трубы, достигает границы раздела *ВП – вода*, происходит отражение от этой границы, коэффициент отражения также близок к единице. Эта волна распространяется к стенке трубы, достигает её, удваивается, при этом давление воздействующее на стенку трубы снова становится больше, чем $P_{пл}$ и вновь начинается процесс деформирования.

Увеличение интервалов времени на графике зависимости деформации от времени для сечений, близких к торцевым частям объясняется снижением давления на стенку трубы ударными волнами, отраженными от торцевых частей взрывного патрона.

Выводы

1. Установлено, что при скоростном деформировании трубы с помощью источника импульсного давления в виде взрывающейся проволочки на кривой деформации от времени имеются интервалы времени, в течение которых деформация трубы постоянна (неизменна), причем ближе к центральным сечениям эти интервалы сокращаются.
2. Наличие интервалов на кривых деформации объясняется тем, что деформирование производится ударной волной, претерпевающей несколько отражений от границ раздела *ВП-вода ВП-стенка трубы* при распространении в промежутке *ВП-стенка трубы*.

Список литературы

1. Дмитриев В.Г., Платоненко В.Т., Колмаков В.П., Кудинов В.М. Определение параметров соударения при сварке труб с трубными решетками электрическим взрывом проводника, -// Автоматическая сварка. 1981. №9 (342).
2. ГОСТ – 23691 – 79 – ГОСТ – 23693 – 79. Запрессовка труб с применением источников импульсного давления. М.: Изд-во Стандартов, 1979.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОДЕФИЦИТНЫХ РАЙОНОВ

Шакиров В.А.

Братский государственный университет, 665709, Россия, г. Братск, ул. Макаренко, 40
E-mail: mynovember@mail.ru

С целью определения направлений развития электроэнергетики, для обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения потребителей по поручению Правительства РФ была разработана Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года.

Несмотря на вполне однозначные ориентиры по динамике развития всего генерирующего комплекса, к сожалению, отсутствуют указания на механизмы реализации планов по вводу мощностей. Кроме того, в Генеральной схеме пообъектно представлены электростанции только общесистемного уровня – все атомные электростанции, тепловые электростанции (ТЭС) установленной мощностью 500 МВт и выше, гидроэлектростанции установленной мощностью 300 МВт и выше.

В условиях отсутствия достаточных инвестиций важным направлением в электроэнергетике становится развитие распределенной генерации на базе строительства электростанций небольшой мощности, в первую очередь небольших ТЭС, возрастает роль и необходимость рационального и эффективного использования местных энергоресурсов.

Строительство ТЭС связано с целым рядом рисков: неопределенность динамики спроса и цен на электроэнергию, ввода мощностей другими компаниями, проблемы территориального размещения, связанные с отводом земельных участков, водоснабжением и экологической безопасностью. Необходим учет мнений административных структур, различных организаций. Анализ решений по строительству ТЭС требует формализации проблемы с позиций системного подхода. Сложность задачи не позволяет получить ее прямое аналитическое решение, поэтому оно должно осуществляться на основе комплекса моделей и методов принятия решений. Возможная структура решения задачи представлена на рис. 1.

На первом этапе необходимо установить динамику производственных возможностей электростанций и динамику электропотребления в рассматриваемых районах. Исходными данными и ориентирами при решении задачи являются сведения Прогнозного баланса развития электроэнергетики на период до 2020 года.

На втором этапе проводится сравнительный анализ энергодефицитных районов размещения ТЭС. Высокая неопределенность информации, многочисленность факторов объективного и субъективного характера требует привлечения метода аналитических сетей, метода анализа решений на основе теории полезности.

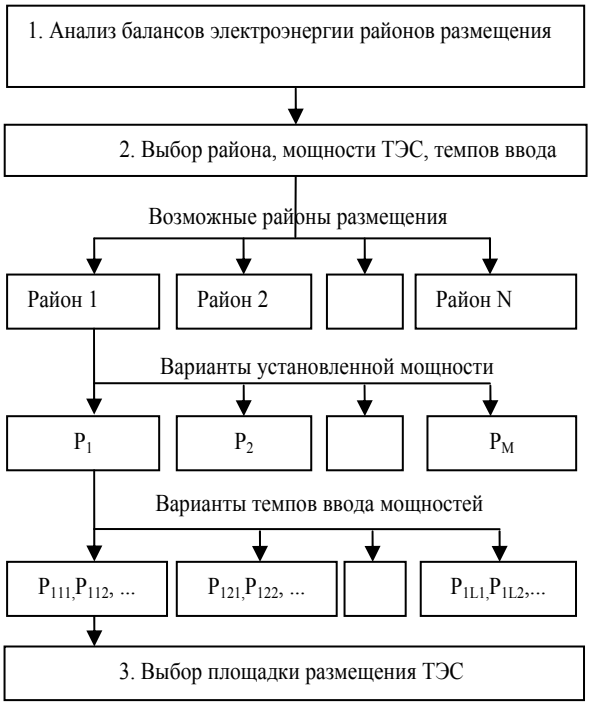


Рис. 1. Структура решения задачи выбора мощности и размещения ТЭС

На третьем этапе проводится анализ площадок размещения ТЭС для выбранного района. Задача характеризуется многочисленностью вариантов и критериев отбора. В условиях необходимости рассмотрения значительного количества критериев и многочисленных альтернатив применение существующего инструментария многокритериального анализа достаточно сложно для лица, принимающего решение (ЛПР). Кроме того, при отборе ограниченного числа перспективных площадок не достигается достаточная результативность, что приводит к необходимости повторного анализа. Эти недостатки не позволяют при решении задачи размещения ТЭС получать эффективные решения с высокими оценками по критериям при разумных затратах усилий ЛПР.

Разработана методика комплексного использования процедур и методов многокритериального анализа, позволяющая с высокой результативностью провести отбор перспективных площадок без

повышения числа обращений к ЛПР. Основные этапы методики представлены на рис. 2.



Рис. 2. Комплексное использование процедур и методов отбора альтернатив

Повышение результативности при выборе ограниченного числа альтернатив из исходного их множества связано с тем, что отбор площадок на всех этапах (1-5) реализуют различные механизмы исключения. На этапе 1 проводится исключение альтернатив на основании нормативных требований или обязательных условий ЛПР. На этапе 2 проводится исключение заведомо худших, доминируемых по Парето альтернатив. На этапе 3, 4 проводится исключение альтернатив на основании выбираемых ЛПР предельных оценок. На этапе 5 проводится отбор на основании информации об относительной важности критериев. Так достигается высокая результативность отбора.

Уменьшение числа обращений к ЛПР реализовано за счет информационного обмена. В предлагаемой методике дополнительная информация, получаемая от ЛПР на этапе 3, используется на этапах 4 и 5. Информация, получаемая на этапе 4, используется на этапе 5, этап 5 может быть выполнен без участия ЛПР.

С помощью системы поддержки принятия решений SitingEF [1] проведен выбор площадки для размещения ТЭС в одном из наиболее перспективных районов для освоения – Чарской долине на севере Читинской области, где на небольшой площади выявлены месторождения меди, угля и другие полезные ископаемые.

Район относится к энергодефицитным. Ближайшие мощные источники – Братская, Усть-Илимская, Зейская ГЭС значительно удалены, пропуская способность ЛЭП 220 кВ, по которым осуществляется электроснабжение, фактически исчерпана.

По условиям инженерного освоения район относится к числу очень трудных, характеризуется ограниченностью и слабой возобновляемостью лесного фонда. На территории Каларского района находятся геологические памятники природы федерального ранга – урочище Чарские пески, ледники Кодара. Район представляет собой межгорную котловину, поэтому строительство ТЭС большой мощности может привести к экологическим нарушениям.

Таким образом, при размещении ТЭС необходим учет экономических, экологических, социальных, биологических факторов, факторов воздействия на здоровье и безопасность населения. В исследовании затраты оцениваются критерием f_1. Минимизация воздействий на растительность учитывается критерием f_2. Критерий f_3 представляет собой расстояние от площадки до границы урочища Чарские пески. Степень воздействия на загрязнение воздуха оценивается расстоянием площадки до ближайших населенных пунктов (Чара, Новая Чара) и повторяемостью ветров в направлении населенных пунктов по розе ветров f_4. Критерий f_5 представляет собой кратчайшее расстояние от площадки до подножия расположенного на северо-западе хребта Кодар.

Рассматривается район 30х36 км. Установленная мощность ТЭС принимается равной 72 МВт, количество возможных площадок для размещения – 1080. В итоге идентифицировано 7 площадок. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты идентификации площадок

Критерий	Ед. изм	До идентификации		После идентификации	
		Лучшее значение	Худшее значение	Лучшее значение	Худшее значение
f_1	млн. руб	122,26	1421,8	224,2	371,4
f_2	–	0	4	0	1
f_3	км	22,24	0,68	16,30	11,31
f_4	–	0,88	0,13	0,684	0,603
f_5	км	36,3	2,10	27,08	25,09

Из таблицы 1 видно, что изменения по лучшей оценке после проведения идентификации не значительны или отсутствуют, в то время как изменение худшей оценки существенно.

Можно заключить, что полученные семь альтернатив обладают высокими оценками, близкими к лучшим.

Список литературы

1. Игнатьев И.В., Шакиров В.А. Система поддержки принятия решения по размещению энергетических объектов («SitingEF») // Свидетельство об официальной регистрации в Реестре программ для ЭВМ №2006611028 от 20.03.06.

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Соснина Е.Н., Шалухо А.В.

Научный руководитель: Лоскутов А.Б., д.т.н., профессор

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24
E-mail: sosnina@nntu.nnov.ru

Одним из приоритетов энергетической стратегии России является развитие нетрадиционной энергетики. Новые и возобновляемые источники энергии (НВИЭ) нестабильны [1]. Методы определения риска электроснабжения потребителей при их использовании отсутствуют. Поэтому важной задачей для повышения эффективности применения НВИЭ является создание методик управления риском электроснабжения. Для достижения поставленной цели предлагается использовать аппарат портфельного анализа.

Основы портфельной теории заложены американским математиком-экономистом Гарри Марковицем [2]. Портфелем является набор ценных бумаг (рис. 1).

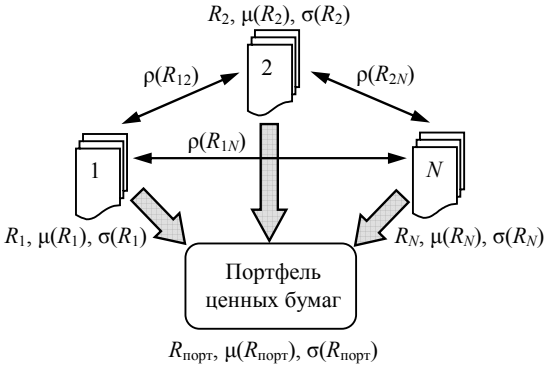


Рис. 1. Аппарат портфельного анализа в экономике

Основным показателем портфеля является доходность – R. В портфельной теории доходность каждой ценной бумаги – случайная величина [3]. Статистические свойства доходности определяются математическим ожиданием – μ(R) и стандартным отклонением – σ(R). Математическое ожидание показывает прогнозируемое значение доходности от вложения капитала. Стандартное отклонение является мерой риска. Чем меньше разброс значений доходности, тем меньше риск инвестирования. Важными преимуществами подхода, предложенного Г. Марковицем, являются простота и наглядность результата.

На рис. 2 представлен портфель, состоящий из возобновляемых источников энергии. Цель исследований заключается в создании алгоритма численной оценки риска электроснабжения и дальнейшем минимизировании риска при заданном уровне мощности портфеля.

В силу зависимости от погодных условий, мощность, вырабатываемую НВИЭ – P, можно считать случайной величиной.

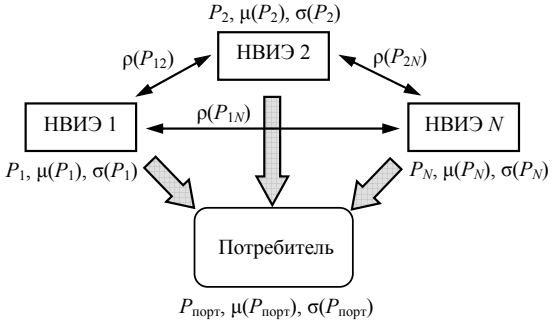


Рис. 2. Портфельный анализ системы электроснабжения на основе НВИЭ

При вероятностном моделировании электроснабжения потребителей допускается гипотеза, что распределение мощности каждого источника энергии соответствует нормальному закону. Источники энергии, входящие в рассматриваемый портфель, не являются независимыми. Поэтому для обеспечения нормального распределения суммы нормально распределенных мощностей источников энергии вводится коэффициент взаимосвязи между источниками – ρ(P_{ij}).

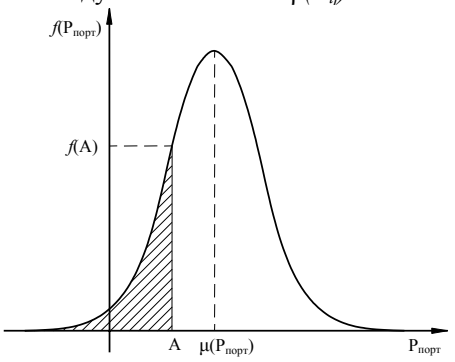


Рис. 3. Плотность распределения мощности портфеля НВИЭ

Математическое ожидание суммарной мощности портфеля – μ($P_{порт}$), определяет прогнозируемое значение генерируемой мощности. Стандартное отклонение – σ($P_{порт}$), является только мерой разброса значений случайной величины. Эксплуатаци-

онный риск электроснабжения потребителей при использовании возобновляемых источников энергии определяется как вероятность того, что суммарная мощность портфеля источников энергии окажется меньше требуемой (рис. 3) [4].

Риск отображается площадью заштрихованной области и находится по выражению для интегральной функции нормального распределения (1):

$$R = \int_{-\infty}^{A} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\left(P_{порт}\right)} e^{-\frac{\left(P_i-\mu\left(P_{порт}\right)\right)^2}{2\sigma\left(P_{порт}\right)^2}} dx, \qquad (1)$$

где R – эксплуатационный риск электроснабжения, %; A – минимальная мощность портфеля, кВт; $\mu(P_{порт})$ – прогнозируемой значение мощности портфеля, кВт; $\sigma(P_{порт})$ – стандартное отклонение мощности портфеля, кВт; P_i – значения генерируемой мощности, кВт.

Методика определения риска электроснабжения на основе аппарата портфельного анализа состоит из следующих этапов:

4. По расчетной мощности нагрузки, годовому электропотреблению и климатическим условиям находится потребная мощность НВИЭ. Также задается минимальная мощность портфеля.

2) По требуемой мощности источников с учетом климатических условий для каждого НВИЭ определяются значения генерируемой мощности в течение года.

3) Для каждого источника энергии находятся математическое ожидание (2) и стандартное отклонение генерируемой мощности (3):

$$\mu\left(P_i\right) = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{n} \qquad (2)$$

$$\sigma\left(P_i\right) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \mu\left(P_i\right)\right)^2}, \qquad (3)$$

где n – число наблюдений в течение года.

4) По полученным результатам определяются математическое ожидание (4) и стандартное отклонение (5) мощности всего портфеля:

$$\mu\left(P_{порт}\right) = \sum_{i=1}^{N} \mu\left(P_i\right); \qquad (4)$$

$$\sigma\left(P_{порт}\right) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} \sigma\left(P_i\right)\sigma\left(P_j\right)p\left(P_{ij}\right)}, \qquad (5)$$

где N – число возобновляемых источников энергии.

5) Решается интегральная функция нормального распределения. Для этого осуществляется переход к нормированной нормально распределенной случайной величине (6), для которой $\mu = 0$ и $\sigma = 1$:

$$y = \frac{A - \mu\left(P_{\text{порт}}\right)}{\sigma\left(\text{P}_{\text{порт}}\right)}, \qquad (6)$$

6) Для нормированной нормально распределенной случайной величины существуют таблицы значений интегральной функции [5]. Пример соотношения между значением y и величиной R приведен в таблице 1.

Таблица 1

Значения функции R = f(y)

y	–3,0	–1,9	–0,25	0	0,25	0,84	2,58
R, %	0,1	2,5	40	50	60	80	99,5

Важной задачей является выбор портфеля НВИЭ с минимальным риском электроснабжения.

На рис. 4 представлена зависимость $\mu(P_{порт})$ от $\sigma(P_{порт})$ для трех различных портфелей.

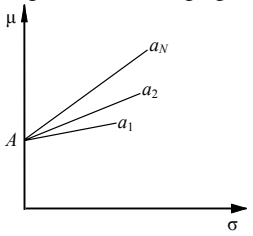


Рис. 4. Зависимость ожидаемой мощности от стандартного отклонения портфеля

В общем виде уравнение прямой, изображенной на рисунке 4, определяется выражением:

$$\mu = A + \frac{\mu\left(P_{\text{порт}}\right) - A}{\sigma\left(\text{P}_{\text{порт}}\right)} \cdot \sigma, \qquad (7)$$

Среди возможных сочетаний НВИЭ минимальный риск электроснабжения будет соответствовать портфелю, для которого значение коэффициента $\frac{\mu\left(P_{\text{порт}}\right) - A}{\sigma\left(\text{P}_{\text{порт}}\right)}$ будет максимальным. То есть эксплуатационный риск уменьшается с ростом числа НВИЭ. Причем, чем меньше коэффициент корреляции между мощностями НВИЭ, тем меньше эксплуатационный риск электроснабжения. Исходя из этого, наиболее перспективным представляется создание не отдельных энергоустановок, а комплексное использование разнородных источников энергии, в том числе новых и возобновляемых, параллельно с объединенной энергосистемой.

Список литературы

1. *Шалухо, А.В., Соснина, Е.Н.* К вопросу о повышении эффективности использования возобновляемых источников энергии // Возобновляемые источники энергии: Материалы седьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием. – М.: МИРОС, 2010. -С.388-393.
2. *Шведов, А.С.* Теория эффективных портфелей ценных бумаг / А.С. Шведов – М.: ГУ ВШЭ, 1999.
3. *Касимов, Ю.Ф.* Основы теории оптимального портфеля ценных бумаг / Ю.Ф. Касимов – М.: Филинъ, 1998.
4. *Митяков, С.Н., Соснина, Е.Н.* Снижение эксплуатационного риска электроснабжения потребителей при одновременном использовании источников энергии разного типа // Прогрессивные технологии в технике, экономике, естествознании и образовании: Межвузовский сборник статей. – Арзамас-Н.Новгород: АПИ, 2008.
5. *Хан, Г., Шапиро, С.* Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро – М.: Мир, 1969.

УМЕНЬШЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА СТВОЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ ПРИ МЕТАНИИ МАКРОТЕЛ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ШУНТИРОВАНИЯ РАЗРЯДА

Шаненков И.И., Колганова Ю.Л., Герасимов Д.Ю.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: mpt@elti.tpu.ru

Характерной особенностью кондукционных электродинамических ускорителей с плазменным поршнем является сильная электрическая эрозия поверхности электродов в ускорительном канале (ук) [1]. При электродинамическом ускорении электроэрозионной плазмы с целью получения порошкообразных материалов и нанесения различных функциональных покрытий, это явление носит позитивный характер [2]. При ускорении твердых тел это явление носит негативный характер, так как препятствует получению высоких, теоретически прогнозированных, скоростей метания из-за накопления и вовлечения в движение большой “паразитной” эродированной массы, а так же исключает повторное использование ствола [1]. В связи с этим исследование и способов уменьшения электроэрозионного износа поверхности ук кмпу является актуальной задачей.

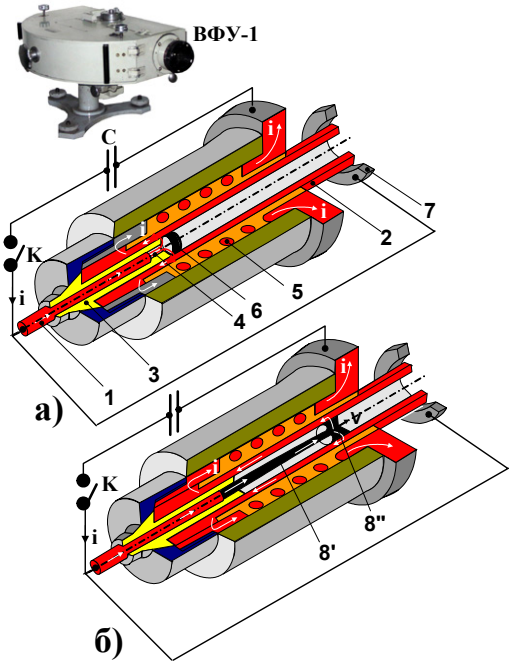


Рис. 1. Схема, устройство и принцип действия КМПУ: а) исходное состояние, б) работа ускорителя; 1 – центральный электрод, 2 – электрод-ствол, 3 – изолятор центрального электрода, 4 – ЭВП, 5 – индуктор, 6 – метаемое тело, 7 – шунтирующий электрод, 8 – плазменная структура сильноточного разряда (8′ – плазменный жгут-z пинч, 8″ –круговая плазменная перемычка), Вфу-1 – камера высоко-скоростной фотоустановки

В данной работе рассматривается коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (кмпу) [4], имеющий более высокий к.п.д. Преобразования электромагнитной энергии в кинетическую энергию метаемого тела (мт). Принципиальная схема представлена на рис. 1, а принцип действия ускорителя описан в [3].

В исходном состоянии вершина центрального электрода 1 (рис. 1) электрически соединена с цилиндрической поверхностью ук в начале ствола пучком электровзрывающихся проводников (эвп) 4. Такая конструкция узла центрального электрода и фонтанообразная конфигурация пучка эвп обеспечивают формирование плазменной структуры сильноточного дугового разряда типа z-пинч 8 (рис. 1б) с круговой плазменной перемычкой 8′. Для усиления стартовой динамики, за счет использования электротермохимического механизма преобразования энергии, канал в изоляторе у вершины центрального электрода (рис. 1а) заполнялся водородонасыщенным газогенерирующим веществом (ггв) – техническим вазелином или трансформаторным маслом.

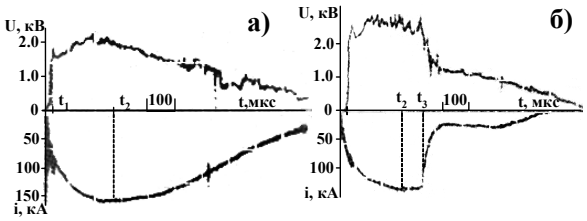


Рис. 2. Осциллограммы напряжения U(t) и тока i(t): а) при полном импульсе тока, б) с шунтированием разряда в УК

В момент времени t=0 (рис. 1) замыкается цепь электропитания и по обозначенному стрелками контуру начинает протекать рабочий ток $i(t)$ (рис. 2). В момент t_1 происходит электровзрыв проводников, сопровождающийся электровзрывным импульсом напряжения. Этот момент принят за начало работы ускорителя. По мере формирования плазменной структуры разряда напряжение снижается до уровня дуговой стадии и происходит ограничение скорости нарастания тока.

Расширение разогретых разрядом газообразных продуктов термического разложения ГГВ, задает начальную динамику ускорения круговой плазменной перемычки, за которой вытягивается токоведущий плазменный жгут. На плазменную перемычку действует ускоряющая электродина-

мическая сила Лоренца. Высокоэффективное ускорение МТ 6 (рис. 1) до гиперзвуковых скоростей происходит в режиме нарастающего тока (рис. 2). Выход МТ из ствола происходит в момент t_2, установленный с помощью кадрированной высокоскоростной фотосъемки на ВФУ-1.

Скорость МТ определялась двумя методами: с помощью рам-мишеней и ВФУ-1. Типичная фотограмма выстрела КМПУ представлена на рис. 3 Достаточно четкое изображение МТ, особенно после прохождения отсекателя 4, позволяет с достаточной точностью определять скорость МТ.

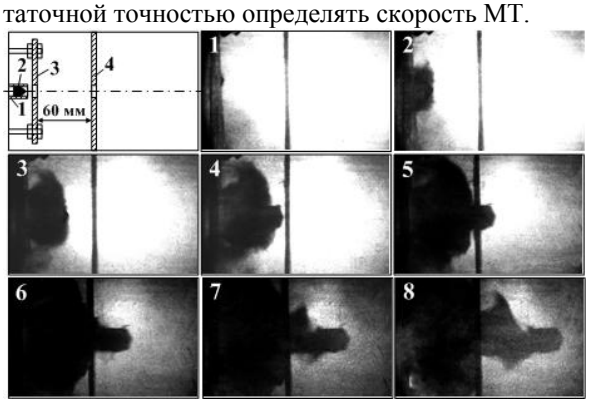


Рис. 3. Фотограмма выстрела КМПУ. 1 – ствол, 2-МТ, 3 – шунтирующий электрод, 4 – отсекатель. $\Delta t_к$=17,4 мкс

Данные и результаты экспериментов, полученные на КМПУ приведены в таблице. Масса ГГВ (технический вазелин) составляла 0,5 г., емкость накопителя энергии C = 48 мФ, зарядное напряжение $U_{зар}$ = 3,2 кВ, калибр ствола d = 19 мм, масса МТ, $m_т$ = 3,5 г.

Таблица

Сравнительные экспериментальные данные по электроэрозионному износу ствола

Параметры / № опыта	Ед. изм.	1	2
Шунтирующий контур	–	–	+
Длина ствола, ℓ_c	мм	491	515
Энергия ускорения, $W_{1\text{-}2}$	кДж	66.9	56.9
Подведенная энергия, W	кДж	186	111
Скорость МТ, υ_c	км/с	2.65	2.54
Кинетическая энергия, $W_к$	кДж	12.3	11.3
КПД системы, η	%	18.4	19.9
Эродированная масса, m	г	35.1	9.0

На рис. 4 приведены эпюры удельного дифференциального электроэрозионного износа поверхности УК по длине ствола $\Delta m(\ell_c)$.

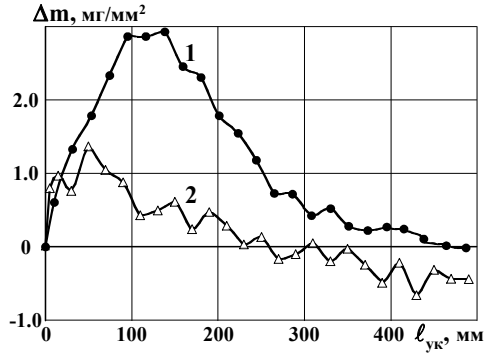


Рис. 4. Эпюры эрозионного износа $\Delta m(\ell_c)$. Номера эпюр соответствуют номерам опытов в таблице

Из сравнения результатов серии экспериментов (таблица) видно, что использование системы шунтирования обеспечивает уменьшение энерговыделения в УК и эрозионного износа ствола КМПУ при сохранении динамических параметров МТ.

Из сравнения эпюр видно, что увеличение подводимой энергии приводит к увеличению эродированной массы. В [2] показано, что наиболее значимым фактором, определяющим величину эрозионного износа, является величина подведенной к ускорителю энергии. Из этого следует, что часть энергии, выделяемой после выхода МТ из ствола, является "паразитной", ее необходимо переключать в другую цепь. Это можно реализовать с помощью системы шунтирования разряда в ускорителе, путем отсечки хвостовой части импульса тока (рис. 2б). Видно, что система шунтирования обеспечивает быстрое переключение в параллельную цепь с меньшим сопротивлением.

Характер эпюр $\Delta m(\ell_c)$ (рис. 4) также свидетельствует о неравномерности износа по длине ствола [2]. Видно, что при увеличении подведенной энергии возрастает максимальное значение эрозионного износа и возрастает длина эродированного участка ствола. На эпюре 2 имеются участки, на которых Δm принимает отрицательные значения. Это свидетельствует о наслоении эродированного материала на поверхность ствола неподверженную эрозии. По-видимому, причиной тому является постоянное уменьшение времени прохождения плазменной перемычкой единичной поверхности УК, что снижает величину энергии выделившейся на контактной поверхности УК и уменьшает массу металла, перешедшую в фазу расплава в опорном пятне. Кроме того, причиной снижения эрозии до нуля может быть уменьшение плотности тока в ПС, вследствие деградации её устойчивого состояния и быстрого расширения под действием не скомпенсированного внутреннего газокинетического давления на выходе из зоны, охваченной соленоидом.

В режиме работу КМПУ при метании твердых тел необходимо использовать систему шунтирования разряда в УК, это позволяет уменьшить эрозионный износ ствола при сохранении динамических параметров МТ.

Список литературы

1. Материалы I Всесоюзного семинара по динамике сильноточного дугового разряда в магнитном поле / под ред. чл.-корр. АН СССР М.Ф. Жукова. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1990. – 350 с.
2. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С. Электроэрозионная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // Электротехника. – 2005. – № 6. – С. 25–33.
3. Сивков А.А. Гибридная электромагнитная система метания твердых тел // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42. – № 1. – С. 3–12.

ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЕДИНИЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЭС ПРИ НЕИЗМЕННОЙ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Манусов В.З., Ядагаев Э.Г.

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: yadagaev@ngs.ru

Основной целью данной статьи является изучение влияния изменения соотношения «номинальная мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ) / количество ВЭУ» при неизменной общей мощности ветроэлектрической станции (ВЭС) на устойчивость этой ВЭС. Другими словами, с точки зрения устойчивости ВЭС выбрать оптимальное соотношение размера единичной генерации с количеством установок при условии неизменной общей мощности ВЭС.

Имея общую установленную мощность свыше 169 000 МВт и средний ежегодный темп роста 28%, ветроэнергетика бурно развивается во многих странах мира и превращается в основной источник энергии. При условии государственной поддержки развития ветровой энергетики в сочетании с мерами в области энергосбережения ветровая индустрия к 2030 году сможет обеспечить 29% мировой потребности в электроэнергии [1].

В связи со столь бурным развитием ветроэнергетики появилась необходимость исследования устойчивости ВЭС для интеграции в существующие электроэнергетические системы (ЭЭС). Данные исследования начали проводиться с начала 2000х годов в Дании, Германии, Испании, США, где доля ВЭС в ЭЭС превысила 10-15 %. Как результат, были выработаны правила для подключения ВЭС к ЭЭС [2].

Первый Сетевой кодекс в мире начал действовать в 2003 году в Германии. Тем не менее, в 2005 году собственники ЛЭП ЭЭС вместе с производителями ветротурбин и несколькими проектными институтами провели детальное исследование по дальнейшему развитию ВЭС в Германии, устойчивости систем, работоспособности и расширению сети. Результатом работы Немецкого энергетического агентства стала необходимость усовершенствования существующего Сетевого кодекса.

Основным результатом работы стали требования к ВЭС:

- способность ВЭС находиться в сети во время КЗ при помощи использования новых технологий («нахождение в КЗ»);
- необходимость в случае отключения ВЭС гарантировать переподключение и продолжение работы в кратчайший возможный срок;
- обеспечиваться дополнительными устройствами, обеспечивающими контроль напряжения и частоты в сети;
- необходимость подключения к операции «образования островков»;
- соответствие дополнительным техническим стандартам для соединения к сети и работы больших ветропарков;
- соответствие правилам дальнейшего мониторинга требований сети;
- обеспечение интеллектуальной системы защиты для минимизации потерь мощности и гарантирования быстрого восстановления нормальной работы [3].

В Республике Алтай (РА) планируется строительство ВЭС мощностью 30 МВт, состоящую из двух площадок. При общей потребляемой мощности ЭЭС РА 100 МВт, ввод ВЭС мощностью 30 МВт является серьезным вызовом для ЭЭС с точки зрения устойчивости. Необходимо определить номинальную мощность каждого ветроагрегата, количество ВЭУ с точки зрения устойчивости ВЭС.

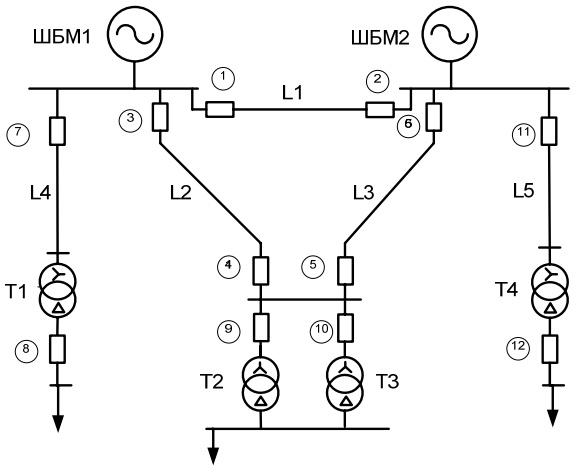


Рис. 1 Однолинейная схема ЭЭС РА

Для исследования устойчивости ВЭС при КЗ необходимо исследовать показатели устойчивости ВЭУ. В качестве таких показателей возьмем ускорение ротора генератора.

Были смоделированы опыты КЗ в узлах 9 (шина ВЭС), 8 (шина 10кВ ЭЭС), 3 (шина высокого напряжения трансформаторов Т2 и Т3) для разного количества ВЭУ в составе ВЭС: 2,6,10,15,30.

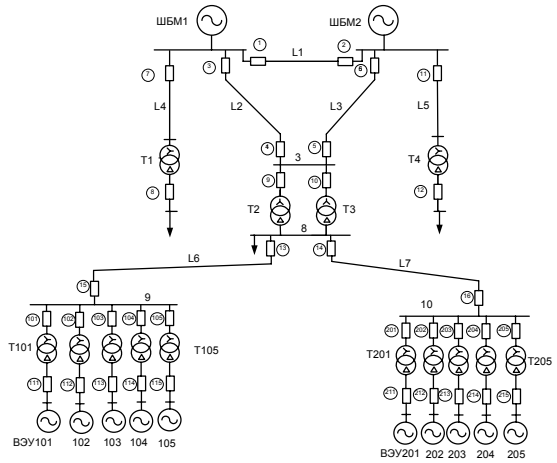


Рис. 2 однолинейная схема ЭЭС РА и ВЭС

Расчеты произведены в программе Mustang.win

При КЗ на шине ВЭС (узел 9):

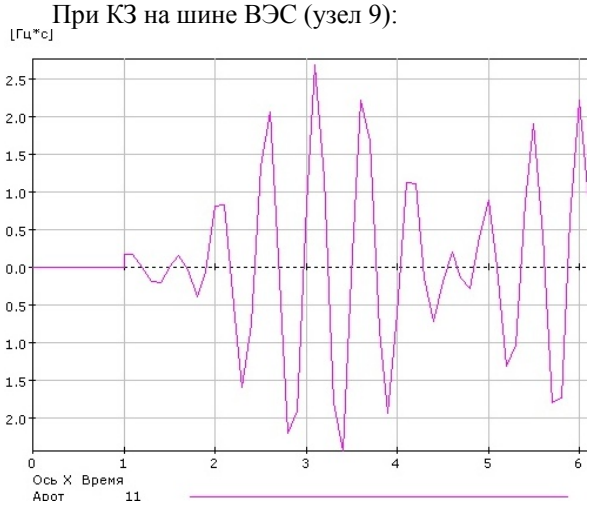


Рис. 3 Ускорение ротора генератора при 10 ВЭУ

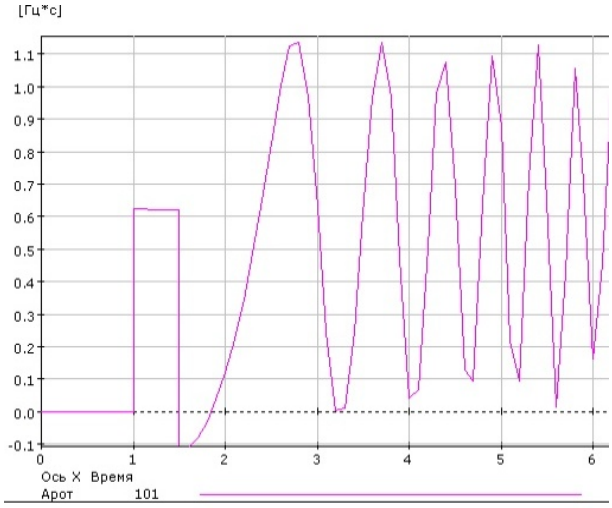


Рис. 4 Ускорение ротора генератора при 15ВЭУ

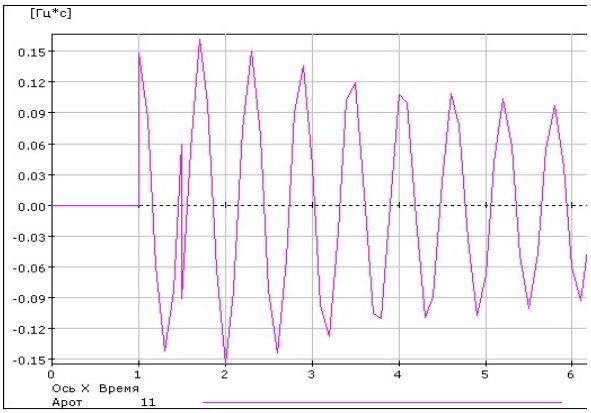


Рис. 5 Ускорение ротора генератора при 30 ВЭУ

Аналогичные расчеты проведены также для узлов 8 и 3. Полученные данные внесены в таблицы.

При КЗ в узле 9:

Таблица 1

Ускорение ротора генератора

Количество ВЭУ (n)	2	6	10	15	30
Ускорение ротора генератора	13	12	2.5	1.1	0.15

При КЗ в узле 8:

Таблица 2

Ускорение ротора генератора

Количество ВЭУ (n)	2	6	10	15	30
Ускорение ротора генератора	6	4.7	1.1	0.5	0.09

При КЗ в узле 3:

Таблица 3

Ускорение ротора генератора

Количество ВЭУ (n)	2	6	10	15	30
Ускорение ротора генератора	3	2	0.5	0.2	0.02

Вывод: Результаты свидетельствуют об уменьшении размеров максимального ускорения ротора при увеличении количества ВЭУ. Особенно заметна разница между n=6 и n=10. Все это свидетельствует об улучшении параметров устойчивости ВЭУ при увеличении числа ВЭУ.

Выбор соотношения «количество ВЭУ/установленная мощность ВЭУ» является частью задачи исследования устойчивости ВЭУ.

Список литературы

1. GWEC Global, Wind Energy Outlook / October 2008.
2. GWEC Global, Wind Energy Outlook / October 2010.
3. Pai M. A., Nguyen T. B., Distribute Generation: Stability and Protection Issues / M.A. Pai, T.B. Nguyen. – University of Ilinois: Urbana, IL 61801.

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Якименко Е.И., Федоров А.В.

Научный руководитель: Семенов С.М., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: epeo@enin.tpu.ru

С развитием полупроводниковых технологий стало понятно, что сокращения расходов электрической энергии в освещении следует добиваться путём широкого внедрения высокоэффективных источников света и светильников с рациональным светораспределением. Таким требованиям максимально соответствуют светодиодные светильники (СДС).

Переход на более экономичные светодиодные светильники позволяет снизить энергопотребление в 10 раз по сравнению с лампами накаливания и в 2 раза по сравнению с люминесцентными лампами.

Светодиодное освещение может быть применено в самых различных областях:

1. Уличное освещение в качестве замены типовых консольных светильников для значительного снижения расходов на электроэнергию.
2. Применение светодиодных прожекторов для архитектурного освещения, подсветка рекламных щитов, плакатов, витрин, промышленное освещение, освещение охраняемых территорий.
3. Бытовые светодиодные светильники. [1]

Декоративные источники освещения: подсветка потолков, стен, автомобильный тюнинг, рекламное производство и т.д.

Развитие технологии светодиодов идет по двум направлениям: светодиоды на неорганических гетероструктурах (LED) и светодиоды на органических компонентах (OLED). Неорганические светодиоды – очень динамично развивающаяся область, в которой в последние 20 лет было сделано много открытий, и к настоящему времени достигнута высокая эффективность основанных на этом принципе устройств. По сравнению с ними органические светодиоды отстают в развитии. Однако у последних есть ряд интересных потребительских свойств, которые могут оказаться ключевыми в конкуренции с неорганическими светодиодами. В частности, они позволяют создавать полупрозрачные гибкие осветительные панели большой площади.

Светодиод или **светоизлучающий диод** (СД, СИД, LED – от англ. Lightemitting diode) – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение. На рис. 1 показаны наиболее конструктивные исполнения светодиодов. Светодиод с белым свечением рис. 1, б) имеет отражатель, формирующий диаграмму излучения, а также содержит люминофор, исправляющий излучаемый спектр. Выводы светодиодов бывают штыревыми (для пайки в отверстие), планарные (для монтажа к печатным площадкам) и даже проводные (у мощных образцов). Значительным разнообразием отличаются и корпуса светодиодов: они могут быть цветными и бесцветными (матовыми и прозрачными), полукруглыми, плоскими, прямоугольными, с концентрирующими линзами. [2]

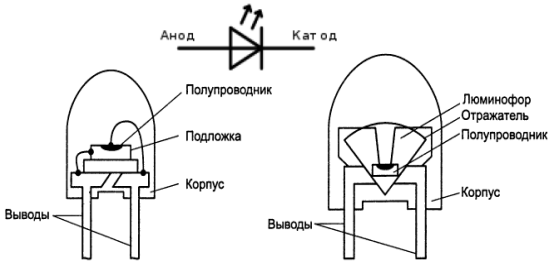


Рис. 1. Устройство типового светодиода: а – с окрашенным светом; б – с белым светом

Светодиод имеет несколько основных параметров, которые обязательно указываются в справочных данных производителями светодиодов:

1. **Сила света** – интенсивность излучаемого в определённом направлении света называется силой света I. Единица измерения: Кд (кандела).

2. **Световая отдача** – показывает, с какой экономичностью потребляемая электрическая мощность преобразуется в свет. Единица измерения: люмен на Ватт [лм/Вт]. Белые светодиоды имеют световую отдачу примерно от 75 до 100 лм/Вт. В процессе развития технологии изготовления светодиода, световая отдача возрастает.

3. **Цветовая температура** – цветовая температура источника света определяется путём сравнения с чёрным телом и отображается линией чёрного тела. Если температура чёрного тела повышается то, синяя составляющая спектра возрастает, а красная составляющая убывает. Единица измерения: Кельвин [К]. Цветность света очень хорошо описывается световой температурой. Существуют следующие три главные цветности света (тёплая – белая < 3300 К; нейтральная – белая 3300 – 5000 К; холодная белая > 5000 К).

4. **Угол двойной половины яркости** – 2Θ – пространственный угол. [2]

Характер светораспределения определяется углом излучения – угол двойной половины яркости. Чем меньше угол излучения, тем больше осевая сила света, притом же световом потоке.

Для нормального функционирования светильника, его нужно обеспечить качественным источником питания, который будет соответствовать необходимым параметрам и требованиям. Его иногда называют драйвером светодиодов или просто драйвером. Делается это с целью выделения источников питания, предназначенных именно для светодиодного освещения, из огромного числа производимых сейчас источников питания, которые в основном используются в электронной аппаратуре. Он является важнейшей частью полупроводникового светильника, во многом определяющий функциональные, светотехнические показатели и надежность осветительного устройства в целом.

Выбор принципа действия разрабатываемого драйвера будет производиться на основе известных в светотехнике требований. Ниже перечислены основные типы драйверов.

4) **Резистор** – это простейший драйвер для светодиода, который является ограничителем тока в цепи. Недостаток – низкое КПД и надёжность, отсутствие гальванической развязки. Способов надёжно запитать светодиод от сети 220 В через резистор не существует, хотя во многих бытовых выключателях подобная схема используется.

5) **Конденсаторная схема**. Сходна со схемой на резисторе. Недостатки те же. Возможно изготовить конденсаторную схему достаточной надежности, но при этом стоимость и сложность схемы сильно возрастут.

6) **Драйверы в интегральном исполнении**. [3]

Номенклатура выпускаемых интегральных драйверов по способу стабилизации делится на две большие группы: линейные и импульсные стабилизаторы тока.

На рис. 2 представлена классификация драйверов в интегральном исполнении.



Рис. 2. Классификация драйверов в интегральном исполнении

На практике для разных светотехнических проектов требуется применение как «комнатных» источников питания (предназначенных для применения внутри помещений), так и «наружных» (во всепогодном исполнении с разной международной IP защитой, разной мощности и с ограничениями по габаритам (иногда размер имеет значение).

При проектировании схемы питания светильника необходим комплексный подход. Нельзя рассматривать источник питания в отрыве от нагрузки (светодиодного модуля) и конструкции изделия. Разрабатывая светодиодный модуль, необходимо представлять, по какой схеме он будет строиться. Пренебрегая комплексным подходом, можно в итоге получить либо неработоспособный светильник, либо прибор, который не будет удовлетворять требованиям нормативных документов.

В осветительном приборе возможно применение любого типа AC/DC-преобразователя; главным является выполнение требований нормативных документов.

ГОСТ Р 51317.3.2-2006 «Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний» косвенно регламентируют наличие/отсутствие ККМ.

В соответствии с данным документом все оборудование делится на четыре класса: A, B, C, D. Класс C – это источники питания светового оборудования – именно то, что интересует в разработке источников для светодиодных осветителей. Граница разделения по эмиссии гармонических составляющих в приборах этого класса определяется потребляемой мощностью и составляет 25 Вт. На приборы с потребляемой мощностью меньше 25 Вт требования на эмиссию гармонических составляющих менее жесткие. Для выполнения этих требований в схему источника питания часто приходится вводить активную коррекцию мощности с коэффициентом 0,8...0,99. [3]

Устройствам питания светодиодов должно соответствовать специальным требованиям по регулированию выходного тока в зависимости от характеристик источника питания и нагрузки.

Список литературы

1. Семёнов Б.Ю. Экономическое освещение для всех. – М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2010. – 224 с.: ил. – (Серия <<Технология электроснабжения>>).
2. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Берёзин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: <<Три Л>>, 2000. – 400 с.

СЕКЦИЯ 2

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧЕВОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НЕГАТОСКОПИИ КРУПНОФОРМАТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

Айнгорин Е.Д., Александров А.В., Кабакова А.В.

Научный руководитель: Иванников В.П., д.т.н., профессор

Ижевский технический университет, 426069, Россия, г. Ижевск, ул.Студенческая, д. 7
E-mail: sunanniv@mail.ru

Задача исследования и проектирования устройств на основе лазерного лучевого сканирования для цифровой автоматической негатоскопии состоит в выборе критерия для оценки характеристик и параметров системы [1].

В первую очередь, необходимо количественно оценить динамические характеристики и параметры системы с целью качественного сравнения однотипных устройства с точки зрения их динамики, помехоустойчивости и выделения структур, вносящих наибольшие искажения в преобразуемый сигнал, чтобы наметить пути улучшения характеристик устройства в целом. Задача проектирования, при этом, состоит в выборе такой структуры и в расчете таких параметров и характеристик, которые обеспечивали бы наименьшие искажения выходной информации для всех возможных в процессе эксплуатации условий работы. Решение этой многоальтернативной задачи весьма сложно и часто требует использования современных математических методов с применением ЭВМ, решений логического, конструкторского и технологического характера, не поддающихся математической формализации.

В частности, эта задача анализа устройств на основе лучевых сканирующих информационных и измерительных систем для цифровой автоматической негатоскопии, формально может быть сведена к математической задаче анализа линейной регрессии [2], когда по результатам измерений S_{m1}, S_{m2}, ...,S_{mN} требуется определить ненаблюдаемые параметры объекта f_{m1}, f_{m2},...,f_{mK} . То есть, к решению уравнения вида

$$S = A \cdot F + N ,$$

где $S = (s_1, s_2, \ldots, s_{\iota}, \ldots, s_m)$ – вектор параметров управления; $A = (a_{ij})$ – матрица реализуемых (аппаратурных) функций; $F = (f_1, f_2, \ldots, f_j, \ldots, f_n)$ – вектор параметров объекта; $N = (\nu_1, \nu_2, \ldots, \nu_{\iota}, \ldots, \nu_m)$ – вектор ошибок.

В матричной форме линейную схему преобразования информации представляют в виде

$$\begin{vmatrix} S_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S_{Mn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{M1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{MK} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} f_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{Kn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \nu_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \nu_{Mn} \end{vmatrix} .$$

Для оптико-электронного преобразования F следует понимать как идеальный, без искажений и шума, сигнал (идеальное изображение объекта исследования), а S – как реальный сигнал (реальное изображение).

В работе [2] показано также, что решение задачи редукции для преобразования, например, реального изображения объекта в виде

$$R \cdot S = R \cdot A \cdot F + R \cdot N , \qquad (1)$$

можно интерпретировать так, будто изображение объекта получено на выходе другого устройства, которое лучше, чем устройство A. Нетрудно видеть, что решение уравнения (1) обеспечивает возможность синтеза идеального устройства.

Иными словами, проблема проектирования оптимального прибора, в нашем случае, сводится к решению задачи редукции к некоторому идеальному устройству. Идеальное устройство задается единичной матрицей

$$\bar{I} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 1 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & 1 & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & 1 \end{vmatrix} .$$

Тогда результат редукции к идеальному устройству имеет вид

$$\xi = R \cdot S = F + R \cdot N ,$$

где матрица (оператор) R удовлетворяет уравнению

$$R \cdot A = I .$$

На практике требуется редукция не к идеальному устройству, а к устройству, удовлетворяющему некоторым параметрическим требованиям. В частности, в задаче редукции рентгеновского изображения, преобразованного оптико-электронной системой, важно контролировать те параметры, которые определяют разрешающую способность прибора. А преобразованное в цифровую форму представление изображение

$$R_{\varepsilon} \cdot S = R_{\varepsilon} \cdot A \cdot F + R_{\varepsilon} \cdot N = \\ = U_{\varepsilon} \cdot F + (R_{\varepsilon} \cdot A - U_{\varepsilon})F + R_{\varepsilon} \cdot N$$

следует интерпретировать, как искаженное шумом $R_{\varepsilon} \cdot N$, $M \cdot |R_{\varepsilon} \cdot N|^2 \le \varepsilon$, изображение на выходе прибора $R_{\varepsilon} \cdot A$, с заданной точностью ε совпадающего с прибором U_{ε} (гарантированного качества), при-

чем синтезированный прибор $R_\varepsilon \cdot A$ будет ближайшим к U_ε.

Эффективность применения метода редукции данных для решения задачи проектирование систем лазерного лучевого сканирования (ЛСС) для цифровой автоматической негатоскопии состоит в том, что устройство может быть охарактеризовано в отдельности как измерительный прибор с заданными характеристиками [3]. Аппаратная функция прибора задается способом преобразования данных измерений и может быть определена на основе физического или математического моделирования и учтена с помощью тестовых испытаний. Причем, при лучевом сканировании способ преобразования информации из аналоговой формы в цифровую сводится к представлению сигнала в каждой точке и изображения в целом в виде цифрового массива. То есть, речь идет об аппаратной функции прибора в виде модели импульсного сигнала, положение и величина импульса в котором случайны, т. к. определяются не способом сканирования, а временными (пространственными) и амплитудными (яркостными) характеристиками преобразуемого сигнала (изображения). В идеале информация о микроструктуре объекта (входной сигнал) в лучевой сканирующей системе может быть представлена как дельта-функция, а форма объекта (структура изображения) может быть представлена в виде последовательности дельта импульсов, проходящих через линейную систему с заданной аппаратной функцией A.

Для иллюстрации эффективности применения методов редукции в задачах анализа разрешающей способности ЛСС рассмотрим одномерную линейную модель измерений вида

$$S(x_\iota) = \int_0^x A(x_\iota - x) \cdot f(x) \cdot dx \ , \ x_\iota \in [0, x] \cdot$$

Здесь A(·) – импульсная переходная функция прибора, f(·) – входной и S(·) – выходной сигналы. Информация о микроструктуре изображения (входной сигнал) может быть представлена, как

$$f(x_\iota) = f_\iota \cdot \delta(x_\iota - x),$$

где δ(x) – дельта функция Дирака, f_ι – уровень сигнала в точке x_ι, а форма объекта (или структура изображения) представляет собой последовательность очень коротких прямоугольных импульсов, проходящих через линейную систему с заданной непрерывной переходной характеристикой A(δ). Тогда, для $x \in [0, X]$

$$S(x_\iota) = \int_0^x A(x_\iota - x) \cdot f_\iota \cdot \delta(x_\iota - x) \cdot dx = A \cdot f_\iota (x_\iota - x)$$

отклик прибора на импульс в точке x_ι. Если на вход поступает сумма двух импульсов $f_\iota \cdot \delta(x_\iota - x) + f_{\iota+1} \cdot \delta(x_{\iota+1} - x)$, то отклик прибора будет равен сумме $f_\iota \cdot A(x_\iota - x) + f_{\iota+1} \cdot A(x_{\iota+1} - x)$.

На рисунках (Рис. 1, а и б) представлены отклики на сумму импульсов для двух приборов с "узкой" и "широкой" импульсными переходными характеристиками.

В первом случае говорят, что прибор разрешает импульсы, во втором – нет. При этом, качество прибора для импульсных входных сигналов можно грубо охарактеризовать "шириной" импульсной переходной функции. Чем "шире" переходная функция, тем хуже прибор. То есть, разрешающая способность прибора определяется через погрешность, что, собственно, и позволяет проблему повышения разрешения поставить как задачу редукции.

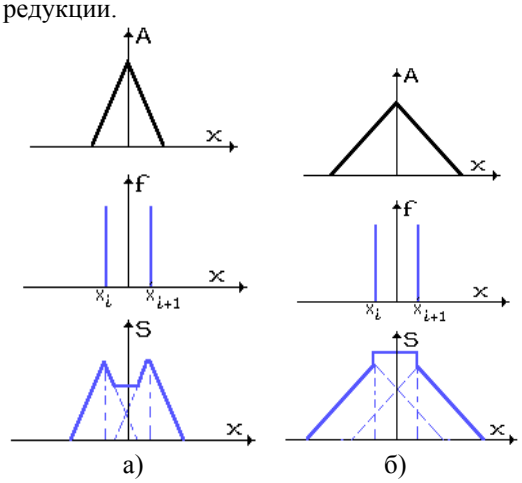


*Рис. 1. Характеристики преобразования сигналов: **A** – импульсная переходная функция, f – входной сигнал, S – выходной сигнал*

Таким образом, в задаче редукции данных, полученных с помощью ЛСС, требуется редукция к прибору с характеристиками, которые в конечном счете определяют шаг дискретизации (разрешение) и квантования (градационную или контрастную чувствительность измерений), если речь идет о преобразовании изображений.

Список литературы

1. Распознавание образов и медицинская диагностика/ Ю.И. Неймарк и др. – М.: Наука, 1972. – 328с.
2. Пытьев Ю.П. Математические методы интерпретации эксперимента. – М.: Высшая школа, 1989. – 351с.
3. Иванников В.П., Перепелов С.П. Контроль геометрических искажений и потерь информации при оптико-электронном преобразовании в диссекторных устройствах ввода изображений// Измерительная техника. – 1991. – N8. – С. 21-24.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТОЛЩИНЫ НЕПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Алимов Д.В., Гольдштейн А.Е.

Научный руководитель: Гольдштейн А. Е., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: alimov_dima@mail.ru

Введение

В настоящее время в различных сферах промышленной деятельности применяются защитные непроводящие покрытия.

Важнейшими функциями покрытия являются коррозионная защита, долговечность, а также привлекательный внешний вид изделия. Одним из существенных показателей качества покрытия является его толщина, от правильного выбора которой зависит эффективность защитной функции покрытия.

Для контроля толщины покрытий используются толщиномеры, основанные на различных принципах действия. В частности, для измерения толщины непроводящих покрытий ферромагнитных объектов широко применяются неразрушающие методы измерения, такие как магнитный метод.

Родственной задачей измерения толщины покрытий является измерение зазора между измерительным устройством и контролируемым объектом. На практике это можно использовать для бесконтактного контроля несоосности сварных соединений бурильных труб.

При измерении зазора одной из основных проблем является влияние края объекта контроля на результаты измерения (краевой эффект).

К счастью, оценить влияние краевого эффекта можно с использованием компьютерного математического моделирования.

Компьютерное моделирование позволяет снизить время на измерение и анализ, для выбранной конфигурации преобразователя, а также повысить точность, сократить стоимость преобразователя. Таким образом, математическое моделирование фактически позволяет сделать выбор оптимальной конструкции магнитного преобразователя в каждом конкретном случае.

Программное обеспечение для решения задачи

В качестве системы моделирования была выбрана система Maxwell компании Ansoft (подразделение ANSYS Inc). Данная система представляет собой программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используется для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей датчиков, трансформаторов и других устройств различного применения. Система базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method – FEM) и точно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах.

В качестве метода измерения при исследовании был рассмотрен магнитный взаимоиндуктивный метод контроля.

Данный метод основан на изменении магнитного потока, наводимого обмоткой возбуждения, через измерительную обмотку при изменении расстояния до объекта контроля.

Моделирование преобразователя

Для проведения расчётов в системе моделирования Ansoft Maxwell необходимо построить модель преобразователя в соответствии с разработанной конструкцией (рис. 1).

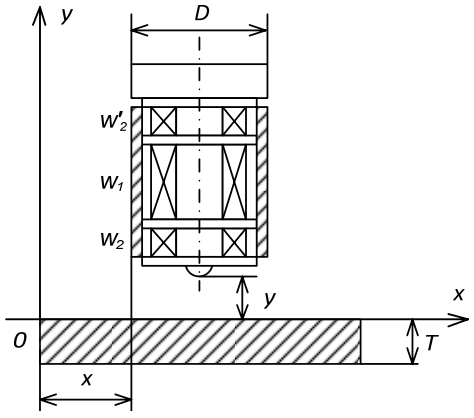


Рис. 1. Конструкция преобразователя

Измерительный преобразователь состоит из трёх обмоток: обмотки возбуждения w_1, измерительной обмотки w_2 и компенсирующей обмотки w'_2.

Обмотка возбуждения расположена в центральной части преобразователя между измерительной и компенсирующей обмотками. Компенсирующая обмотка w'_2 идентична w_2 и расположена симметрично относительно w_1. Обмотки w_2 и w'_2 включены последовательно, встречно, их суммарное начальное напряжение равно нулю.

Для уменьшения влияние края объекта на измерения, в преобразователе используется концентратор магнитного поля в виде ферромагнитного сердечника, представляющего собой стержень.

Кроме этого в преобразователе, также применяется цилиндрический экран, для уменьшения влияния внешних факторов и локализации магнитного потока.

Согласно описанной конструкции в Ansoft Maxwell была построена трёхмерная модель магнитного преобразователя (рис. 2).

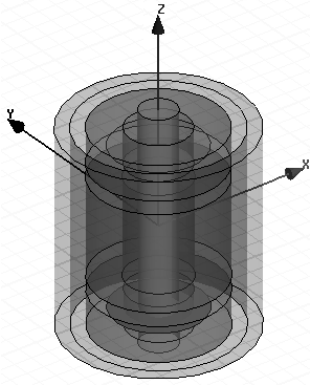


Рис. 2. Модель преобразователя

Полученная модель преобразователя позволяет произвести расчёты и оценить влияние краевого эффекта.

Результаты расчетов

Система Ansoft Maxwell не позволяет получить значение магнитного потока для трёхмерных моделей, поэтому в программу было внесено уравнение для определения магнитного потока:

$$\Phi_B = \iint_S B \cdot dS$$

С помощью проведенных методом конечных элементов расчетов получили результаты, при варьировании конструкции составляющих частей преобразователя. А именно было произведено варьирование геометрических размеров сердечника, положения измерительных обмоток, а также размеров экрана.

Полученные результаты показали, что увеличение диаметра стержневого сердечника даёт пропорциональное увеличение величины магнитного потока, наряду с этим, увеличивая и чувствительность. Увеличение длины сердечника, при одновременном перемещении измерительной и компенсирующей обмотки, также увеличивает измеряемое значение магнитного потока.

При помощи модели был оценен краевой эффект, при измерении зазора до электропроводящей пластины, и получены изображения распространения магнитного поля при влиянии края (рис. 3), а также без влияния края (рис. 4).

Светлым цветом показаны большие значения индукции.

Полученные с помощью моделирования результаты были сопоставлены с результатами, полученными экспериментально, что дало подтверждение адекватности результатов выбранной методики расчётов при моделировании.



Рис. 3. Распространение магнитного поля при краевом эффекте

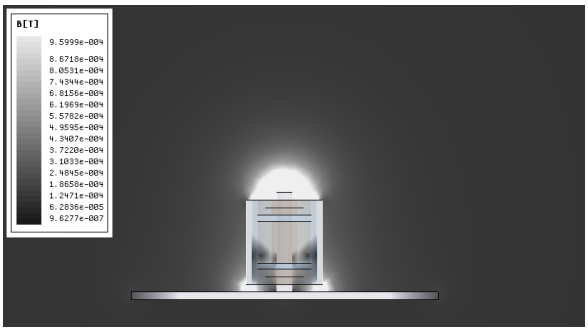


Рис. 4. Распространение магнитного поля без влияния края

Заключение

Серия выполненных экспериментов моделирования позволила найти оптимальную конструкцию преобразователя, исходя из требований к данной конструкции, обеспечив наименьшее влияние краевого эффекта на результаты измерений.

Полученные результаты в дальнейшем можно использованы при создании системы бесконтактного измерения несоосности сварных соединений бурильных труб, так как бурильные трубы имеют замок, поэтому при измерении несоосности непосредственно вблизи замка на результаты измерения оказывает влияние краевой эффект.

Список литературы

1. Физические основы измерительных преобразований: учебное пособие / А.Е. Гольдштейн. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 253 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 1997.
3. Алимов Д.В. Исследование влияния краевого эффекта при измерении толщины непроводящих покрытий ферромагнитных объектов // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. Сборник трудов II Международной научно-практической конференции молодых ученых. 23 – 25 ноября 2010 г. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – С. 315–316.
4. Алимов Д.В. Отстройка от краевого эффекта при реализации вихретокового метода измерения толщины непроводящих покрытий // Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах – т. 1 – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – С. 155-156.

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Горлов М.И., Смирнов Д.Ю., Антонова Е.А.

Научный руководитель: Горлов М.И., д.т.н., профессор

Воронежский государственный технический университет
394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, 14
E-mail: EAnt@inbox.ru

Как известно полевые транзисторы относятся к группе так называемых униполярных транзисторов, поскольку в основе их принципа действия лежит использование носителей заряда только одного знака (электронов или дырок). По своей конструкции они делятся на транзисторы с затвором в виде p-n-перехода и транзисторы с изолированным затвором (МДП-структуры) [1].

Основными электрическими параметрами полевых транзисторов с p-n-переходом являются: $U_{ЗИотс}$ – напряжение отсечки, т. е. напряжение, при котором происходит перекрытие канала (ток стока уменьшается до определенного заданного уровня); $I_{Снач}$ – начальный ток стока, т. е. ток стока при нулевом напряжении между затвором и истоком; S – крутизна характеристики; $I_{Зут}$ – ток утечки затвора (при $U_{си}$=0); $C_{сио}$, $C_{зсо}$, $C_{зио}$ – емкости сток – исток, затвор – сток, затвор – исток [1].

Выпускаются кремниевые полевые транзисторы с затворами в виде p-n-переходов с каналами p- и n-типов. Приборы с n-каналом имеют лучшую проводимость канала (и крутизну) за счет более высокой подвижности электронов, чем приборы с p-каналом при идентичном уровне легирования. Использование гребенчатой структуры канала позволяет, резко увеличив ширину канала, достигнуть более высоких значений начального тока стока и крутизны при сравнительно небольшом увеличении междуэлектродных емкостей.

Структура полевого кремниевого транзистора с диффузионным затвором в виде p-n-перехода и каналом n-типа схематически изображена на рис. 1.

Экспериментальные данные показывают, что радиационно-чувствительными параметрами полевых транзисторов с p-n-переходом являются начальный ток стока, крутизна характеристики, напряжение отсечки и ток утечки затвора. Изучение процессов восстановления указанных параметров транзисторов после облучения и дополнительные данные об их неизменности при рентгеновском облучении (когда энергия квантов недостаточна для образования объемных дефектов) убеждают в том, что эти параметры не зависят от состояния поверхности и их изменения при облучении определяются целиком процессом радиационного дефектообразования в объеме структуры прибора. Качественно одинаковый ход зависимостей этих параметров от потока облучения наблюдается при различных видах излучения (быстрые нейтроны, протоны, электроны) [2].

Так как параметры $I_{Снач}$, S и $U_{ЗИотс}$ не зависят от времени жизни, их изменение при облучении связано с радиационным изменением электрической проводимости кремния.

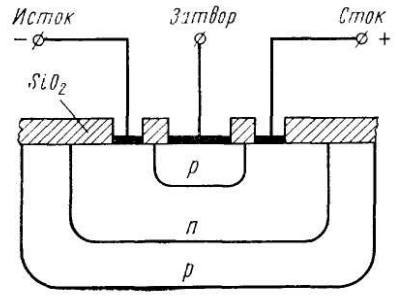


Рис. 1. Структура полевого транзистора с затвором в виде p-n-перехода и каналом n-типа [2]

Поставлена задача исследовать зависимость низкочастотного шума и электрических параметров транзисторов КП728Е1 от воздействия рентгеновского излучения.

Кремниевые эпитаксиально-планарные полевые транзисторы КП728Е1 с изолированным затвором, обогащением n-канала и встроенным обратносмещенным диодом. Предназначены для использования в источниках вторичного электропитанмя с бестрансформаторным входом, в регуляторах, стабилизаторах и преобразователях с непрерывным импульсным управлением, схемах управления электродвигателями и др. аппаратуре.

Методом случайной выборки было отобрано 10 транзисторов типа КП728Е1. Для каждого прибора сначала были измерены пороговое напряжение, $U_{зи\ пор}$, В, при $I_с$ = 2,5 мА, $U_{зи}$=$U_{си}$ и значения низкочастотного (НЧ) шума $\overline{U_{ш}^2}$ методом прямого измерения по выводам «исток – сток» на частоте f = 1000 Гц при рабочем токе 10 мА. Ширина полосы измерения частот Δf = 200 Гц, время усреднения τ = 2 с.

После измерений было проведено воздействие рентгеновским излучением на установке УРС-55 мощностью 0,5 Р/с в течение 2 ч, что составило дозу D=3600Р, с последующим измерением электрического параметра $U_{зи\ пор1}$ и значения напряжения НЧ шума $\overline{U_{шр}^2}$.

Затем все приборы повторно подверглись воздействию рентгеновским излучением на установке УРС-55 мощностью 0,5Р/с в течение 3ч, что составило дозу 5400Р (суммарная доза – 9000Р) с последующим измерением электрического параметра $U_{зи\ пор3}$ и значения напряжения НЧ шума $\overline{U^2_{шр2}}$, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры транзисторов КП728Е1 до и после рентгеновского облучения общей дозой 9000 Р

№ прибора	$U_{зи\ пор}$, В	$\overline{U^2_ш}$, мкВ	D = 3600 Р		D = 9000 Р	
			$U_{зи\ пор2}$, В	$\overline{U^2_{шр1}}$, мкВ	$U_{зи\ пор3}$, В	$\overline{U^2_{шр2}}$, мкВ
1	3,55	7,54	2,61	13,13	1,69	0
2	3,49	13,29	2,49	13,14	1,61	0
3	3,18	13,27	2,18	13,12	1,39	0
4	3,12	13,34	2,2	13,04	1,39	0
5	2,94	13,32	2,06	13,14	1,41	0
6	3,22	13,21	2,24	13,04	1,41	0
7	3,94	13,32	2,78	13,13	1,84	0
8	3,22	13,33	2,29	13,14	1,51	0
9	3,04	7,52	2,1	13,1	1,22	0
10	3,08	13,35	2,1	12,94	1,39	0

По табл. 1 построена зависимость порогового напряжения от дозы облучения (3600Р, 9000Р) для каждого транзистора типа КП728Е1 отдельно (рис. 2).

Как видно из таблицы 1 значение напряжения низкочастотного шума у большинства транзисторов типа КП728Е1 после дозы D = 3600Р практически не изменилось, кроме приборов под номерами 1, 9, у которых $\overline{U^2_ш}$ резко увеличилось. После повторного облучения дозой D = 5400Р все транзисторы вышли из строя, то есть можно сказать, что транзисторы КП728Е1 не стойки к рентгеновскому излучению дозой 4000÷8000Р.

Из рис. 2 видно, что пороговое напряжение транзисторов типа КП728Е1 линейно уменьшается при рентгеновском облучении общей дозой D = 9000Р. При этом значение $U_{зипор}$ всех транзисторов вышло за пределы заданного порога ($U_{зипорmin}$=2В).

Также видно, чем больше начальное значение $U_{зипор}$, тем больше величина критического значения дозы рентгеновского облучения.

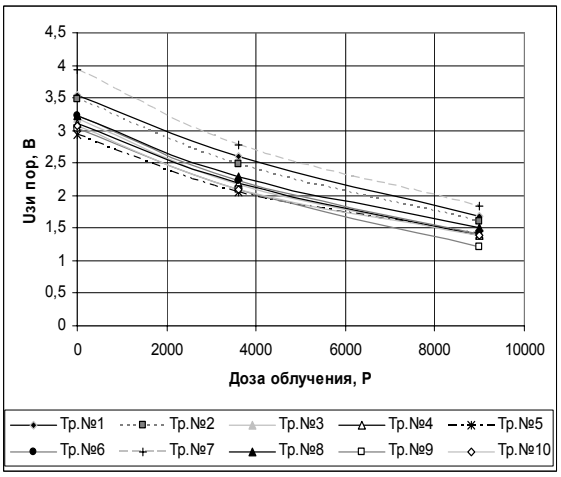


Рис. 2. Зависимость порогового напряжения транзисторов типа КП728Е1 от дозы облучения

Список литературы

1. Малин Б.В. Параметры и свойства полевых транзисторов / Б.В. Малин, М.С. Сонин. – М.: Энергия, 1967.
2. Кулаков В. М. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники/ В.М. Кулаков, Е.А. Ладыгин, В.И. Шаховцов и др.; под ред. Е.А. Ладыгина.– М.: Сов. радио, 1980.–224 с, ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ КОНГЛОМЕРАТОВ НА МЕХАНИЗМ СВЕТОПЕРЕДАЧИ В ОБЪЕМЕ КРИСТАЛЛА

Бабиков С.А., Буллер А.И., Колмакова Н.Н.

Научные руководители: Клименов В.А. д.т.н., профессор; Кулешов В.К., д.т.н., профессор.

Томский политехнический университет», г. Томск, ул. Савиных 7
E-mail: Bullerai@yahoo.com

Люминесценция как физическое явление широко известна, благодаря ее многочисленным и важным техническим применениям. Свечение экранов телевизоров и радиолокаторов, осциллографов и электронных микроскопов, рентгеновских экранов и люминесцентных ламп – все это различные примеры люминесценции. В этих и ряде других приборов и устройств используется способность светящихся веществ – люминофоров– трансформировать тот или иной вид энергии в видимый свет или, реже, в ультрафиолетовое или инфракрасное излучение.

Порошкообразные люминофоры для преобразования рентгеновского излучения на основе иодидов щелочных металлов могут быть получены прокаливанием смеси иодида, образующего основание люминофора, с иодидом активатора при температуре несколько ниже точки плавления первого, например при 500 С в случае CsI и 600 С в случае KI. Главная трудность состоит в обеспе-

чении образования однородных, достаточно мелких зерен правильной формы, что является условием получения экранов с минимальной структурной зернистостью. Эта цель может быть достигнута путем совместного осаждения исходной смеси иодидов из растворов в таких условиях, которые обеспечивают получение однородного по гранулометрическому составу порошка. При последующем прокаливании образуется сравнительно мелкозернистый (d=20 мкм) люминофор, пригодный для изготовления экранов. Впрочем, интенсивно люминесцирующий фосфор может быть получен и непосредственно из водных растворов без последующего прокаливания.

Относительно зависимости качества изображения от гранулометрического состава люминофора в литературе высказывались различные мнения. Исследования, проведенные в МНИРРИ, показали, что увеличение среднего размера зерен $CaW0_4$ с 5–6 до 12–17 мкм заметно влияет на разрешающую способность и ФПК экрана, причем это влияние тем сильнее, чем тоньше экраны. Причина его состоит в том, что при увеличении размера зерен уменьшается оптический путь лучей, исходящих от наиболее удаленных от регистратора слоев экрана вследствие уменьшения числа отражений и преломлений их на границе кристаллов и связующего вещества. Соответственно увеличивается угол, под которым эти лучи могут дойти до регистратора, не потеряв уровень сигнала. Вместе с тем для каждого люминофора, каждой избранной нагрузки его и технологии нанесения существует предел уменьшения размера зерен, переход через который уже не вызывает снижения экранной нерезкости. Это может быть связано с склонностью зерен к агрегации и с уменьшением плотности их упаковки. [1]

Структурная зернистость и ее зависимость от технологии изготовления экранов

Одной из часто встречающихся причин ухудения качества изображения является отчетливо видимая глазом зернистость или пятнистость изображения, обусловленная структурой экрана. Она приводит к увеличению порогового контраста $K_{пор}$ и ухудшению различаемости или к полному исчезновению на изображении мелких и малоконтрастных деталей, таких, как, например, камни в почках и желчном пузыре или пузырьки газа в сварном шве.

Размер зерен люминофора прямого влияния на структурную зернистость не оказывает, так как обычно он лежит за пределами того, что глаз в состоянии различить. Причина ее состоит в образовании зернами крупных агрегатов. Это явление особенно неблагоприятно сказывается на качестве тонких экранов (g = 20-30 мг-см^2), так как в этом случае наиболее вероятно образование промежутков между агрегатами, не закрытых верхними слоями люминофора.

Впрочем, видимая невооруженным глазом зернистость не обязательно означает наличие агрегатов, размер которых превышает пороговое значение, отвечающее предельной остроте зрения (100 мкм). Появление зернистости может быть также следствием статистически неоднородного распределения агрегатов, подобного пространственной неоднородности в распределении квантов рентгеновского излучения. Расчет показывает, что в случае $CaWO_4$ экранов со средним размером зерен ~7 мкм уже образование ими конгломератов размером 39–40 мкм может привести к различаемой глазом пятнистости, которая растет по мере уменьшения нагрузки люминофора и соответствующего уменьшения числа конгломератов.

Предотвращение агрегации зерен люминофора в процессе приготовления суспензии

Образование крупных скоплений слипшихся друг с другом зерен может произойти при получении суспензии по двум причинам. Одна из них состоит в неудовлетворительном диспергировании порошка в растворе связующего, вследствие чего агрегаты, образовавшиеся в сухом состоянии, не распадаются на составляющие их зерна. Вторая причина заключается в слипании зерен (флокуляции) под действием поверхностных сил после диспергирования. Образующиеся при этом скопления называются флокулятами.

Следует стремиться к выбору таких связующих веществ, которые адсорбируются на поверхности зерен люминофора, способствуя их разделению, т. е. играют роль защитного коллоида. Иногда для лучшего смачивания и диспергирования люминофора и для повышения агрегативной устойчивости суспензии в нее вводят специальные поверхностно-активные вещества – эмульгаторы. [2]

Большую роль играют природа люминофора и состояние его поверхности. Например, в растворах нитроцеллюлозы $CaWO_4$. $BaSO_4$–Pb, $Sr_{0,9}$ $BaO_{,1}$ SO_4–Eu И Y_2O_2S–Tb-люминофоры обладают высокой агрегативной устойчивостью и хорошей укрывистостью, т. е. способностью давать равномерные покрытия, тогда как ZnS–Ag обнаруживает склонность к флокуляции, приводящую к заметной структурной зернистости изображений. В то же время применение кремнийорганического лака дает возможность получить вполне удовлетворительные по этому показателю экраны и на основе ZnS–Ag.[3]

Важное значение имеет и форма зерен. Замечено, что пластинчатые и игольчатые кристаллы обладают большей склонностью к флокуляции, чем сферические зерна. Особенно трудно предотвратить слипание зерен неправильной формы с сильно развитой поверхностью. Такие зерна получаются при дроблении спека, образующегося при синтезе люминофора без плавня. Поэтому следует отдавать предпочтение прокаливанию шихты с плавнем, предотвращающим спекание и обеспечивающим получение хорошо ограненных и достаточно однородных по размерам зерен. [2]

Описание образца № 001---кристаллы размером 40-50 мкм образуют конгломераты округлой формы размером до100 мкм, более интенсивное свечение наблюдается на границе конгломератов, центры конгломератов темные.

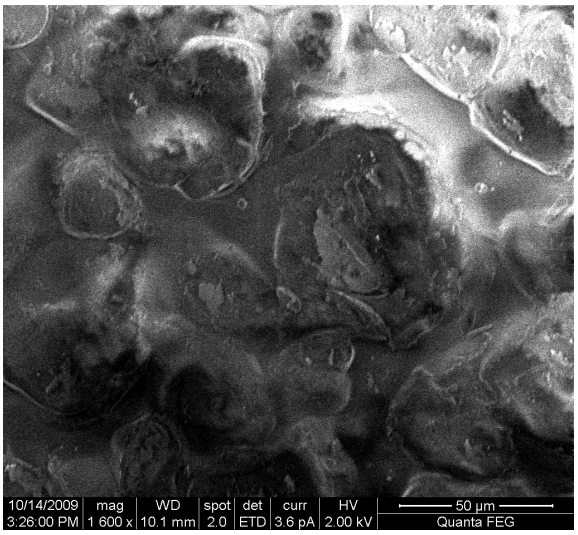


Рис. 1. Структура поликристаллического CsI(Tl) образец № 001 при 1600-кратном увеличении на сканирующем электронном микроскопе

Описание образца № 002---кристаллы округлые, размеры конгломератов до 200 мкм, четкое свечение границ.

Все изображения получены на сканирующем электронном микроскопе во вторичном электронном пучке.

По результатам исследования изображений поверхности поликристаллических экранов может быть сделан вывод о весьма четкой корреляций между характеристиками микроструктуры экранов и разрешающей способностью. В частности, установлено, что кристаллы и образованные ими конгломераты в объеме экрана действуют как микросветоводы с передачей света рентгенолюминесценции из объема кристалла на его границы. При этом эффективность светопередачи зависит от вида связующего, его количества, показателя преломления и способов изготовления экранов.

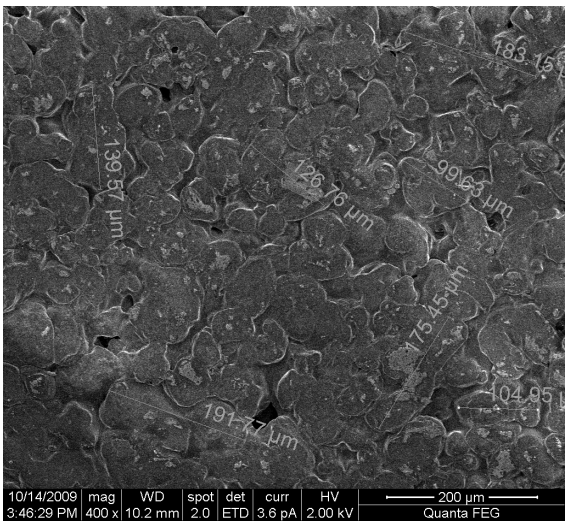


Рис. 2. Структура поликристаллического CsI(Tl) образец № 002 при 400-кратном увеличении на сканирующем электронном микроскопе

Список литературы

1. Гурвич А. М. Рентгенолюминофоры и рентгеновские экраны. -М.: Атоиздат. 1976. -152 с.
2. Гурвич А. М. Введение в физическую химию кристалофосфоров. Учебное пособие для втузов. -М.: Высшая школа. 1971. -336 с с илл.
3. Казанкин О.Н., Марковский Л.Я., Миронов И.А., Пекерман Ф.М., Петошина Л.Н. Неорганические люминофоры. – Л.: Химия, 1975.

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРЕДПОЖАРНОЙ СИТУАЦИИ В ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Бадыкшанов А.В., Галейченко Ю.Н.

Научный руководитель: Беседин С.Н., к.т.н., доцент

Волгоградский государственный педагогический университет, 400131 г. Волгоград, пр. Ленина, 27
E-mail: sergei_forsag@mail.ru

Развитие электроэнергетики и уровня генерируемых мощностей на различных объектах экономики (ОЭ) и транспорта – является ускорителем научно – технического прогресса во всех отраслях промышленности и транспорта, который сопровождается ростом уровней мощностей, а, следовательно, и энергонасыщенности помещений (ЭНП) различного класса и назначения. Рост энерговооруженности различных отраслей промышленности, атомных электрогенерирующих установок (АЭУ) и станций, морского и речного транспорта, сельского хозяйства и быта неразрывно связан с увеличением числа и видов применяемых электротехнических устройств, многие из которых являются потенциальными источниками пожарной опасности.

При нарушении режимов работы электроустановок и кабельной продукции в них происходит деструктивные явления, которые сопровождаются разрывом химических связей и выносом радикалов в окружающую среду которые рекомбинируют в газовоздушной среде (ГВС), формируют мо-

лекулярные системы состоящих из продуктов термоокислительной деструкции (ПТОД), накапливаются и являются потенциальными носителями информации о возникновении предпожарной ситуации (ППС).

Для построения молекулярных систем диагностики ППС в ЭНП необходимо на молекулярном уровне знать динамику формирования молекулярных систем, которые включают различные ПТОД.

Исследование ПТОД методом инфракрасной (ИК) спектроскопии разнообразных веществ и материалов, а также в помещениях судов морского базирования с АЭУ на номинальных режимах эксплуатации выявили закономерности формирования определенных молекулярных групп C-H, C=O, O-O, C-CL, N=O, C-O [1,2,3]. Что позволяет по их концентрации и интенсивности формирования в ГВС судит о степени опасности возникновения ППС [4].

Научная новизна исследований связана, с тем, что впервые обоснован подход обнаружения ППС по закономерностям формирования молекулярных систем ПТОД в ГВС ЭНП. В настоящее время процессы формирования ПТОД в ГВС методом ИК-спектроскопии малоизученны. Размеры молекулярных фрагментов ПТОД, по сравнению с дисперсионными макрофрагментами, на обнаружении которых построены все существующие системы обнаружения возгораний, находятся в пределах одного – двух нанометров [5].

Идентификация газообразных соединений образующихся в ПТОД кабельной продукции, в турбинном и электротехническом помещениях с АЭУ в зависимости от длительности работы оборудования показывает на значимую корреляционную зависимость образующихся газообразных соединений экспериментах и натуре.

Так в ГВС формируются общие для них углеводородные, карбонилсодержащиие, кислородосодержащие и хлорсодержащие соединения. Таким образом, процессы термоокислительной деструкции сопровождаются образованием углеводородсодержащих, карбонилсодержащих соединений и кислот, перекисей, гидроперекисей, озоносодержащих соединений (озониды), монозамещенных ароматиков, которые накапливаются и проявляются в ИК – спектре ГВС ЭНП [6].

Анализ ИК- спектров ГВС турбинного и электротехнического помещений с АЭУ показывают на формирование фоновых концентраций следующих групп, которые не превышают следующих значений:

для турбогенераторного помещения

- группа ar C-H $\rightarrow$ C=1,74 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 3030-3025 см $^{-1}$);

- группа C-H $\rightarrow$ C = 1,49 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 2970-2940 см $^{-1}$);

- группа C=O $\rightarrow$ C=6,74 10^{-6} моль/л (волновое число 2360 см $^{-1}$);

- группа C=O $\rightarrow$ C= 0,68 10^{-6} моль/л (волновое число 1760 см $^{-1}$);

- группа –O-O- $\rightarrow$ суммарная концентрация C =32,11 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 1200-800 см $^{-1}$);

для электротехнического помещения

- группа ar C-H $\rightarrow$ C=1,46 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 3030-3025 см $^{-1}$);

- группа C-H $\rightarrow$ C = 1,67 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 2970-2940 см $^{-1}$);

- группа C=O $\rightarrow$ C= 25,4 10^{-6} моль/л (волновое число 2360 см $^{-1}$);

- группа C=O $\rightarrow$ C= 0,68 10^{-6} моль/л (волновое число 1760 см $^{-1}$);

- группа –O-O- $\rightarrow$ суммарная концентрация C =17,12 10^{-5} моль/л (диапазон волновых чисел 1200-800 см $^{-1}$);

Все концентрации этих групп можно отнести к фоновым, которые являются концентрационными порогами для обнаружения ППС. При этом значения концентраций для углеводородной группы C-H не превышает $\approx 2{,}0\ 10^{-5}$ моль/л, кислородосодержащих соединений C=O (волновое число 2360 см $^{-1}$) $\approx 32\ 10^{-6}$ и $\approx 1.0\ 10^{-6}$ моль/л (волновое число 1760 см $^{-1}$).

Заключение

Таким образом, на номинальных режимах эксплуатации оборудования, в том числе электротехнического в ГВС образуются молекулярные системы, которые формируют в ЭНП фон, по изменениям которого можно обнаруживать возникновение кризисных ситуаций, в том числе предпожарных, а также судить о степени износа электротехнического оборудования.

Идентификация соединений и динамика молекулярных соединений газовых компонентов, которые образуются в ГВС электротехнических и турбосиловых судовых помещениях, дает основание судить на молекулярном уровне о фоновой составляющей тех или иных газовых компонентах ПТОД. Что дает косвенное представление о степени износа электротехнического оборудования.

Результаты исследования позволяют обосновывать и уточнять параметры интерференционных дифференциальных фильтров, необходимых для построения систем диагностики ППС [6]. Решение этой проблемы поднимет на новый качественный уровень противопожарную защиту различного класса ЭНП объектов экономики, энергетики, транспорта, что позволит минимизировать экономический ущерб и людские потери.

Список литературы

1. Афанасьев Ю.А., Беседин С.Н. Научно- технические основы диагностики пожароопасной ситуации методом инфракрасной спектроскопии. М. Черноголовка: Сборник тезисов 10-го симпозиума по горению и взрыву. Сборник горение. Химическая физика процессов горения и взрыва, 1992, с. 162-163.
2. Беседин С.Н., Афанасьев Ю.А. Патент РФ № 2022250, бюл. №20, 1994 на изобретение «Способ диагностики предпожарной ситуации и устройство для его осуществления».
3. Беседин С.Н. Диагностика и прогноз формирования кризисной ситуации в энергонасыщенных помещениях с учетом зондирования газовоздушной среды. Известия Самарского научного центра РАН, ELPIT – 2007, серия «Экология», 2007, с.23-28.
4. Беседин С.Н. Новый подход к диагностике и прогнозу формирования предпожарной ситуации в энергонасыщенных помещениях. Журнал безопасность жизнедеятельности, № 1, – М.: 2009, с. 48-52.
5. Органическая химия: В 4-х частях. Ч.1/О.А.Реутов, А.Л.Курц, К.П.Бутин. 3-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009,567 с.
6. Беседин С.Н. Формирование молекулярных систем продуктов термоокислительной деструкции в газовоздушной среде энергонасыщенных помещений. Известия Самарского научного центра РАН, Том 12 № 4 (360), 2010, с.76-84.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Баранов П.Ф.

Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bpf@tpu.ru

Введение

Метод микроплазменного оксидирования находит все более широкое применение для изменения поверхности материалов с целью придания им требуемых функциональных свойств путем формирования на них оксидных керамических покрытий [1]. В настоящее время метод вышел на промышленный уровень, который требует разработки высокоэффективных источников питания, измерительного оборудования и программного обеспечения для нанесения покрытий и контроля технологических параметров процесса микроплазменного оксидирования.

Одним из основных информационных параметров процесса нанесения покрытий способом микроплазменного оксидирования являются вольтамперные характеристики процесса.

Вольтамперные характеристики зависят от вида обрабатываемого материала и состава электролита, что позволяет использовать их для диагностики природы сплавов, для прогнозирования и конструирования качества покрытий, а также контроля и управления процессами формирования функциональных керамических покрытий [2].

В настоящей работе представлена разработанная на кафедре компьютерных измерительных систем и метрологии информационно-измерительная система (ИИС) для исследования микроплазменных процессов в электролитах.

Состав информационно-измерительной системы

Разработанная ИИС построена с применением модульного подхода, что подразумевает построение механических, аппаратных и программных частей ИИС из более мелких унифицированных частей модулей. Система таких модулей строится по иерархическому принципу, когда более сложный модуль состоит из нескольких более простых модулей, при этом более сложный модуль приспособлен к интеграции с другими модулями своего уровня, для построения модуля уровнем выше.

ИИС состоит из трех основных модулей:

- Модуль регистрации, сохранения и накопления полной формы сигналов токов и напряжений в цифровом виде в памяти ЭВМ;
- Модуль построения динамических вольтамперных зависимостей, идентификации, классификации и отображения их на экране монитора;
- Модуль трехмерной визуализации вольтамперных зависимостей по динамическим характеристикам процесса для последующего детального анализа.

Первый модуль является программно-аппаратным модулем – рисунок 1.



Рис. 1. Структурная схема модуля регистрации, сохранения и накопления вольтамперных зависимостей

Задающие напряжение U с источника питания подается через делитель напряжения 1:100 на первый вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), на второй вход АЦП поступает напряжения с выхода преобразователя ток – напряжение, пропорциональное току, протекающему в электрохимической ячейке.

В качестве делителя напряжения используется делитель фирмы «Tektronix», преобразователь ток – напряжение представляет собой датчик тока фирмы «Honeywell» *CSNL181-002*, в качестве АЦП используется осциллограф фирмы «GW INSTEK» *GDS-71062A*. В процессе измерения в ЭВМ синхронно вводятся данные о напряжении, поступающего с источника питания, и токе, протекающем через электрохимическою ячейку.

Виртуальная панель для управления первым модулем представлена на рисунке 2.

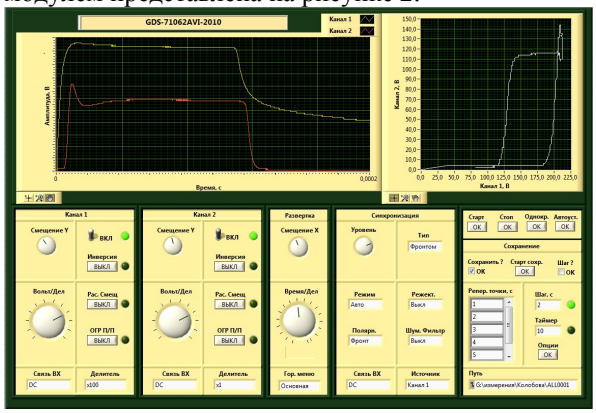


Рис. 2 Виртуальная панель модуля регистрации, сохранения и накопления вольтамперных зависимостей

Второй и третий модули являются полностью программными, разработанными в среде графического программирования *LabVIEW* – рисунок 3 и 4 соответственно.

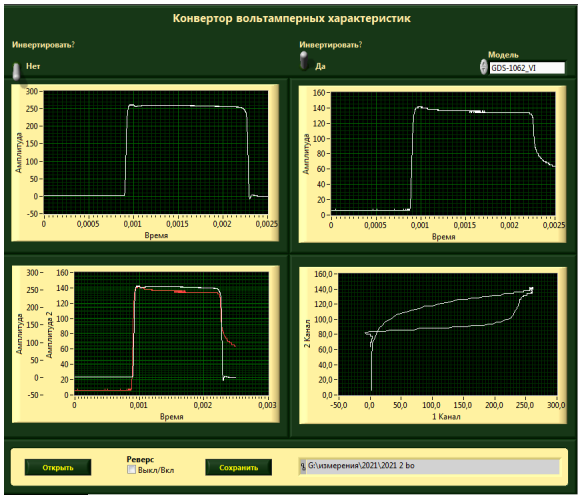


Рис. 3 Виртуальная панель модуля построения динамических вольтамперных зависимостей

Построенные по экспериментальным данным вольтамперные кривые от поляризующего напряжения доказали предположение о том, что вольтамперные зависимости изменяются от состава сплава, на который воздействуют микроплазменные процессы при одинаковом времени и одинаковых концентрациях компонентов в растворе электролита – рис. 5.

Каждому сплаву соответствует своя, характерная только ему кривая. В начальный период формирования покрытия изменения на поверхности электрода столь малы, что не оказывают существенного влияния, а лишь являются отображением свойств, т.е. химического состава материала.

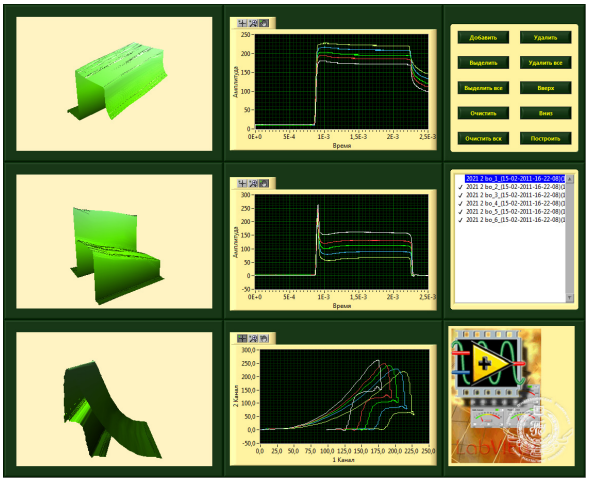


Рис. 4 Виртуальная панель модуля трехмерной визуализации вольтамперных зависимостей

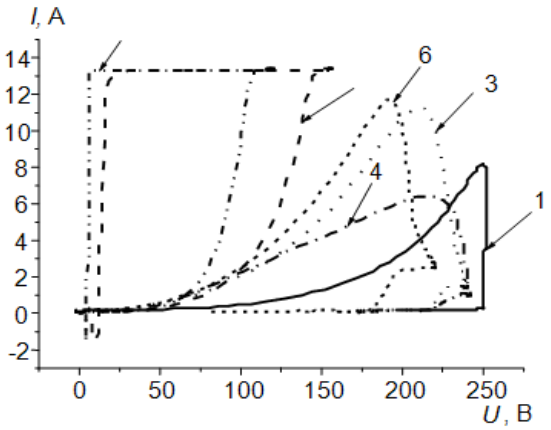


Рис. 5. Вид вольтамперной зависимости микроплазменного процесса от состава материала электрода в одном и том же растворе электролита: 1 – алюминиевый сплав 2021; 2 – магниевый сплав АМ60В; 3 – алюминиевый сплав АМц, 4 – алюминиевый сплав АМг; 5 – магниевый сплав AZ91D; 6 – алюминиевый сплав Д16

Заключение

С помощью информационно измерительной системы были определены общие тенденции, наблюдаемые при анализе вольтамперных характеристик разных сплавов:

- сдвиг кривых в область высоких потенциалов с увеличением времени обработки материала подложки;
- изменение угла наклона вольтамперной кривой;
- сдвиг точки перегиба в область больших значений напряжения с увеличением времени процесса;
- уменьшение сигнала общего (суммарного) тока с увеличением времени;
- уменьшение активной составляющей тока с увеличением времени процесса, связанное с ростом покрытия;

• при более длительном проведении процесса (5 – 10 минут и более) вольтамперные кривые сливаются, стремясь к некоторой усредненной кривой, причем если время обработки превышает 10 минут, то на графике *I* от *U* будет зафиксирована лишь одна вольтамперная кривая.

Список литературы

1. Мамаев А.И. Сильнотоковые процессы в растворах электролитов / А.И. Мамаев, В. А. Мамаева. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 255 с.

2. Мамаев А.И., Мамаева В.А., Бориков В.Н., Дорофеева Т.И. Автоматизированный способ идентификации металлов и сплавов. Патент на изобретение №2281487

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СКВАЖИННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ

Барбин Е.С., Семкин И.М.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: semkin_iv@sibmail.com

В настоящее время широкое применение и развитие в вертикальном сейсмопрофилировании (ВСП) находит метод многоволновой сейсморазведки. Источник возбуждения находится на поверхности Земли на определенном расстоянии от скважины, приемник располагается внутри поджатого к стенке скважины прибора, преимущественно в вертикальной скважине [1, с.10-18].

При проведении многоволновой разведки используются трёхкомпонентный сейсмический зонд, оси которого взаимно ортогональны. Снятие показаний зонда ведется с определенным шагом по всей глубине скважины. Регистрирующая аппаратура располагается на поверхности. Так как скважинный прибор опускается в скважину каротажным кабелем и в процессе может совершать вращательные движения, его ориентация в азимуте является неопределенной. Возникает необходимость применения системы ориентации. Использование магнитной системы ориентации в обсаженных скважинах невозможно, поэтому система ориентации должна быть гироскопической.

Один из вариантов был предложен и реализован в сейсморазведочной аппаратуре «МОСТ» [2]. В аппаратуре использовался гироскоп с шарикоподшипниковыми опорами низкой точности. Погрешности от дрейфа гироскопа составляли несколько градусов. Люфт в опорах подвеса платформы создает паразитные колебания. Кроме того, большое время разгона и выбега гироскопа снижало производительность работ на скважине. Вышеизложенные недостатки аппаратуры «МОСТ» заставили искать новые пути решения задачи.

Другой вариант был реализован на основе применения системы аналитического гирокомпасирования [3]. Главной особенностью зонда является то, что, приведение осей чувствительности сейсмоприемников (СПx, СПy, СПz) осуществляется не в результате их физического разворота, а путем виртуального разворота этих осей.

Сейсмоприемники ориентированы в приборной системе координат (СК), связанной с прибором. Основная идея аналитического определения ориентации осей чувствительности сейсмоприемников и их приведения в требуемое угловое пространственное положение состоит в том, чтобы, рассматривая сигналы трех сейсмоприемников как три проекции некоторого переменного вектора $\bar{S}$ в приборной СК провести преобразование их в локальную СК – горизонтальную СК, имеющую общее начало с приборной СК и две оси которой лежат в вертикальной плоскости, содержащей пункт возбуждения (ПВ) (рис. 1).

Преобразование происходит в три этапа. Сначала определяется ориентация приборной СК OXYZ по отношению к горизонтальной географически ориентированной СК Oξηζ и находится соответствующая матрица направляющих косинусов, чтобы перейти от приборной СК к горизонтальной географически ориентированной СК. Далее происходит преобразование последней в локальную СК с нахождением матрицы направляющих косинусов от горизонтальной географически ориентированной СК в локальную. И наконец, находится матрица перехода от приборной СК в локальную СК с преобразованием вектора $\bar{S}$ в локальную СК. При этом предполагается, что параметры трех сейсмоприемников идентичны и не зависят от пространственной ориентации их осей чувствительности.

Аппаратура, применяемая для ВСП, состоит из наземной и скважинной частей, которые соеди-

нены каротажным кабелем. В наземный комплекс входит ЭВМ, которая управляет режимами, синхронизирует работу скважинного прибора (СП), производит запись и обработку полученной информации из скважинных приборов. Также в наземный комплекс входит контроллер, который осуществляет связь между приборами, которые находятся на поверхности и скважинными, источник питания, контрольный сейсмоприемник и систему синхронизации возбуждения. Скважинная часть состоит из трех идентичных зондов, которые соединены отрезками каротажного кабеля, определяющими шаг, с которым производится измерение. Каждый зонд содержит модем, микропроцессор, блок преобразования информации, гироскопический модуль ориентации, прижимное устройство, источник питания и модуль сейсмоприемников.

Для определения ориентации приборной системы координат OXYZ по отношению к горизонтальной географически ориентированной СК Oξηζ, применяется система аналитического гирокомпасирования. Принцип работы такой системы опирается на использование в качестве опорных двух векторов – вектора ускорения силы тяжести, две проекции которого измеряются двумя линейными акселерометрами на основе датчиков типа ДА-11 (Ax, Ay) и вектора угловой скорости вращения Земли, две проекции которого измеряются двухкомпонентным гироскопическим измерителем угловой скорости (ДГИУС), построенного на основе динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ) типа ГВК-6, применяемого в изделиях авиационной промышленности. Диаметр скважинного прибора в этом случае составлял 105 мм.

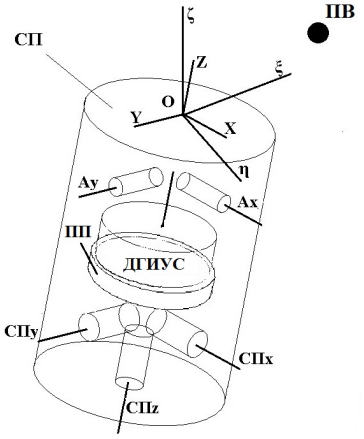


Рис. 1. Принципиальная схема скважинного прибора

Определяющими факторами точности системы ориентации, использующей аналитический принцип построения опорных направлений, являются точность чувствительных элементов, а именно – датчиков акселерометров и ДНГ, а также алгоритмов преобразования.

В настоящее время актуальным является создание скважинного прибора, диаметр которого не должен превышать 73 мм. Поэтому стало невозможным строить ДГИУС на основе гиродатчика ГВК-6, ввиду его массогабаритных параметров. Возникла необходимость заменить гиродатчик ГВК-6 на более малогабаритный чувствительный элемент, сохранив при этом, а, возможно, и улучшив точностные характеристики системы ориентации.

Среди существующих отечественных гиродатчиков на основе ДНГ единственным подходящим по точностным и массогабаритным параметрам является КИНД 05-089 производства Пермской Научно-Производственной Приборостроительной компании [4].

Практика использования гиродатчика КИНД 05–089 показала наличие ошибки от пуска к пуску. Это означает, что при измерении одной и той же угловой скорости в разных пусках получаются различные значения. Решением данной проблемы может быть установка гиродатчика на одноосной поворотной платформе (ПП), разворачиваемой специальным приводом относительно корпуса на 180°. На рис.1 привод разворота платформы не показан. С помощью ДГИУС измеряем угловую скорость, затем платформа разворачивает ДГИУС строго на 180° вокруг оси, совпадающей с осью вращения ротора гиродатчика, в плоскости XY приборной СК и повторно снимаем значение. Далее информация обрабатывается с помощью специальных алгоритмов и определяется ориентация сейсмоприемников. Для исключения ошибки от пуска к пуску замеры производятся при двух положения гиродатчика, отличающих друг от друга разворотом строго на 180°. Искомую угловую скорость находим как полуразность результатов этих замеров. В итоге на выходе получаем сложение двух разнонаправленных и одинаковых по модулю составляющих этой ошибки, что сводить ее к нулю. Полученные данные обрабатываются ЭВМ.

Данная концепция построения справедлива только в том случае, если выходная характеристика ДГИУС является линейной и её коэффициент передачи от пуска к пуску не меняется. Указанным требованиям удовлетворяет ДГИУС, построенный на основе гиродатчика КИНД 05–089.

Предложенная схема и принцип построения системы ориентации, дополненные соответствующими алгоритмами, достаточно эффективны и могут быть использованы в многоволновой разведке.

Список литературы

1. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований – М: Недра, 1977. – С. 344.
2. Белянин Л.Н. Скважинная гироскопическая система ориентации трехкомпонентного сейсмического зонда // Гироскопия и навигация.-2003. №1. – С. 19-30.
3. Лебедев К.А., Карстен В.В. и другие. Разработка аппаратуры вертикального сейсмопрофилирования с гироскопическим ориентированием //Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях» – Томск, 19-21 ноября 2003 г. / Под ред. Л.Я. Ерофеева. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2003. – С. 107-111.
4. http://www.ppk.perm.su

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ

Бедарева Е.В.

Научный руководитель Муравьев С.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: blv85@sibmail.com

Введение

Коаксиальные шунты применяются в лабораториях больших мощностей для точных измерений больших переменных токов, как в режиме короткого замыкания так и импульсном режиме. Одним из важнейших показателей качества коаксиальных шунтов переменного тока являются их динамические характеристики. Цель работы заключалась в разработке с помощью программного продукта MatLab моделей полученных ранее [1, 2] в аналитическом виде переходных характеристик трубчатых и коаксиальных шунтов. Результаты моделирования позволят определить дальнейшее направление в практических исследованиях динамических характеристик коаксиальных шунтов переменного тока.

Шунты переменного тока характеризуются рядом метрологических характеристик, среди которых важное место занимают динамические характеристики. Динамические характеристики описывают поведение шунтов во временной или частотной областях.

При нормировании динамических характеристик шунтов переменного тока обычно используется переходная характеристика (реакция на ступенчатое воздействие), которая позволяет определить частотный диапазон и постоянную времени шунта.

Моделирование динамических характеристик коаксиальных шунтов

Существует несколько подходов к получению аналитического вида переходной характеристики шунтов переменного тока. Получение данной характеристики основываются на решении уравнений Максвелла.

В монографии [1] переходная характеристика выведена для трубчатого шунта при условии его конструктивных параметров и наличия вихревых токов в токовой цепи. Конструктивные параметры трубчатого шунта представлены на рис. 1. С учетом данных условий переходная характеристика трубчатого шунта имеет следующий вид:

$$V(t) = I_0 R_0 \left[1 - 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^{m+1} e^{-\frac{m^2\pi^2}{\mu\sigma d^2} t} \cos\left(\frac{m\pi x}{d} \right) \right] \quad (1)$$

где I_0 – сила тока; R_0 – сопротивление шунта; σ – удельная проводимость материала; μ – относительная магнитная проницаемость; d – толщина резистивной трубки; t – время; x – положение элементарного слоя.

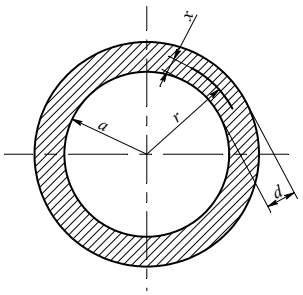


Рис. 1. Конструктивные параметры резистивной трубки шунта

При $x = 0$ потенциальный сигнал трубчатого шунта подключен к внутренней поверхности трубки, как показано на рис. 2.

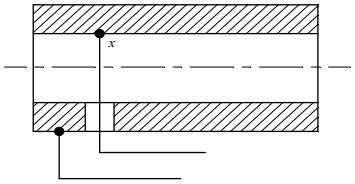


Рис. 2. Подключение потенциального провода при x = 0

При $x = d$, потенциальный сигнал трубчатого шунта подключен к внешней поверхности трубки, как показано на рис. 3.

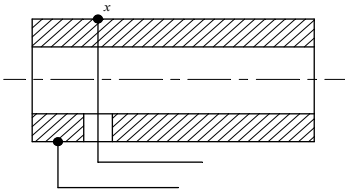


Рис. 3. Подключение потенциального провода при x = d

Вид переходной характеристики связан с отношением $\frac{x}{d}$. На рис. 4 показано семейство переходных характеристик, построенное для разных значений отношения $\frac{x}{d}$ с помощью программного пакета MatLab.

Авторы [1] утверждают, что расчетные соотношения, полученные для трубчатых шунтов, справедливы и для коаксиальных шунтов.

В [2] приводится подробный алгоритм определения переходной характеристики коаксиального шунта с использованием функций Бесселя:

$$V(t) = \frac{l}{2\pi\sigma r d} \left[1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^{m} e^{-\frac{m^2\pi^2}{\mu\sigma d^2} t} \right] \quad (2)$$

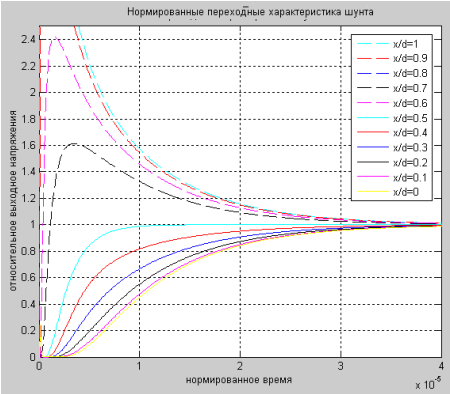


Рис. 4. Семейство переходных характеристик трубчатого шунта

Построенная по формуле (2) переходная характеристика традиционного коаксиального шунта показана на рис. 5 (прерывистая линия). Если измерительный провод подключен, как показано на рис. 6, то переходная характеристика будет иметь вид второй кривой, показанной на рис. 5 (непрерывная линия). Все возможные переходные характеристики шунта располагаются между этими двумя крайними границами.

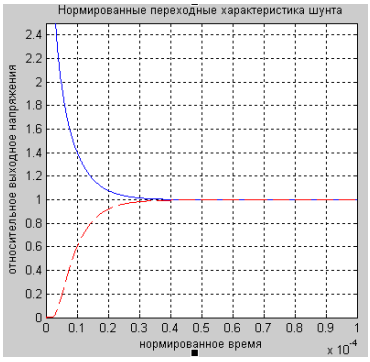


Рис. 5. Переходные характеристики коаксиального шунта

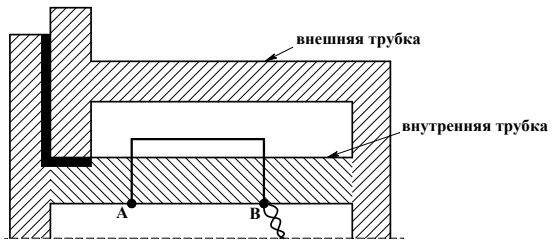


Рис. 6. Подключение потенциальных выводов в коаксиальном шунте

Из результатов, представленных на рис. 5, ясно, что выходной сигнал шунта сильно зависит от расположения этих точек, а также от способа размещения сигнальных проводов.

Экспериментальные исследования динамических характеристик коаксиального шунта

Практические исследования затруднительны из-за отсутствия источника больших токов от 100 А до 50 кА. Для того, чтобы экспериментально определить переходную характеристику коаксиального шунта переменного тока можно использовать схему на рис. 7 [3]:

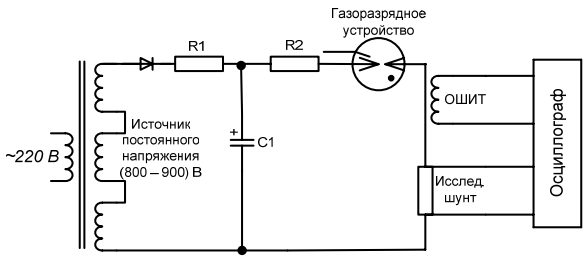


Рис. 7. Схема эксперимента

Конденсатор C_1 заряжается напряжением с источника постоянного напряжения через однополупериодный выпрямитель до напряжения пробоя газоразрядного устройства. При срабатывании газоразрядного устройства по исследуемому шунту и образцовому широкополосному импульсному трансформатору (ОШИТ) течет импульсный ток. Переходные характеристики исследуемого шунта и ОШИТ фиксируются осциллографом.

Достоинством этого подхода является то, что источник тока килоамперного диапазона заменяется на сравнительно легко реализуемый источник постоянного напряжения.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований и построения математической модели переходных характеристик коаксиального шунта установлено, что для улучшения переходной характеристики необходимо корректно выбирать конфигурацию подключения потенциальных выводов. В дальнейшем будут исследованы динамические характеристики для всех случаев подключения потенциальных выводов коаксиального шунта переменного тока.

Работа проведена в соответствии с грантом № НК-566П/13 по направлению «Создание электронной компонентной базы» в рамках мероприятия 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Список литературы

1. Болотин И.Б., Эйдель Л.З. *Измерения при испытании аппаратов в режимах короткого замыкания.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1988. – 200 с.
2. Johnson C.M., Palmer P.R. *Current measurement using compensated coaxial shunts* // IEE Proceedings. Science, Measurement and Technology. Vol.141, issue: 6, 1994. – p. 471 – 480
3. Cherbaucich C., Crotti G., Kuljaca N., Novo M. *Evaluation of the dynamic behavior of heavy current shunts* // IEE Proceedings. Science, Measurement and Technology. Vol.141, issue: 6, 2003. – p. 586 – 589.

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ПЕРЕПРОГРАММИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ

Белоусов В.О.

Научный руководитель: Воробьева Г. С. , к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Slavic-2005@ya.ru

Современные промышленные и бытовые устройства отличаются сложной структурой, которая позволяет им решать целый ряд прикладных задач. За выполнение определенной функции отвечает система управления прибора, основой которой является микроконтроллер.

Самостоятельно микроконтроллер не может выполнять никаких функций. Для него следует написать программу и сохранить ее в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) микроконтроллера. После подачи питания он сразу же начнет ее выполнение. Выполняя имеющуюся программу, микроконтроллер становится способным управлять электронным устройством. После того, как программа написана и откомпилирована (переведена на язык, понятный ядру микроконтроллера), ее можно загрузить в память.

В зависимости от типа программируемого микроконтроллера, внутренняя память обладает своей структурой и организацией. В общем случае, внутренняя память микроконтроллера делится на: память данных, память программ, регистры специального назначения (fuse – биты), содержимое которых определяет режимы работы микроконтроллера и/или его периферии. Программирование микроконтроллера – это заполнение каждой области памяти своей специфической информацией.

Для улучшения работы устройства или расширения его функций может потребоваться сменить алгоритм управления. По причине износа с течением времени, при работе в запрещенных режимах или при эксплуатации в тяжелых условиях элементы электронного прибора меняют свои характеристики. Изменение характеристик может также требовать корректировки алгоритма управления устройством. Таким образом, изменение программы в уже эксплуатируемых устройствах является актуальным вопросом.

Перепрограммирование может производиться непосредственно специалистом или удаленно, без необходимости выезда к устройству. Существуют несколько способов программирования: параллельное, последовательное и самопрограммирование.

Для осуществления параллельного программирования микросхемы вставляются в специальную колодку программатора, обеспечивающую электрический контакт со всеми выводами микросхемы. Программатор формирует в соответствии со спецификацией производителя необходимые последовательности сигналов, которые подаются на определенные выводы программируемого микроконтроллера.

У большинства современных микроконтроллеров для программирования предусмотрен последовательный интерфейс. Двоичные значения кодов и команд, управляющих процессом программирования, подают на предназначенный для этого вывод микросхемы разряд за разрядом, сопровождая синхронизирующими импульсами на другом выводе. При этом процесс программирования управляется компьютером

Переход с параллельного интерфейса программирования, требовавшего задействовать почти все выводы микроконтроллера, на последовательный привел к значительному упрощению программаторов. Еще больше упростил процесс программирования перенос внутрь микроконтроллеров сложной автоматики, формирующей импульсы строго определенной длительности и повышенного напряжения. В результате, у микроконтроллеров появилась способность самопрограммироваться. При этом память условно разделяют на загрузочный сектор (bootloader), способный считывать, стирать и записывать новое содержимое памяти программ и область памяти для основной программы.

Способность программирования из загрузочного сектора является наиболее эффективным методом перепрограммирования устройств. Для того чтобы bootloader сохранил новую программу, ее следует передать микроконтроллеру. Существует большое количество интерфейсов обмена данными.

Все существующие технологии передачи данных можно разделить по способу передачи данных на две категории: проводные и беспроводные.

В современных беспроводных системах все больше информации передается в цифровом виде. Беспроводная среда, для которой сегодня используется в основном микроволновый диапазон, отличается высоким уровнем помех, которые создают внешние источники излучения, а также многократное отраженные от стен и других преград полезные сигналы.[1] Поэтому в беспроводных системах связи применяют различные средства, направленные на снижение влияния помех. Это, в свою очередь, усложняет алгоритмы приема и пе-

редачи данных по таким сетям, что ведет к увеличению стоимости оборудования и уменьшению размера сектора основной программы.

Все проводные интерфейсы микроконтроллерных систем можно разделить по способу передачи данных на параллельные и последовательные.

Параллельные интерфейсы характеризуются высокой скоростью передачи, однако, для реализации подобного интерфейса требуется большее количество физических линий, что ограничивает их использование на больших расстояниях.

Развитие технологии для обеспечения целостности сигнала от передатчика до приёмника и достаточно высокая скорость передачи данных делают последовательные шины конкурентоспособными. В последовательных интерфейсах данные передаются побитно и в свою очередь подразделяются на синхронные и асинхронные интерфейсы.

Для организации передачи данных в синхронных последовательных интерфейсах, как правило, используется две линии, одна из которых используется для передачи информации, а вторая для синхронизации передачи данных.

В асинхронных интерфейсах используются другие способы синхронизации источника и приемника. Например, до передачи кадра данных передается преамбула для вхождения приемника в побитовую и побайтовую синхронизацию с передатчиком. Преимуществом асинхронных интерфейсов над синхронными является снижение количества линий связи, что снижает общую стоимость кабеля.

Сравнительные характеристики различных последовательных интерфейсов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики последовательных интерфейсов

Интерфейс	Пропускная способ-ность	Длина кабеля (м)	Метод синхронизации
RS-232	115,2 Кбит/с	15-20	синхронный/асинхронный
USB	1,5Мбит/с – 5 Гбит/с	5для микроконтроллеров 3 т е 3-5	синхронный/асинхронный
Firewire	100-1600 Мбит/с	4.5	асинхронный
CAN	10 Кбит/с-1Мбит/с	5000	синхронный
I2C	10 кбит/с-3,4Мбит/с	4	синхронный
Ethernet	10Мбит/с-10Гбит/с	100	асинхронный

Большими пропускными способностями обладают последние версии интерфейсов Firewire. Наиболее протяженным является CAN-интерфейс, но самым эффективным является интерфейс Ethernet, благодаря своей популярности, так как он лежит в основе сети Internet, что позволяет передавать данные из любой точки мира. Максимальное количество поддерживаемых устройств – 2^{48}.

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема системы

Программа работы системы дистанционного перепрограммирования делится на две части: загрузочную и основную. Загрузочная часть должна быть способна получать данные посредством Ethernet, проводить процесс самопрограммирования системы и запускать основную программу. Основная программа реализует управление системой.

Для реализации требуется микроконтроллер, обладающий достаточным быстродействием для реализации получения данных посредством Ethernet. Кроме того, микроконтроллер должен обладать возможностью самопрограммирования.

Описанными характеристиками обладает недорогие 8-ми битные контроллеры компании Atmel. Мною была выбрана плата Ethernut V2.1, где для реализации Ethernet используется дополнительный контроллер LAN91C111. [2]

Рекомендуемый разработчиками, программный комплекс Nut/Os реализует основные протоколы верхнего уровня: стек TCP/IP, TELNET, HTTP и другие.

На основе этой платы для экспериментов было создано устройство управления светодиодом.

Система представляет из себя Telnet-сервер, воспринимающий команды из сети Internet. Плата соединена кабелем витой пары категории 5 и находится на расстоянии 20м от ближайшего коммутационного устройства. В результате удалось обнаружить, что устройство подключено к сети и готово к обмену данными (для этих целей использовалась команда ping), а также организовать обмен данными с устройством (система удаленно получала команды на зажигание и гашение светодиода).

Следующим шагом в проектировании системы предполагается реализация передачи посредством сети Internet программы для сохранения и выполнения системой.

Обладая высокопроизводительным ядром, проектируемая система может использоваться в схеме управления достаточно сложной аппаратуры. Возможности дистанционного программирования позволяют менять алгоритм работы устройства без необходимости непосредственного контакта с микроконтроллером.

Список литературы

1. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
2. Ethernut Version 2.1 Hardware User's Manual.

ПРИЁМ РАДИОСИГНАЛОВ С МИКРОСПУТНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

Бойко М.С.

Научный руководитель: Кудрявцев И.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
443086, Россия, г.Самара, ул. Московское шоссе, 34
E-mail: mariya.boyko@mail.ru

В настоящее время микроспутники интенсивно разрабатываются многими университетами, как перспективные площадки для проведения научно-исследовательских работ.

Научно-образовательный микроспутник Lapan-Tubsat был выведен на полярную орбиту в мае 2006 г. индийским ракетоносителем PSVL (Polar Satellite Launch Vehicle).

В создании, испытаниях и эксплуатации микроспутника и его наземного сегмента принимают участие научно-исследовательские, опытно-конструкторские, производственные и образовательные организации [1].

В рамках программы TEMPUS в СГАУ создана станция приёма/передачи телеметрических сигналов с наноспутников, включая LAPAN-TUBSAT. Станция рассчитана на работу в диапазонах 144/430 МГц, что не позволяет принимать передаваемый спутником в S-диапазоне видеосигнал камеры дистанционного зондирования Земли ДЗЗ.

Для контроля и управления микроспутником созданы наземные станции в Индонезии (Rancabungur, Bogor; Rumpin, Jakarta; Biak, Papua East of Indonesia), а также станция в Берлине (Spuzbergen, TU Berlin). Наземная спутниковая станция Lapan-Tubsat состоит из двух систем: системы приёма видеоизображения в S-диапазоне (рис. 1) и системы телеметрии и радиоуправления.

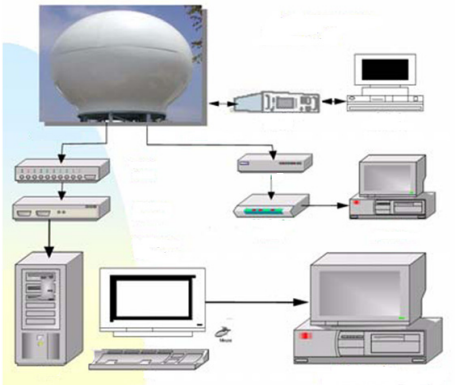


Рис. 1. Станция для приёма видеосигнала в S-диапазоне: диаметр параболической антенны – 4,5 м, диаметр антенны с обтекателем – 5,5 м

Для приёма видеосигнала, передаваемого микроспутником Lapan-Tubsat, используются параболические антенны диаметром 5-7 м (рис. 1) с регулируемым приводом. Недостатками этого типа антенн являются большое количество механических частей и подверженность действию атмосферных факторов, а также высокая стоимость изготовления и эксплуатации. Воздействие ветра может исказить форму зеркала и понизить коэффициент использования поверхности. Это налагает серьезные требования к жесткости конструкции зеркала и опорно-поворотного устройства. Более технологичной альтернативой параболическим антеннам являются фазированные антенные решётки (ФАР), состоящие из системы планарных отражателей [2].

Планарная отражательная антенна в своей конструкции объединяет свойства параболического зеркала и планарной структуры полосковых резонаторов. Подобно параболическому зеркалу, преобразующему сферический фронт волны, излученной первичным излучателем, в плоский фронт, образующий остронаправленное излучение антенны, планарная структура полосковых резонаторов также выполняют главную задачу антенны преобразования сферического фронта первичного излучателя в плоский фазовый фронт волны антенны. При этом планарная структура полосковых резонаторов имеет малый вес, малые габариты и проста в изготовлении.

На рисунке 2 показана простейшая схема планарной отражательной антенны. На плоской отражающей поверхности расположены планарные элементы, размеры которых подобраны так, чтобы фаза отраженной волны от каждого элемента компенсировала разность фаз между сферическим фронтом волны и плоским фронтом. Компенсация разности фаз приводит к тому, что сферический фронт первичного излучателя после отражения от планарных элементов превращается в плоский фазовый фронт [3].

Для расчёта параметров плоской антенной решётки использованы следующие параметры излучаемого спутником сигнала и передающей антенны: вид модуляции – FM; рабочая частота – 2200 МГц; – излучаемая мощность – 3 Вт; коэффициент усиления по отношению к изотропному лучу – 8 дБ.

Спутник находится на полярной орбите на высоте 630 км, наклонение орбиты 97,6◦ с периодом 99,039 минут, долгота около 24,828◦.

В качестве приёмного устройства для ориентировочного расчёта использован портативный приёмник Miniport R&S EB200 фирмы Rohde&Schwarz. Необходимые для расчёта характеристики: диапазон частот от 10 кГц до 3 ГГц; коэффициент шума на частотах от 1,5 ГГц до 2,7 ГГц менее 14 дБ.

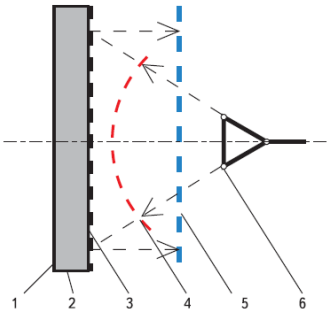


Рис. 2. Схема планарной отражательной антенны: 1 – металлизация, 2 – диэлектрическая подложка, 3 – решетка отражающих элементов, 4 – сферический фазовый фронт, 5 – плоский фазовый фронт, 6 – приёмная антенна

Мощность сигнала, излучаемого спутником, на поверхности Земли, определяется выражением [4]:

$$П = D * \frac{P_C}{4\pi R^2}$$ и составит 3,795x10^{-12} Вт/м^2, где

П – плотность потока, Вт/м^2 ; D – КНД излучающей антенны спутника; Pc – выходная мощность, Вт; R – расстояние до спутника, м.

Минимальная мощность, необходимая на входе антенной решётки:

$P = kT * dF(k_ш - 1)$, где k – постоянная Больцмана; T=273 К; dF=6 МГц; kш – сумма коэффициента шума приёмника (9дБ) и значения желаемого отношения сигнал шум на выходе антенны. При kш=23дБ, величина P составит 4,48x10^{-12} Дж.

Функция для нахождения общего КНД антенной решётки [4]:

$$E(D) = \frac{\lambda^2 DP}{4\pi}$$, где λ – длина волны, λ=0,136 м.

По графику на рисунке 3 можно определить, что приемлемая величина мощности сигнала на входе антенной решётки достигается при КНД равном 29 дБ.

Тогда эффективная площадь решётки определяемая по формуле [4]:

$$S_a = \frac{D * \lambda^2}{4\pi}$$ составит 1,177 м^2.

При реализации антенной решётки по печатной технологии роль отражающих элементов выполняют печатные вибраторы. В случае однонаправленного излучения при сдвиге фаз токов в вибраторах равном ±90^0 и расстоянии между вибраторами d=λ/4, получим что напряжённость поля удваивается по сравнению с полем одиночного вибратора, возбуждаемого током, одинаковым с текущим по одному из связанных вибраторов [5]. Таким образом, КНД одного вибратора будет равен 6 дБ. Следовательно, необходимое количество вибраторов – 196 (решётка 14x14 вибраторов).

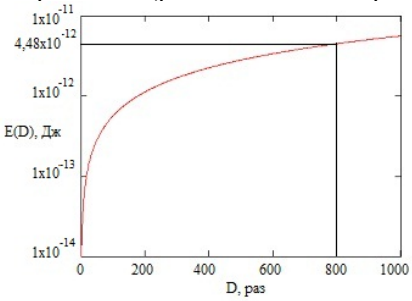


Рис. 3. Зависимость мощности входного сигнала антенной решётки от значения её КНД

Для расчёта диаграммы направленности предлагаемой антенной решётки используем метод приближённых ЭДС [5]. Расчёт произведён в цилиндрической системе координат.

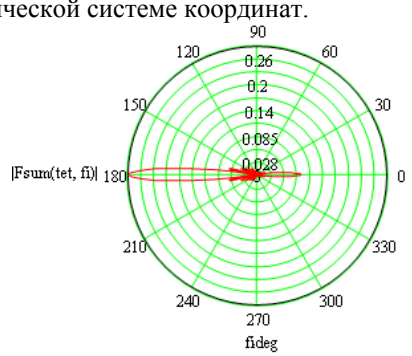


Рис. 4. Суммарная диаграмма направленности антенной решётки

Полученная в результате моделирования диаграмма направленности подтверждает возможность приёма видеосигнала с микроспутника в S-диапазоне при использовании системы из 196 вибраторов.

Рассмотренная реализация приёмной антенны имеет ряд подвижных механических частей, не обладает возможностью электронного сканирования, в отличие от ФАР, но соответствует представленным требованиям и является экономически выгодной.

Список литературы

1. Toto Marnanto Kadri, Adi Sadewo Salatun Indonesian LAPAN-TUBSAT Micro-Satellite Developmen//Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAF-14). – 2007.
2. Вендик, О.Г. Плоская отражательная печатная антенна или параболическая антенна – что технологичнее?// Беспроводные технологии. – 2007- №1. – С. 26-29.
3. Вендик, О.Г. Фазированная антенная решётка – глаза радиотехнической системы // Соросовский образовательный журнал: Санкт-Петербургский электротехнический университет. – 1997. – №2. – С. 115-120.
4. Воскресенский Д.И. Проектирование фазированных антенных решёток: учебное пособие для вузов/ Д.И. Воскресенский. –М.: Радиотехника, 2003– 632 с.
5. Айзенберг Г.З. Коротковолновые антенны/ Г.З. Айзенберг, С.П. Белоусов, Э.М. Журбенко.– М.: Радио и связь, 1985. – 543с.

УСТАНОВКА ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Бурцева Л.Б., Редько В.В.

Научный руководитель: Редько В.В., к. т. н., доцент

Томский политехнический университет, РФ, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Lubai@tpu.ru

На всех этапах производства кабельное изделие подвергается различным видам контроля и испытаний. Одним из наиболее часто используемых методов испытания кабельного изделия является электроискровой метод. Суть метода заключается в прикладывании к каждому участку поверхности изоляции кабельного изделия высокого напряжения различных форм непосредственно в процессе его движения по экструзионной линии. При прохождении кабельного изделия через зону высокого напряжения в месте дефектного участка в изоляции, вследствие резкого снижения электрической прочности изоляции, происходит искровой пробой, что фиксируется аппаратурой электроискрового дефектоскопа. Такое метод контроля позволяет выявить и максимально быстро устранить различные виды дефектов в изоляции кабельного изделия, а также исключить возможность возникновения массового брака продукции.

С настоящее время на территории РФ основополагающим документом, в котором утверждены требования к проведению таких испытаний, является ГОСТ 2990 [1]. Однако, в связи с неоднократными нареканиями со стороны кабельных производств в сторону компетентности ГОСТ 2990 в части электроискрового метода контроля изоляции (категория ЭИ-2, «на проход») [2], вышеуказанный документ в скором времени будет заменен готовящимся к выходу ГОСТ Р МЭК 62230 [3].

Ввести в действие этот стандарт планируется уже к началу 2012 года. Многие положения обсуждаемого стандарта отличаются от прежних, и это ставит перед метрологическими службами кабельных предприятий ряд задач по изменению условий электроискрового метода контроля. С введением нового стандарта невозможно использование подобных аттестационных установок, разработанных в соответствии с европейским стандартом, и успешно применяемых сейчас в европейских странах, так как требования нового ГОСТа имеют некоторые поправки, отличающие его от стандарта МЭК, используемого в Европе. Поэтому возникает необходимость в разработке оборудования и методики для аттестации электроискровых дефектоскопов, которые бы полностью соответствовали новым требованиям.

Вывод о необходимости разработки аттестационного оборудования можно сделать исходя из данных о распространенности таких дефектоскопов на предприятиях кабельной промышленности. Для подавляющего большинства видов кабельных изделий и полуфабрикатов типа изолированная жила, входящих в состав более сложных кабельных изделий, электроискровой метод контроля является обязательным, поэтому электроискровые дефектоскопы различных видов присутствуют практически на каждой экструзионной линии и участках контрольных перемоток любого кабельного предприятия. Учитывая, что в среднем на каждом кабельном предприятии не менее 10 экструзионных линий, примерно столько же участков перемоток, а предприятий кабельной промышленности в России более 200, можно утверждать, что в стране используется минимум 4000 единиц дефектоскопов. Такое количество этого оборудования требует от метрологических служб предприятий их эксплуатирующих существенных затрат сил и времени. Разрабатываемое аттестационное оборудование обеспечит простоту и легкость в использовании и снижение затрат по времени, затраченного на аттестацию испытательного оборудования.

Реализация проекта по разработке аттестационного оборудования проходит на базе ООО «НПО Редвилл» при НИИ ТПУ [4]. Аттестационное оборудование планируется реализовать в виде мобильной установки. Это должно значительно облегчить процедуру аттестации испытателей, устранить затруднения, связанные с выводом из эксплуатации с линии дефектоскопов на длительное время, трудности с монтажом и демонтажем габаритного оборудования.

Основными пунктами аттестации являются:

1. Определение относительной погрешности измерения испытательного напряжения внутренних киловольтметров электроискровых дефектоскопов.
2. Проверка допустимых отклонений испытательных напряжений при изменении уровней напряжения и частоты питающей сети и при максимальных нагрузках.
3. Проверка чувствительности к определению дефектов.
4. Измерение максимальных токов короткого замыкания.

Все указанные пункты реализованы в аттестационной установке, структурная схема которой показана на рисунке 1.

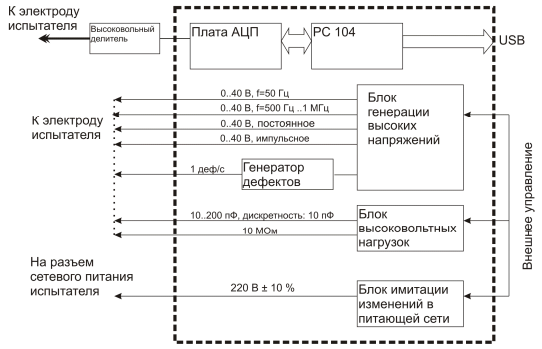


Рис. 1 Структурная схема установки для аттестации электроискровых дефектоскопов

Первым основным пунктом процедуры аттестации является калибровка внутреннего киловольтметра электроискрового дефектоскопа. В соответствии с новыми нормативными требованиями аттестационная установка должна содержать средства для измерения испытательных напряжений всех форм: переменного частотой 50 Гц, переменного в диапазоне частот от 500 Гц до 1 МГц, а также постоянного и импульсного напряжений. Проверка производится с помощью сравнения показаний образцового киловольтметра аттестационной установки и внутреннего киловольтметра электроискрового дефектоскопа. По нормативным требованиям инструментальная погрешность образцового киловольтметра не должна превышать ±2%.

Основной элемент образцового киловольтметра – высоковольтный делитель напряжения. На данный момент разработан делитель высокого напряжения, линейность амплитудно-частотной характеристики которого имеет уровни отклонения, достаточные для поддержания заданной точности измерения в диапазоне частот до 10 кГц (применяемые в настоящее время электроискровые дефектоскопы сконструированы на испытательное напряжение с частотой максимум 5 кГц) при уровнях измеряемых напряжений до 40 кВ.

Для проверки допустимых уровней отклонений в измерении испытательного напряжения при изменении амплитуды и частоты питающего напряжения и нагрузки аттестационная установка должна иметь в составе средства, имитирующие с заданной точностью указанные условия.

Проверка чувствительности по определению дефектов будет производиться по методике, изложенной в проекте готовящегося ГОСТа. Для ее реализации планируется разработать устройство, имитирующее пробой в изоляции – генератор дефектов. Указанное устройство подключается между электродом и заземлением и с помощью сопротивления при самых низких испытательных напряжениях задается ограничение по току. Затем генерируется 20 дефектов, каждый их которых должен быть подсчитан без ложных срабатываний. Ту же проверку повторяют при закороченном сопротивлении, подключенной максимальной нагрузке и при максимальных испытательных напряжениях. Сложность задачи заключается в том, чтобы точно ограничить время пробоя генератора дефектов, т.к. оно должно соответствовать минимальному времени срабатывания автоматики искрового испытателя. Такое ограничение можно осуществить включением после искрового промежутка генератора дефектов высоковольтного реле, время срабатывания которого равно минимальному времени срабатывания автоматики испытателя. К вышеописанным требованиям по характеристикам подходят высоковольтные реле фирмы GIGAVAC (США). С их помощью можно реализовать конструкцию, обеспечивающую ряд пробоев со строгой периодичностью и ограничением по времени.

Помимо всех перечисленных блоков аттестационная установка дополнится устройствам, обеспечивающим измерение токов, и измерительным щупом.

Важной задачей остается метрологическое обеспечение аттестационного оборудования, т.к. по ГОСТ Р 8.568-97 [5] требуется разработка методики калибровки внутренних средств измерений, аттестация самой установки, так как она является испытательным оборудованием.

В настоящее время подана заявка на полезную модель.

Список литературы

1. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
2. Свендровский А.Р., Редько В.В. Предложения по внесению изменений в требования стандарта ГОСТ 2990-78 «Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением» // «Кабели и провода» №2, 2009. – с. 32-33.
3. ВНИИКП. Проект стандарта на электроискровой метод испытания изоляции кабельных изделий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.vniikp.ru/patent_page. phtml?item_id=2235 свободный. – Загл. с экрана.
4. ООО «НПО «Редвилл» (РФ). Сайт компании. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.redwill.ru свободный. – Загл. с экрана.
5. ГОСТ Р 8.568-97. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАВЕРНОМЕТРИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СКВАЖИНЫ ПО ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЕ

Бычков И.Н.; Волченко Ю.А., к.т.н; Нургалиев О.Т., к.т.н.

Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bychkovin@mail.ru

Цементирование нефтегазопромысловых и нефтегазоразведочных скважин – один из наиболее ответственных этапов их строительства. Некачественное цементирование скважин приводит к сокращению срока их службы, требует больших затрат на ремонтные работы по разобщению пластов, может привести к гибели скважины и даже месторождения.

Для цементирования скважины необходимо точно знать объём затрубного пространства скважины после ввода в неё обсадной колонны. Неправильное или неточное определение объёма затрубного пространства влечёт за собой неправильный подсчет необходимого количества цементного раствора, что сильно увеличивает издержки при строительстве скважины, а в случае недосчёта – порчу цементной колоны из-за недостачи раствора. Поскольку стенки скважины имею сложное строение и покрыты кавернами (полости в горных породах неправильной или округлой формы размером более 1мм), необходимо высчитывать объём затрубного пространства с учётом коэффициента каверзности k[1]:

$$V_{з.п.} = \frac{\pi}{4}[(kD^2 - d^2)H + d_1^2 h],$$

где D,d,d_1 – соответственно идеальный диаметр скважины (долота), наружный и внутренний диаметр обсадной колонны, H – высота подъема цементного раствора, h – высота оставленного в скважине цементного стакана. В общем случае сечение скважины не является круглым, поэтому при кавернометрии за его поперечный размер (условный диаметр) принимается диаметр круга, площадь которого равна площади сечения скважины плоскостью, перпендикулярной к её оси. Кавернометрию проводят с помощью каверномеров, спускаемых в скважину на каротажном кабеле. Этот процесс сам по себе имеет ряд недостатков, а именно – увеличение материальных затрат, увеличение временных затрат, высокая погрешность измерений с увеличением глубины скважины.

Современное состояние науки и методов неразрушающего контроля позволяет определять объём затрубного пространства без использования кавернометрии, с меньшей погрешностью и меньшими затратами времени и средств.

При бурении скважины вся выбуренная порода выходит на поверхность вместе с буровым раствором, а, следовательно, зная объём выбуренной породы $V_п$ можно совершенно точно вычислить объём затрубного пространства $V_{з.п.}$, поскольку объём обсадной колонны $V_к$ легко найти зная её диаметр:

$$V_{з.п.}=V_п - V_к$$

Для того чтобы вычислить объём выбуренной породы необходимо знать ее минералогическую плотность и её концентрацию в буровом растворе.

Концентрацию твёрдой фазы (выбуренная порода) в буровом растворе можно определить, зная истинную плотность бурового раствора на входе в скважину и на выходе из неё.

На входе в скважину измерение плотности бурового раствора гамма-плотномером даёт значение истинной плотности, поскольку раствор дегазирован. На выходе из скважины гамма-плотномер будет измерять кажущуюся плотность, поскольку буровой раствор помимо выбуренной породы будет содержать также попутные углеводородные газы, которые будут уменьшать значение плотности. Таким образом, для точного определения истинной плотности бурового раствора на выходе из скважины также необходимо синхронно измерять истинное газосодержащие бурового раствора.

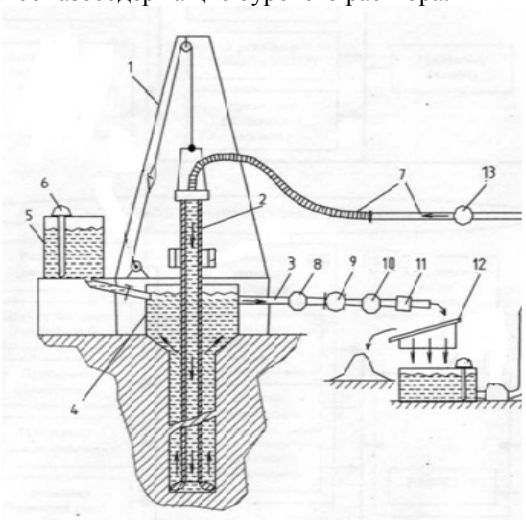


Рис 1. Схема установки датчиков на буровой: 1 – буровая вышка; 2 – бурильная колонна; 3 – желоб; 4 – устье скважины; 5 – доливочная емкость; 6 – уровнемер; 7 – труба манифольда; 8 – датчик общего газосодержания; 9 – датчик уровня раствора в желобе; 10 – датчик плотности раствора на выходе из скважины; 11 – датчик расхода (из скважины); 12 – вибросито; 13 – датчик плотности раствора на входе в скважину

Итак, имея два датчика плотности бурового раствора (гамма-плотномеры на входе и выходе из скважины), датчик определения истинного газосодержания на выходе из скважины и расходомер можно вычислять объём выбуренной породы. Примерная схема установки датчиков показана на рис. 1.

Первый радиоизотопный датчик плотности устанавливается на входе в скважину (на манифольде), а второй радиоизотопный датчик плотности на выходе из скважины (отводе желоба). Рядом со вторым датчиком плотности устанавливается датчик общего газосодержания.

Синхронная работа датчика плотности на входе в скважину, датчика плотности и датчика общего газосодержания на выходе из скважины позволяет через каждые 5 минут вычислять концентрацию твердой фазы (выбуренной породы) в буровом растворе на выходе из скважины по формуле [2]:

$$C=[\rho_{пор}\times(\rho_2-\rho_1)/\rho_2\times(\rho_{пор}-\rho_1)]\times 100\%$$

где, $\rho_{пор}$ – минералогическая плотность разбуриваемой породы; ρ_1 – плотность бурового раствора на входе в скважину; ρ_2 – плотность смеси бурового раствора и шлама породы на выходе из скважины.

При наличии природного газа в смеси бурового раствора и шлама выбуренной породы измеренная плотность смеси $\rho_{изм}$ связана с истинной плотностью смеси ρ_2 соотношением:

$$\rho_{изм}=\rho_2\times(1-\Theta)$$

где, Θ – общее газосодержание, выражаемое в долях единицы.

Используя показания объемного расходомера и датчика плотности, установленных на выходе из скважины через каждые 5 минут вычисляется текущее значение массового расхода выбуренной породы на выходе из скважины на формуле[3]:

$$Q_м=A_0\times Q_{об}\times\rho_2\times C\ [г/с]$$

где, $Q_{об}$ – объемный расход бурового раствора, л/с; ρ_2 – плотность смеси бурового раствора и шлама на выходе из скважины, г/см^3; C – массовая доля выбуренной породы, %; $A_0 = 10^3$ – коэффициент перехода от 1 дм^3 (литра) к 1 см^3.

Далее вычисляют массу выбуренной породы за время контроля (время бурения) данных параметров по формуле:

$$M=Q_м\times\Delta T\ [г]$$

где, ΔT – время контроля, выраженное в секундах.

По массе M выбуренной породы и известной ее минералогической плотности $\rho_{пор}$ вычисляют точный объем пробуренной скважины по формуле:

$$V=M/\rho_{пор}\ [см^3]$$

При подстановке аргументов получим общую формулу для вычисления объёма выбуренной скважины по предлагаемой методике:

$$V=\frac{A_0 Q_{об}\Delta T(\rho_2-\rho_1)}{(\rho_{пор}-\rho_1)}$$

Для сравнения относительных погрешностей кавернометрии и предлагаемого метода нужно сравнить относительные погрешности формул вычисления объёма выбуренной скважины.

Для метода кавернометрии:

$$\delta(V)=\delta(\frac{\pi}{4}kD_{дол}{}^2H)=\delta(k)+2\delta(D_{дол})+\delta(H)$$

$$=\delta(\overline{D})+3\delta(D_{дол})+\delta(H)$$

т.к $k=\frac{\overline{D}}{D_{дол}}$, где $D_{дол}$ - диаметр долота, $\overline{D}$ - средний диаметр скважины.

Большинство каверномеров обеспечивают точность до 10мм, средний диаметр скважины по долям проходки 250-350 мм, отсюда следует, что $\delta(\overline{D})$ находится в пределах 3%-4%. Учитывая истирание долота на забое, примем $\delta(D_{дол})$=5%, в итоге получи, что $\delta(V)$ равен 18-19%.

Для предлагаемого метода:

$$\delta(V)=\delta(\frac{A_0 Q_{об}\Delta T(\rho_2-\rho_1)}{(\rho_{пор}-\rho_1)})=$$

$$=\delta(Q_{об})+\rho(\Delta T)+\delta(\rho_2-\rho_1)+\delta(\rho_{пор}-\rho_1)$$

Современные приборы позволяют измерять требуемые величины со следующими максимальными относительными погрешностями: $\delta(Q_{об})$=1.5%, $\delta(\rho_1)$=1%, $\delta(\Theta)$=5%, $\delta(\rho_{пор})$=0.1%, $\delta(\rho_2)$=6%. Если учесть диапазоны изменения переменных лежат в пределах $\rho_{пор}$ 1,8-3, ρ_1 1.15-1.25, ρ_2 1,15-2.5 [г/ см^3], то получим, что $\delta(V)$ по предложенной методике лежит в пределах 16-17%

Таким образом, относительная погрешность предложенного метода меньше относительной погрешности метода кавернометрии. Следует отметить, что метод кавернометрии: 1) сложен или невозможен для применения в горизонтально направленных скважинах, 2) невозможен для применения при зарезке боковых стволов скважины, 3) опасен в неустойчивых скважинах из-за опасности осыпания ствола скважины, 4) увеличивает относительную погрешность метода при увеличении длины скважины и при плохой промывки, из-за остаточной глиняной корки, 5) требует дополнительных временных и материальных затрат.

Предложенный метод позволить полностью исключить операцию кавернометрии для определения объема затрубного пространства скважины, снизив все материальные и временные затраты, а также поможет снизить перерасход цемента, поскольку обладает меньшей погрешностью

Список литературы

1. А.И. Булатов Технология цементирования нефтяных и газовых скважин – М: НЕДРА 1983
2. Г. Гарт. Радиоизотопное измерение плотности жидкостей и бинарных систем. – М. Атомиздат, 1975.
3. П.П. Кремлевский. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989.

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Васильев А.С., Губарев Ф.А., Федоров В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: magicforest@sibmail.com

Обмен информацией – один из социально значимых процессов, протекающих в мире. В настоящее время сформировались устойчивые пути передачи информации, разделяющиеся по своей сути на два вида: проводные, и беспроводные. Беспроводные технологии сейчас наиболее популярны и получили в последнее время большое развитие.

Одной из беспроводных технологий является загоризонтная передача информации с помощью лазеров в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. При такой передаче не требуется расположения приемника и источника сигнала в зоне прямой видимости, а используется сигнал, отраженный от атмосферных объектов, например, аэрозолей.

Система загоризонтной связи позволяет передавать информацию на большие расстояния (наиболее длинная зарегистрированная на данный момент линия связи составляет 288 км при расстоянии от передатчика (блок сверхъярких СИДов) до горизонта 19 км [1]), не требуя прокладки проводов или оптоволокон, что позволяет сэкономить время и средства. Также можно использовать такую систему в качестве полевой мобильной установки связи при геодезических, геологоразведочных, поисковых, военных и других видах работ, когда требуется связь между несколькими стационарными или подвижными объектами.

Использование длин волн видимого спектра позволяет упростить настройку такой системы, поскольку оператор может непосредственно видеть точку, сформированную передатчиком, и соответствующим образом настроить приемник. В свою очередь, использование инфракрасных лазеров может позволить передавать информацию скрытно, при условии, что заранее известна точка, в которую будет направлен луч передатчика (как правило, лазера). Повысить криптографическую стойкость можно кодированием информации в процессе передачи.

В Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН Б.Д. Борисовым был предложен следующий метод передачи информации на основе частотной модуляции излучения лазера на парах бромида меди:

- для передачи информации используются различные расстояния между импульсами генерации лазера: «1» – длинная задержка, «0» – короткая задержка;
- для обозначения начала передачи используется маркер начала сообщения, отличающийся по длительности от «0» и «1»;
- пакет имеет конечную длину, заранее установленную в интерфейсе (целое число байт);
- после передачи полного пакета посылается CRC-сумма, сравнив которую с CRC-суммой полученного сообщения можно однозначно установить, не произошло ли ошибки при передаче;
- в случае ошибки, по окончании передачи приемник повторно запрашивает у передатчика пакет, который был передан с ошибкой.

В лаборатории квантовой электроники Института оптики атмосферы собрана лабораторная установка с управляемым лазером на парах бромида меди. Стоит отметить, что CuBr-лазеры относятся к классу импульсных лазеров на парах металлов с частотой следования импульсов (ЧСИ) десятки–сотни килогерц [2], что при успешной реализации системы позволит передавать информацию с достаточно высокой скоростью (десятки килобит в секунду).

Управление лазером реализовано на базе микроконтроллера AtMega164. Испытания установки показали, что при изменении временного интервала между импульсами излучения при передаче логических «1» и «0» на 15 % (период 32,4 и 28 мкс, соответственно, или ЧСИ 31 и 36 кГц) CuBr-лазер работает устойчиво, т.е. не нарушается стационарный режим генерации. Таким образом, возможна реализация описанного интерфейса передачи с предполагаемой скоростью ~4 кБ/с.

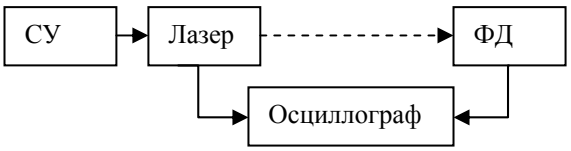


Рис. 1. Структурная схема эксперимента

Структурная схема эксперимента показана на рис 1. Схема управления (СУ) формирует управляющую последовательность для запуска формирователя высоковольтных импульсов накачки лазера. В качестве приемника лазерного излучения используется фотодиод (ФД). Пример последовательности управления приведен на рис. 2, где цифрами обозначены биты данных, передаваемые в каждом из межимпульсных промежутков. На приведенном рисунке дважды передается байт «01101001».

На рис 3. представлены осциллограммы напряжения на фотодиоде, использованном в качестве приемника излучения для регистрации импульса генерации, и тока, снятого датчиком тока (поясом Роговского) на одном из электродов газоразрядной трубки (ГРТ). Осциллограммы показывают участок, где передаются последние пять бит байта, и позволяют визуально оценить разницу временных интервалов между «1» и «0».

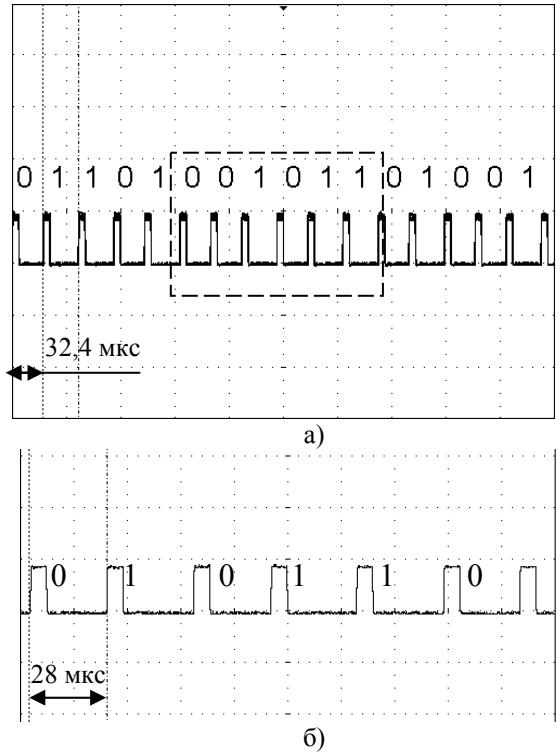


Рис 2. Осциллограммы работы схемы управления: а – общий вид последовательности, б – выделенный участок

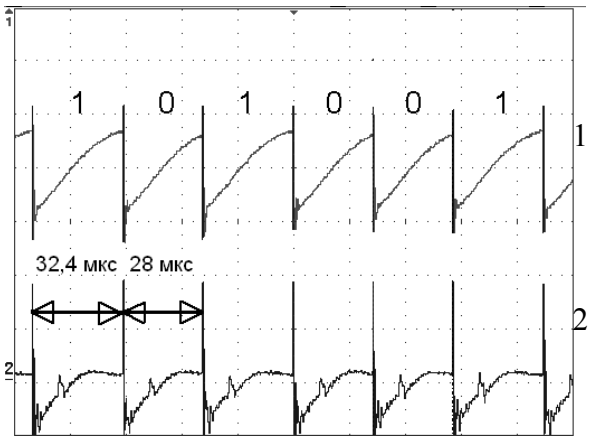


Рис 3. Осцилограммы тока (2) через ГРТ и напряжения на фотодиоде (1)

На данном этапе исследований полнофункционально реализована только система передачи информации в виде последовательности импульсов генерации. Целью работы в целом является создание системы приемник-передатчик, демонстрирующей возможность загоризонтной передачи информации с помощью лазерного излучения. Поскольку предполагается исследование возможностей загоризонтной связи, потребуется рассмотреть методы детектирования рассеянного излучения передатчика при сильной фоновой засветке, при рассеянии на объектах с высокой прозрачностью и высоким поглощением.

Недостатком данного метода передачи информации можно считать его метеозависимость, поскольку при отсутствии в атмосфере рассеивающих лазерное излучение объектов передача информации будет практически невозможна.

Достоинствами являются устойчивость к электромагнитным помехам и возможность широковещательной передачи, т.е. организации системы с одним передатчиком и несколькими приемниками. По сути, принимать передаваемую информацию можно с любой точки, откуда возможно наблюдать излучение передатчика, рассеянное на атмосферных объектах.

В будущем планируется реализация еще одного алгоритма управления лазером – формирование перед основным импульсом накачки небольшого предымпульса, который позволит осуществлять управление энергией в импульсе генерации [3]. Такая система, работая на фиксированной частоте, даст возможность передавать информацию путем амплитудной модуляции сигнала, а при использовании, например, звуковой волны в качестве модулирующей – передавать звук посредством лазерного пучка.

Этот метод управления лазерным излучением развивается в настоящее время в Институте оптики атмосферы и в дальнейшем может найти применение не только в системах связи, но и в технологических установках по микрообработке материалов, поскольку позволяет управлять генерацией излучения с точностью до единичного импульса [3].

Список литературы

1. http://reast.asn.au/optical.php // 288 km Cloudbouce from Tasmania to the Australian Mainland / By R. Moncur, D. Smith, J. Gelston and J. Giles-Clark. – 2009.
2. Евтушенко Г.С. Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 276 с.
3. Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Тригуб М.В. Управление генерацией CuBr-лазера // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 147–151.

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО НАНОСПУТНИКА

Виноградов Н.И.

Научный руководитель: Кудрявцев И.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: ampelos@mail.ru

В последнее время все большую популярность в области получения научных данных о Земле и околоземном космическом пространстве получают научно-образовательные микро- и наноспутники, характеризующиеся малыми габаритами, низкой стоимостью проектирования и практической реализации, но отличающиеся достаточным уровнем аппаратной и программной оснащенности для решения широкого круга научно-образовательных задач по получению экспериментальных данных о характеристиках полета космического аппарата.

В работе рассматриваются технические аспекты разработки электронного оборудования для сбора, первичной обработки, хранения и доставки на Землю телеметрической информации о полете микроспутника. В качестве аппаратной платформы разрабатываемого наноспутника был выбран одноплатный компьютер ТИОН-ПРО v2 российского производителя «Завод электрооборудования», выполненный в соответствии с промышленным стандартом PC104 [1]. Его основой является высокопроизводительный 32-разрядный микропроцессор EP9315 класса «система на кристалле», основанный на RISC-архитектуре ARM9, компании Cirrus Logic. Тактовая частота этого процессора составляет 200 МГц. Этот микропроцессор отличается достаточно высокой производительностью при низком энергопотреблении, широким набором встроенной периферии, устойчивостью к температурным воздействиям. Использование радиационнонестойкой элементной базы значительно снижает надежность системы управления в условиях открытого космоса, но в соответствии с концепцией создания научно-исследовательских наноспутников это является осознанным шагом в целях снижения стоимости изготовления, преодоления вопросов импорта электронной базы двойного назначения в Россию.

Вывод на орбиту наноспутника в составе третьей ступени ракеты-носителя позволяет значительно снизить стоимость доставки и увеличить количество запусков с целью замены вышедших из строя.

Разрабатываемый наноспутник должен выполнять следующие задачи:

1. Сбор, первичную обработку и хранение информации об изменениях состояния магнитного поля Земли, а также о навигационных параметрах полета космического аппарата.
2. Регулярная передача собранной информации на Землю посредством спутникового канала связи «Глобалстар».
3. В случае проблем связи с Землей через спутниковый канал обеспечение связи с помощью маломощного приемопередатчика ISM-диапазона в районе прямой видимости с наземной станцией.

В соответствии с поставленными задачами к компьютеру через последовательные интерфейсы RS-232 подключены магнитометр собственной разработки на анизотропных магниторезистивных датчиках, двусистемный (GPS/ГЛОНАСС) навигационный приемник и радиомодем системы спутниковой связи «Глобалстар», а также трансивер 433,92 МГц через последовательный интерфейс SPI. Собранные данные сохраняются в структурированную базу данных и при установлении сеанса связи отправляться на удаленный FTP-сервер.

В качестве программной платформы была выбрана современная, компонентная, многозадачная, многопоточная, многоплатформенная операционная система жесткого реального времени Microsoft Windows Embedded CE 6.0 R3 [2]. Она обладает следующими достоинствами:

- Широкие возможности по подключению периферийных устройств (экраны, мыши, клавиатуры, проводные и беспроводные датчики и сетевые устройства).
- Встроенная поддержка большого числа сетевых технологий различного назначения (TCP/IP, IPv4, IPv6,TAPI, VPN).
- Гибкость в выборе необходимой функциональности образа ОС.

Производитель одноплатного компьютера бесплатно предоставляет пакет поддержки разработчики, включающий в себя все необходимые

драйверы и прикладные программы, полностью реализующие функциональность компьтера. Исходные коды всех компонентов ОС позволяют разработчику гибко настраивать систему для решения конкретных задач и минимизировать накладные расходы, связанные с работой ОС, в том числе, максимально сохранить свободное энергонезависимое пространство памяти для хранения собранной информации. Подсистема питания вычислительного комплекса включает в себя солнечные элементы питания на поверхности корпуса наноспутника, батарею гальванических элементов питания мощностью порядка 10 Вт*ч, а также интегральный преобразователь напряжения для зарядки элементов питания. Гибкая система энергосбережения аппаратных устройств компьютера и операционной системы позволяют увеличить срок автономной работы всей электронной системы наноспутника.

В наноспутнике использован магнитометр собственной разработки на основе анизотропных магниторезистивных датчиков. Этот тип датчиков хорошо зарекомендовал себя для измерения магнитных полей Земного диапазона. Магнитометр представляет собой микроконтроллерное устройство, которое 10 раз в секунду измеряет напряженность магнитного поля Земли в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и сохраняет их в собственную память. По команде бортового компьютера эти данные извлекаются через последовательный канал передачи данных RS-232.

Навигационный приемник Глобалстар GSP-1620 для связи с Землей использует группировку низкоорбитальных спутников связи, покрывающих 97 % поверхности земли [3]. Навигационный приемник подключается к COM-порту бортового компьютера и обеспечивает устойчивую передачу пакетов данных на скорости 9600 бод.

В качестве резервного канала связи используется маломощный приемопередатчик ISM-диапазона с частотой 433,92 МГц. Мощность передатчика составляет 0,5 Вт и обеспечивает устойчивую связь с Землей в зоне прямой видимости на расстоянии от 250 до 600 км, что соответствует предполагаемой высоте орбиты полета наноспутника. Чувствительность приемника составляет -120 дБм при ширине канала 12,5 кГц, что является типичным значением для современных цифровых приемопередатчиков [4]. Модуль трансивера имеет встроенный модем, обеспечивающий работу в режиме Гауссовской частотной манипуляции, являющейся одним из наиболее эффективных способов модулирования сигнала. Трансивер подключается к бортовому компьютеру наноспутника посредством последовательного интерфейса SPI.

Прикладное программное обеспечение бортовой системы управления создано с использованием пользовательского программного интерфейса WIN32API, который практически полностью был портирован из настольных версий ОС WINDOWS. Программирование выполнялось с использованием языка программирования C++. Прикладная программа с заданной регулярностью опрашивает внешние устройства для получения данных, выполняет выборку нужной информации и сохраняет ее на встроенном в бортовой компьютер FLASH-накопитель. В определенные промежутки времени программа выполняет попытки связи с землей путем настройки удаленного PPP-соединения через спутниковый терминал. Если попытки связи заканчиваются неудачей, то задействуется радиочастотный трансивер и в области прямой видимости наземного центра обработки данных устанавливается соединение и собранные данные передаются на Землю.

Благодаря встроенному в операционную систему Telnet серверу присутствует возможность дистанционного запуска прикладных программ, передачи данных на орбиту и контроля за работой системы. После установления PPP-соединения данные о сетевых настройках устройства передаются на Землю, после чего становится возможным дистанционное управление наноспутником.

После испытаний опытного образца наноспутника планируется расширение функциональности системы путем подключения цифровой фотокамеры через интерфейс USB 2.0 интерфейс, увеличение количества параметров, измеряемых системой с помощью датчиков температуры, влажности. В перспективе также предполагается применение радиомодема Российской низкоорбитальной системы спутниковой связи «Гонец» после ее окончательного развертывания. Это позволит повысить надежность связи и скорость передачи данных на Землю.

Список использованных источников

1. Одноплатный компьютер ТИОН Prov2 [Электронный ресурс]. – http://zao-zeo.ru/catalog/sbc/79-tion-pro2
2. Павлов, С.В. Введение в Windows Embedded CE 6.0. [Текст] / С.В. Павлов, П.Ф. Белевский – Москва: Quarta Technologies, 2009.
3. Спутниковый модем Глобалстар для асинхронной и пакетной передачи данных Qualcomm GSP1620 [Электронный ресурс]. - http://www.globaltel.ru/user_equipment/gsp1620/
4. 500 mW 434M Wireless modem [Электронный ресурс]. – http://www.rf.net.tw/Products/Radio_Modem/Radio_Modem/RD232-H_Wireless_Modem_500mW/

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА НА БАЗЕ СИЛОВОГО ГИРОСКОПА С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ РАМОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР

Воронова А.С.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: voronovanastas@mail.ru

Исполнительный орган (ИО) космического аппарата – многомерная механическая система, сложное электромеханическое устройство [2, 3, 4], которое сложно разработать без использования САПР.

ИО на базе силового гироскопа с приводом вращения рамок (ПВР) проектируется с использованием разработанной ранее САПР на базе комплекса T-FLEX, которая состоит из нескольких подсистем: подсистема создания 2D-чертежей и 3D моделей, подсистема расчета эксплуатационных характеристик, подсистема прочностного анализа, подсистема выпуска конструкторской документации, подсистема технологической подготовки [1].

Исходные данные для проектирования:

- кинетический момент 100 Нмс,
- время разгона – максимум 1 час,
- ресурс – минимум 10 лет,
- мощность максимум 20 Вт,
- собственная частота 150 Гц,
- угловая скорость 10000 об/мин,
- наружный радиус маховика 0,15м.

В подсистеме создания 2D-чертежей и 3D-моделей создаются 3D-модели деталей конструкции ИО. На рис. 1 – 3D-модель маховика, входящего в состав конструкции.

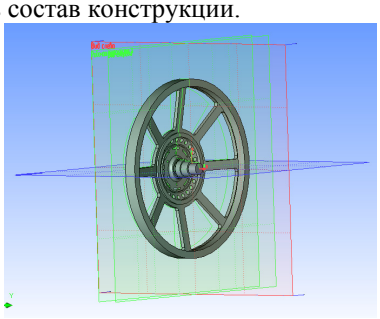


Рис. 1. 3D-модель детали «Маховик»

В среде T-FLEX создано окно диалога (рис. 2), которое используется при создании модели. Окно диалога содержит поля для ввода и выпадающие списки, с помощью которых можно легко и быстро задать параметры маховика, такие как кинетический момент, высота обода маховика, наружный радиус маховика.

В подсистеме расчета эксплуатационных характеристик, базирующейся на модуле T-Flex CAD 2D/3D, с учетом изменения геометрии объекта рассчитываются необходимые параметры, такие как масса, моменты инерции, механическая прочность. Выходные параметры рассчитываются «внутри» 3D-модели с использованием средств редактора переменных.

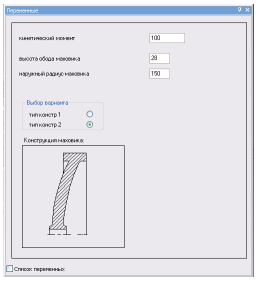


Рис. 2. Окно диалога модели «Маховик»

Одним из основных требований к конструкции маховика является его механическая прочность и надежность. В модель маховика через редактор переменных включен расчет механической прочности обода маховика, которая определяется чрез угловую скорость и размеры маховика:

$$\sigma = \gamma \cdot \Omega^2 \cdot R^2 \cdot k/g ,$$

где γ = 7,85 г/см³ – удельная масса материала, Ω= 10000 об/мин – угловая скорость, R=150 мм – наружный радиус маховика, k=1,5 – коэффициент запаса прочности, g=9,8 м/с² – ускорение свободного падения.

Каждый параметр, входящий в формулу, задается через переменную. При изменении наружного радиуса маховика механическая прочность автоматически пересчитывается. На рис. 3 – окно редактора переменных с расчетом механической прочности, а на рис. 4 – расчет масс – инерционных характеристик маховика.

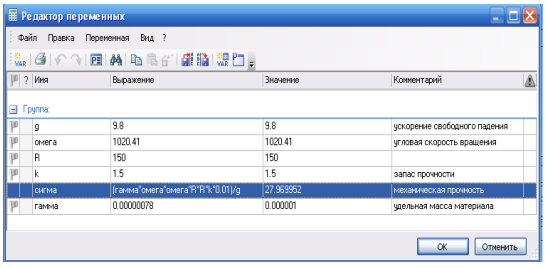


Рис. 3. Вычисление механической прочности в редакторе переменных

Рассчитанная механическая прочность σ = 27,94 кг/мм².

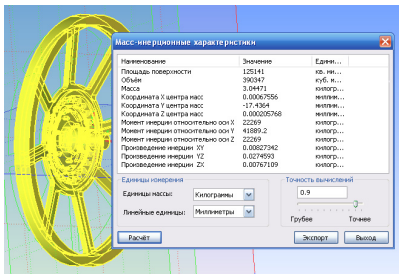


Рис. 4. Масс-инерционные характеристики

Статический анализ конструкции маховика осуществляется в подсистеме прочностного анализа. При вращении маховика на него воздействует центробежная сила, возникающая при вращении ротора с угловой скоростью Ω при наличии эксцентриситета, создающая упругий прогиб вала. Центробежная сила рассчитывается по формуле:

$$F=m\cdot\Omega^2\cdot R,$$

где m= 3, 04 кг – масса маховика; Ω=10000 об/мин – угловая скорость вращения; R=150 мм – наружный радиус маховика. Центробежная сила $F=0{,}475\cdot10^6$ Н.

Задаем полное закрепление по валу и прикладываем к ободу нагрузку «Сила» (рис. 5), направленную по нормали от обода, равную рассчитанной центробежной силе.

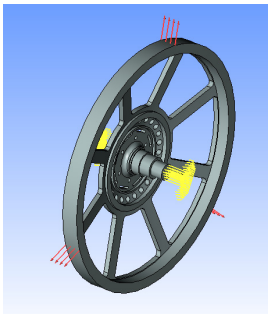


Рис. 5. Деталь «Маховик» с заданными закреплениями и нагрузкой

Результаты анализа перемещений показывают, что характер деформированного состояния конструкции соответствует ожидаемому (рис. 6). Наибольшее перемещение при заданной нагрузке составляет 0,9258 мм, что является допустимым.

В подсистеме выпуска конструкторской документации (КД) на основе 3D-сборки получаем как сборочные чертежи и спецификации, так и чертежи отдельных деталей. После формирования комплекта КД происходит передача чертежей и 3D моделей деталей ИО в подсистему технологической подготовки.

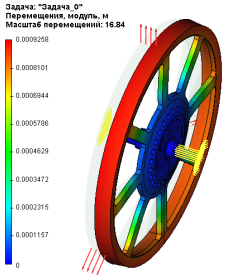


Рис. 6. Результат статического анализа

В модуле T-Flex Технология составляется техпроцесс механической обработки деталей, техпроцесс сборочных операций, создаются маршрутные и операционные карты. В модуле T-Flex ЧПУ на основе 2D-чертежей и 3D-моделей деталей автоматически генерируются управляющие программы механической обработки деталей на станках с ЧПУ. На рис. 7 – пример имитации обработки детали «Маховик» с удалением материала, выполненной в имитаторе обработки модуле T-Flex NC Tracer.

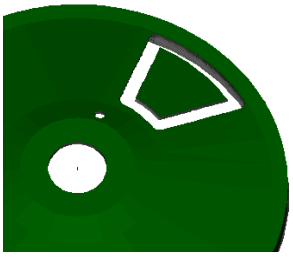


Рис. 7. Имитация обработки детали «Маховик»

Таким образом, проектирование ИО на базе силового гироскопа с ПВР эффективно осуществляется с использованием разработанной САПР.

Список литературы

1. Воронова А.С. «Development computer-aided design system of executive elements on the basis of force gyroscopes with a rotary frameworks drive» // XVI International Scientific and Practical conference of students, Post graduates and Young Scientists «Modern technique and technology» – Tomsk: TPU Press, 2010- 38–40 p.
2. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. «Управление космическими летательными аппаратами». М., «Машиностроение», 1974. – 340 с.
3. Гладышев А.Н., Дмитриев А.С., Копытов В.И., «Системы управления космическими аппаратами». – Томск: ИПФ ТПУ, 2000 – 207 с.
4. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. «Управление ориентацией космических аппаратов». М.: Наука,1974. – 600 с.

ПОСТРОЕНИЕ ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЯ

Герасимов Д.В., Павлов А.Н.

Научный руководитель: Сыпин Е.В., к.т.н., доцент

Бийский технологический институт, 659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27
E-mail: merlin-work@rambler.ru

Наиболее эффективным способом предотвращения взрывов метана и угольной пыли является использование специальных автоматических систем противопожарной защиты и взрывоподавления [1]. Основными элементами таких систем являются датчик возгорания и взрывоподавляющее устройство.

В работе [1] показано, что наиболее эффективными датчиками возгорания в газодисперсных системах являются пирометрические датчики.

Свойства промежуточной среды и размер очага возгорания оказывают наименьшее влияние на пирометрические датчики, реализующие метод спектрального отношения. Данный метод предполагает определение температуры на основании отношения мощностей оптического излучения от объекта в двух (или более) узких диапазонах длин волн.

Существует возможность получать информацию о температуре объекта на основе отношения мощностей излучения не только в узких, но и в широких полосах длин волн. При этом наиболее простой способ получения двух потоков излучения со смежными широкими диапазонами длин волн заключается в использовании спектроделителя для разделения светового потока между каналами.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей пирометрического датчика спектрального отношения, использующего широкие спектральные диапазоны в сравнении с датчиком, использующим узкие диапазоны.

Была предложена оптическая система пирометра на основе спектроделителя, представленная на рис. 1.

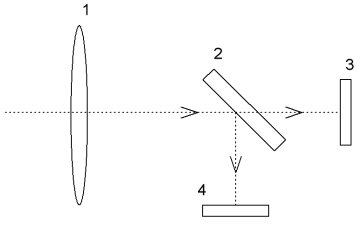


Рис. 1. Оптическая система двухканального пирометра на основе спектроделителя:
1 – объектив; 2 – спектроделитель; 3, 4 – фотоприемники

Применение спектроделителя позволяет повысить чувствительность прибора за счет расширения спектрального диапазона каждого канала.

Для рассмотрения особенностей пирометрического датчика на основе спектроделителя было проведено сравнение его расчетных характеристик с расчетными характеристиками пирометрического датчика спектрального отношения ДОВМ-001 [2], использующим узкие рабочие диапазоны длин волн.

При этом в качестве источника излучения было принято абсолютно черное тело с видимой площадью 1 м^2.

Для упрощения при расчетах не учитывается коэффициент пропускания среды, поскольку сравнение двух типов пирометров осуществляются в одинаковых условиях.

Ток на фотоприемнике, вызванный излучением тела, нагретого до температуры T, в полосе длин волн $\lambda_1 \ldots \lambda_2$ определяется по формуле [3]:

$$I_{\lambda_1 \ldots \lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda E(\lambda, T) d\lambda , \qquad (1)$$

где I – ток на фотоприемнике, S_λ – спектральная чувствительность фотоприемника, $E(\lambda,T)$ – энергия излучения, приходящая на фотоприемник.

В пирометрах, выделяющих узкие спектральные диапазоны ($\lambda_{1ПФ} \ldots \lambda_{2ПФ}$ и $\lambda_{3ПФ} \ldots \lambda_{4ПФ}$) при помощи двух полосовых светофильтров, о температуре нагретого тела можно судить по соотношению вида:

$$t_{ПФ}(T) = \frac{I_{\lambda_{1ПФ} \ldots \lambda_{2ПФ}}}{I_{\lambda_{3ПФ} \ldots \lambda_{4ПФ}}} , \qquad (2)$$

где $I_{\lambda 1ПФ \ldots \lambda 2ПФ}$ и $I_{\lambda 3ПФ \ldots \lambda 4ПФ}$ – токи фотоприемников, вызванные излучением в рабочих полосах длин волн (полосах пропускания фильтров) $\lambda_{1ПФ} \ldots \lambda_{2ПФ}$ и $\lambda_{3ПФ} \ldots \lambda_{4ПФ}$.

В пирометре со спектроделителем соотношение 2 будет иметь вид:

$$t_{СД}(T) = \frac{I_{\lambda_{\min} \ldots \lambda_0}}{I_{\lambda_0 \ldots \lambda_{\max}}} , \qquad (3)$$

где λ_0 – центральная длина волны спектроделителя; λ_{min}, λ_{max} – границы диапазона спектральной чувствительности фотоприемника.

Для использования спектроделителя необходимо найти его оптимальную центральную длину волны. Для этого целесообразно использовать следующие критерии:

1) максимальная чувствительность прибора во всем диапазоне измеряемых температур:

$$K(\lambda_0) \to \max,$$

где K – тангенс угла наклона прямой, аппроксимирующей функцию (3);

2) максимальный ток на обоих фотоприемниках, во всем диапазоне измеряемых температур:

$$\begin{cases} I_1(\lambda_0) = \int\limits_{T_{\min}}^{T_{\max}} I_{\lambda_{\min}..\lambda_0}(T)dT \to \max; \\ I_2(\lambda_0) = \int\limits_{T_{\min}}^{T_{\max}} I_{\lambda_0..\lambda_{\max}}(T)dT \to \max, \end{cases} \quad (4)$$

где $T_{\min}\ldots T_{\max}$ – диапазон измеряемых температур.

Была предложена следующая целевая функция:

$$Q(\lambda_0) = \left|k(\lambda_0) - i_1(\lambda_0) \cdot i_2(\lambda_0)\right| \to \min,$$

где $k(\lambda_0)$ – нормированная функция от $K(\lambda_0)$, $i_1(\lambda_0)$ – нормированная функция $I_1(\lambda_0)$, $i_2(\lambda_0)$ – нормированная функция $I_2(\lambda_0)$.

Поскольку сумма токов $I_1(\lambda_0)$ и $I_2(\lambda_0)$ не зависит от центральной длины волны спектроделителя, то в целевой функции они объединены через произведение. При этом с увеличением центральной длины волны спектроделителя коэффициент $K(\lambda_0)$ возрастает, так как возрастает ток в числителе в формуле (3) и убывает в знаменателе, а произведение токов достигает максимума при равенстве величин i_1 и i_2 и начинает уменьшаться, что обуславливает вид целевой функции.

Для упрощения расчетов при определении центральной длины волны спектроделителя и сравнения характеристик двух типов пирометров была написана программа, учитывающая следующие параметры:

- спектральная чувствительность фотоприемника;
- спектральная характеристика пропускания и отражения спектроделителя
- спектральные характеристики светофильтров, используемых в датчике ДОВМ-001.

В качестве фотоприемника был выбран фотодиод ФД-К-155, как наиболее дешевый, распространенный и обладающий приемлемой площадью активной зоны 5×5 мм [4].

Диапазон регистрируемых температур выбран от 300 К до 2700 К, что соответствует условиями применения прибора. С помощью программы было установлено, что оптимальная центральная длина волны спектроделителя равна 960 нм.

После определения оптимальной центральной длины волны спектроделителя, было проведено сравнение характеристик датчика со спектроделителем и датчика с полосовыми интерференционными светофильтрами. На рис. 2 представлены графики функций $t_{СД}(T)$ (график 1) и $t_{ПФ}(T)$ (график 2).

Из графиков видно, что кривая пирометра со спектроделителем имеет большую крутизну во всем диапазоне измерений, а значит позволяет получать большую чувствительность. Для численной оценки увеличения крутизны было найдено отношение средних чувствительностей приборов:

$$\frac{t_{СД}(T_{\max}) - t_{СД}(T_{\min})}{t_{ПФ}(T_{\max}) - t_{ПФ}(T_{\min})} \approx 3.$$

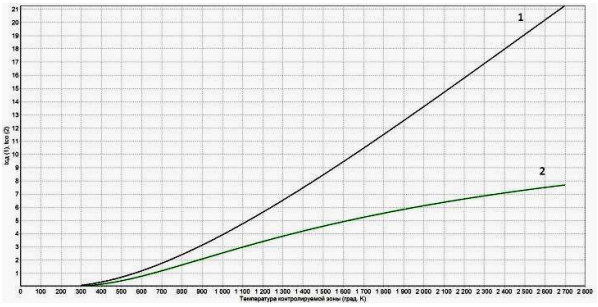


Рис. 2. Графики сравнения функций $t_{СД}(T)$ (график 1) и $t_{ПФ}(T)$ (график 2)

В результате проведенной работы было достигнуто следующее:

- предложена оптическая система пирометрического датчика на основе спектроделителя;
- предложен метод определения оптимальной центральной длины волны спектроделителя;
- проведено сравнение характеристик датчика на основе спектроделителя и датчика на основе полосовых интерференционных светофильтров, которое показало что:

а) применение спектроделителя позволяет увеличить крутизну функции преобразования прибора примерно в три раза;

б) применение спектроделителя позволяет увеличить токи на фотоприемниках не менее чем в 4,5 и в 6,5 раз для разных каналов при прочих равных условиях.

Список литературы

1. Сыпин Е.В. Оптико-электронный прибор обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Бийск: 2007. – 144 с.
2. Датчик обнаружения возгорания метана в воздуховоде угольной шахты // Сыпин Е.В., Павлов А.Н., Колпаков В.В., Терентьев С.А. VII Всероссийская выставка научно-технического творчества молодёжи НТТМ-2008. Всероссийский конкурс научно-технического творчества молодёжи. Сборник материалов. М.:ОАО «ГАО ВВЦ», 2008. С.62-63.
3. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. // Ю.Г. Якушенков – 3-е изд. – М.: Машиностроение 1989. 360 с.
4. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения. // Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Гнитиёв В.П., Слобожанин А.Н.

Научный руководитель: Григорьев А.Г., преподаватель

Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального университета (ИИФиРЭ СФУ), 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26; тел. (391) 291-22-80; E-mail: gnitiev@yandex.ru

Анализируя ситуацию на рынке энергоресурсов и услуг по обеспечению тепловой и электрической энергией, можно прийти к выводу о том, что в нашей стране, как и в зарубежных странах непрерывно происходит рост цены на все виды энергоресурсов, а также тарифов. Помимо этого также характерно только для нашей страны, низкое, а порой и снижающееся качество предоставления услуг в сфере обеспечения энергией при растущей на них цене. При этом, очевидно, что решение вопроса энергосбережения, в данном случае может являться способом снижения стоимости и повышения общей эффективности использования энергоресурсов, однако с применение таких технологий в нашей стране особо не торопятся.

На фоне роста цен и отсутствия положительной тенденции в изменении качества предоставляемых услуг, становятся хорошо заметны следующие факты: отсутствие обратной связи от потребителей энергии и услуг по ее предоставлению, отсутствие требуемого контроля над ситуацией со стороны властей в силу неимения своевременной достоверной информации и как следствие отсутствие прозрачной системы расчета тарифов по энергопотреблению. Все эти и ряд других побочных факторов существенно препятствует общему росту уровня жизни.

Для разрешения сложившейся ситуации предлагается использовать два основных метода: рациональное использование энергии и полный контроль над ее расходованием, совместно с прогнозированием ее потребления.

Для реализации этих методов предлагается разрабатываемый аппаратно-программный комплекс. В задачи аппаратной части которого входит: сбор всех данных состояния контролируемых объектов и управление исполнительными устройствами для поддержания всех регулируемых параметров в заданных пределах, а также физическое взаимодействия с каналами связи. В задачи программной части комплекса на первом уровне входят: первичная обработка результатов измерений, прогнозирование изменения контролируемых параметров под действие дестабилизирующих факторов с их компенсацией, принятие решения об управлении и/или информировании о текущем состоянии. На втором уровне задачи программной части следующие: инкапсуляция полученных данных с целью передачи по каналам связи, организация алгоритмов взаимодействия с защищенными каналами связи. На третьем уровне задачи программной части следующие: прием и обработка данных, поиск потенциально опасных значений и оперативное информирование, сохранение в базе данных, накопление статистики, публикация статистики, результатов основных расчетов и прогнозов на интернет-ресурсах, взаимодействие с бухгалтерскими и банковскими расчетными системами.

Аппаратная и программные части первого и второго уровня реализуются в виде электронного устройства, размещаемого непосредственно в контролируемой квартире либо доме. Каждый такой блок связан посредством телекоммуникационной сети с центральным сервером, на котором реализован третий уровень программной части.

Стоит отметить, что такая система взаимодействия хорошо сочетается с современной на сегодняшний день структурой телекоммуникационных сетей, при помощи которых операторы связи предоставляют триединство услуг: доступ к сети интернет, телефонная связь и цифровое телевещание. Иначе говоря, возможна интеграция в уже имеющиеся сети, что расширяет спектр предоставляемых оператором связи услуг и снижает затраты на создание системы.

В базовой комплектации структурная схема предлагаемого АПК приведена на рисунке 1. Эта схема может быть дополнена дополнительными контурами контроля, управления и регулирования в случае надобности. Базовая структура состоит из контура регулирования системой отопления, систем контроля над расходованием горячей и холодной воды, а также электроэнергии.

Аппаратная часть содержит наборы датчиков для сбора информации. Система холодного водоснабжения содержит лишь датчик расхода, так как иные параметры не нормируются и не нуждаются в контроле. Магистраль горячего водоснабжения помимо датчика расхода, содержит датчик температуры, для контроля температуры и расчета стоимости потребления, исходя не только из расхода, но и энергоотдачи. Контур регулирования отопления содержит больший набор датчиков:

датчик расхода на питающей трубе и датчики температуры и давления на отводящей трубе. Такое положение датчиков позволяет точно определять энергоотдачу и диагностировать аварии.

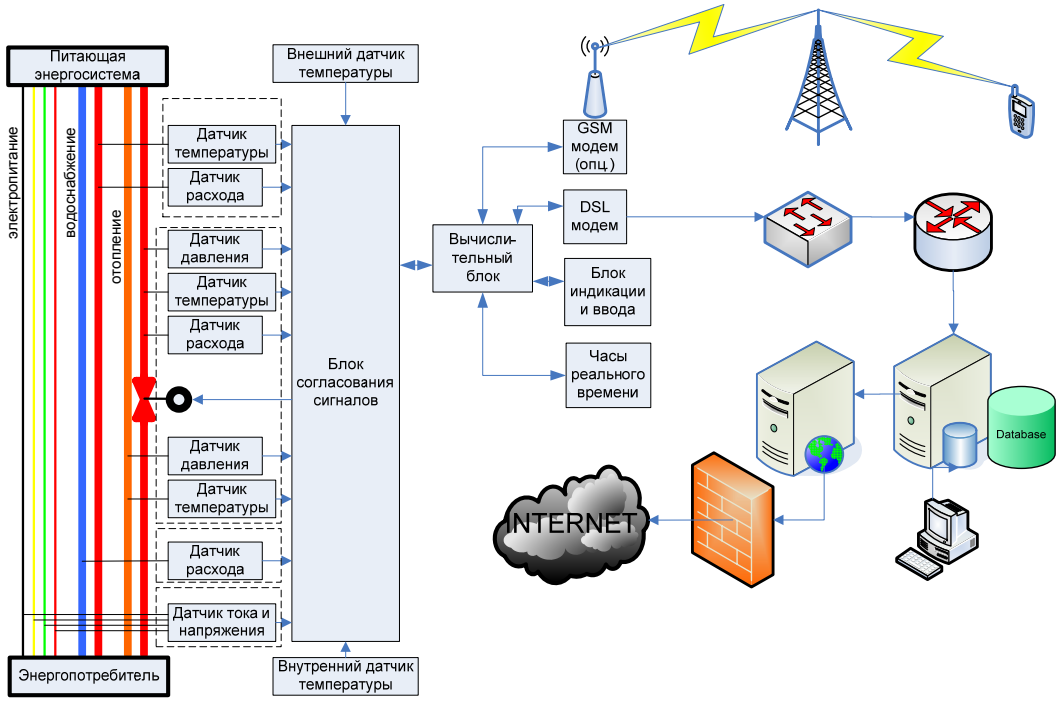


Рис. 1. Функциональная схема АПК

Контур регулирования отопления содержит также исполнительное устройство, посредством которого через расход теплоносителя регулируется его теплоотдача. В случае если же отопление реализуется посредством чистого электрообогрева, контур регулирования будет видоизменен, путем введения регулятора электрической мощности.

Контроль за электропитанием осуществляется путем введения датчиков тока и напряжения в трех или однофазную питающую линию.

Основными функциями устройства является подсчет показателей использования и управление текущим состоянием.

Управление осуществляется по пользовательским требованиям, вносимым в регулятор при его конфигурировании. Температура в помещении может поддерживаться всегда на постоянном уровне, а также программно изменяться в течении суток или недели. Помимо этого в функции регулятора температуры входит прогнозирование энергопотерь, путем анализа разности температур между внутренней и уличной, а также времени суток и года.

С внешними телекоммуникационными сетями основной блок взаимодействует посредством GSM и DSL модемов. GSM модем, главным образом, предназначен для связи с хозяином управляемого объекта. Посредством сотовой сети осуществляется удаленное конфигурирование системы, удаленный контроль и оперативное информирование о возникновении критических изменений в системе. DSL модем предназначается для связи с информационной системой по сбору данных, для централизованного анализа и накопления, а также ведения экономического учета и планирования. В случае для удаленных объектов, где нет наличия кабельных телекоммуникационных сетей, необходимо организовать подсеть, в которую объединить все соседние объекты и эту подсеть посредством моста, созданного на устройствах беспроводной связи связать с ближайшим узлом кабельной телекоммуникационной сети. Иными способами связи может являться связь через радиомодем или через сеть GSM.

Серверы, на которых происходит накопление информации, территориально размещаются либо у поставщика энергии, либо в управляющей компании, либо у оператора связи.

Наличие базы данных также позволить интегрировать систему потребления в комплексную систему автоматизации поставщика энергии путем импорта данных в SCADA системы.

Таким образом, реализация такого решения создает следующие выгоды:

- энергосбережение, связанное с вариацией температуры в течение суток и анализа внешних факторов
- полный удаленный контроль над состоянием управляемого объекта
- возможность пользователя планировать и регулировать свое энергопотребление
- комплексная автоматизация большого масштаба
- полная автоматизация процесса подсчета платы за услуги
- повышение прозрачности всей системы расчета оплаты

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

Гудков С.А.

Научный руководитель: Кудрявцев И.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: gudkov.stanislav@gmail.com

В основе теоретического решения задач электромагнитного контроля лежит решение краевых задач электродинамики для различных типов электромагнитных преобразователей, произвольно расположенных относительно электропроводящих объектов различной формы.

В настоящее время разработан и эффективно используется ряд обобщенных расчетных моделей [1].

Наиболее адекватной аналитической моделью электромагнитного метода обнаружения электропроводящих частиц в диэлектрических и слабопроводящих средах с использованием вихретоковых преобразователей (ВТП) является модель в виде электропроводящего шара, расположенного коаксиально в поле витка с током. Однако данная модель не учитывает реальное распределение частиц в потоке жидкости [2].

Основная сложность описания математической модели проходных ВТП с произвольно распределенными частицами в объеме датчика состоит в том, что она не обладает осевой симметрией и задача становится трехмерной.

С другой стороны, существующие аналитические формулы, содержащие специальные функции в подынтегральных выражениях, сложны для инженерных расчетов. Приближенные вычисления интегралов методом квадратур наивысшей алгебраической степени точности имеют ограниченную область действия – при значениях обобщенных параметров $\alpha<1$ и $\beta>10$ погрешность такого метода превышает 25%. [3]. Но именно для больших значений параметра β и малых значений параметра α анализ характеристик ВТП представляет наибольший практический интерес.

В связи с этим для решения задачи исследования электромагнитных процессов в вихретоковом датчике был выбран путь компьютерного моделирования. Одним из наиболее эффективных вычислительных методов, который позволяет учитывать геометрические особенности задачи и макроскопические характеристики среды, является метод конечных элементов.

В качестве рабочего инструмента использован пакет Ansoft Maxwell, в основе которого лежит решение системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с использованием метода конечных элементов. Данный программный продукт позволяет решать полевые задачи в двумерной и трехмерной постановках [4].

Задача моделирования вихретокового датчика относится к низкочастотным задачам магнитных полей переменных токов.

Для исследования параметров проходного ВТП была создана конечно-элементная модель системы (рис. 1).

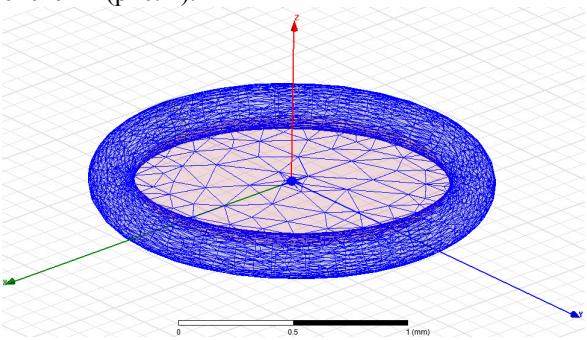


Рис. 1. Конечно-элементная модель ВТП

На первом этапе исследовалась величина относительного вносимого сопротивления для конечно-элементной модели при соосном расположении частицы и ВТП. Величина относительного вносимого в ВТП сопротивления была также вычислена аналитически для осесимметричной модели. Вычисление относительного вносимого сопротивления осуществлялось по формуле (1) [5].

$$Z_{вн} = \frac{j2\pi \sin\theta_0}{\ln\frac{8R}{d} - 1.75} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\overline{P_n^1}(\cos\theta_0))^2}{(2n+1)\cdot a^{2n+1}} \cdot \frac{J_{n+\frac{3}{2}}(kr)}{J_{n-\frac{1}{2}}(kr)} \cdot r^{2n+1} \quad (1)$$

где $J_{n+\frac{3}{2}}(kr)$ - функции Бесселя полуцелого порядка комплексного аргумента;

$\overline{P_n^1}(\cos\theta_0)$ – нормированные присоединенные функции Лежандра первого порядка.

Смысл остальных величин становится очевидным из рис. 2.

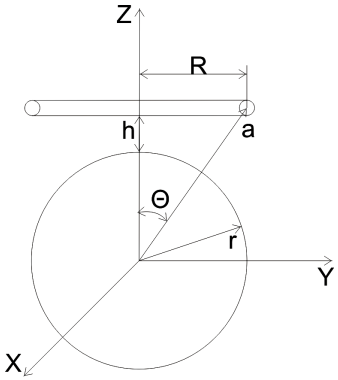


Рис. 2. Модель системы частица-виток

Годографы относительного вносимого сопротивления, полученные аналитическим и КЭМ методами представлены на рисунке 3. При сопоставлении двух годографов видно, что расхождение результатов составляет не более 5%.

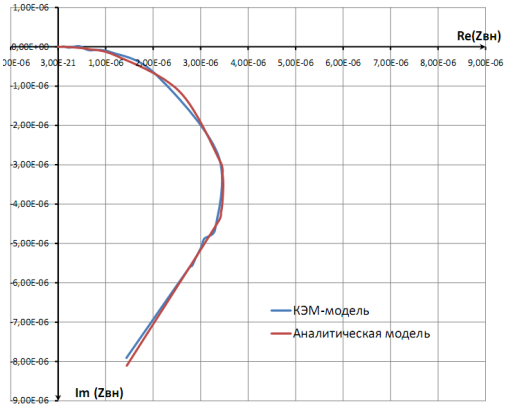


Рис.3. Годографы вносимого сопротивления

На следующем этапе исследовалось влияние радиального смещения частицы в плоскости ВТП на величину вносимого сопротивления.

На рисунке 4 представлено изменение модуля относительного вносимого сопротивления от радиального смещения частицы.

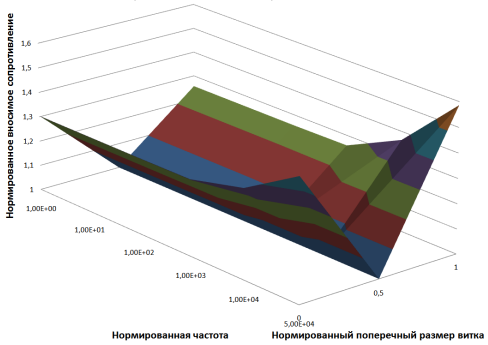


Рис. 4. Нормированное относительное вносимое сопротивление

При смещении частицы от центра ВТП к периферии величина относительного вносимого сопротивления возрастает. Причем с ростом частоты этот эффект проявляется сильнее, и увеличение вносимого сопротивления может достигать 60%. С точки зрения классификации частиц примесей по размеру эффект возрастания вносимого сопротивления носит негативный характер. Эффективным способом отстройки от влияния данного фактора является оптимизация конструкции датчика. Предложена конструкция, обеспечивающая изокинетический отбор пробы жидкости, при котором максимальная концентрация частиц в потоке жидкости достигается вблизи геометрической оси датчика.

Для характеристики влияния осевого смещения частицы на вносимые в ВТП параметры вводится коэффициент α:

$$\alpha = \frac{h + r}{R}$$

Изменение величины модуля относительного вносимого сопротивления вследствие осевого смещения частицы приведено на рис. 5.

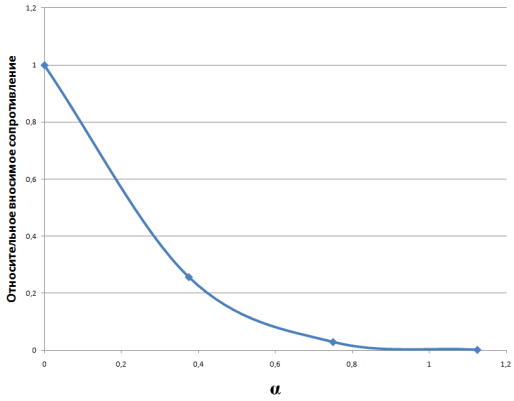


Рис. 5. Зависимость модуля относительного вносимого сопротивления от смещения частицы по оси ВТП

Максимум вносимого сопротивления достигается на оси ВТП, т.е. когда частица находится в плоскости ВТП. С ростом α модуль вносимого сопротивления уменьшается и на расстоянии по оси, равном радиусу ВТП (α=1) величина вносимого сопротивления меньше своего максимального значения в 10 и более раз.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены основные закономерности, характеризующие влияние взаимного расположения катушки ВТП и частицы на величину вносимого сопротивления.

Список литературы

1. Герасимов, В.Г. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами/ В.Г. Герасимов, Ю.А. Останин и др. – М.: Энергия, 1978.- 216 с.
2. Кудрявцев, И.А. Повышение разрешающей способности и чувствительности фотоэлектрических пребразователей встроенного контроля параметров дисперсной фазы для систем управления: автореферат дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.13.05. – Самара, 1999г.
3. Карпов, В. М. Функции преобразования вихретоковых преобразователей перемещений/ В.М. Карпов // Наука и образование. – 2010. – № 10. – С. 1-35
4. Ansoft Maxwell 3D. Electromagnetic and electromechanical analysis. Rev 2.0 – Ansoft Corporation, 2006.- 675 с.
5. Дорофеев, А.Л. Электромагнитная дефектоскопия / А.Л. Дорофеев, Ю.Г. Казаманов. – М.: Машиностроение, 1980.- 232 с.

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ НЕМАГНИТНЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Гынгазова Г.С., Миляев Д.В.

Научный руководитель Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Liata@sibmail.com

В процессе изготовления протяженных изделий (канатов, прутков, проводов, проволоки и т.д.) требуется измерять длину соответствующих изделий. На предприятиях торговли и предприятиях-потребителях продукции измерения применяются на участках приемки и контрольной перемотки канатов, тросов и проволоки, а так же на участках отпуска готовой продукции покупателям. В зависимости от вида преобразователя, устанавливаемого на линии движения, измерители длины можно разбить на два больших класса: контактные измерители длины (электромеханические) и бесконтактные измерители длины (оптические, вихретоковые и т.д.). Косвенные методы измерения длины преобразуют скорость движения изделия в длину путем ее интегрирования по времени.

Считая, что скорость движения во время измерения остается постоянной и, произведя ее перемножение на время можно тем самым определить длину изделия.

Электромеханический метод измерения длины и скорости

Принцип работы электромеханических измерителей длины заключается в следующем. Измерительный цилиндрический ролик, вращаемый на оси, прижимается к изделию и обкатывает его при поступательном движении. С роликом жестко связан импульсный датчик, который выдаст определенное число импульсов на один оборот ролика. Цена импульса может быть определена по следующей формуле:

$$k = \pi D n = 2\pi r n$$

где D – диаметр мерительного ролика; n – число импульсов на один оборот импульсатора; μ – передаточное отношение между роликом и импульсатором.

Подсчитав число импульсов m, можно определить длину изделия L:

$$L = km$$

где k – цена импульса; m – число импульсов.

Достоинства:

- простота;
- относительная надежность.

Недостатки:

- наличие механических деталей;
- проскальзывание ролика по изделию;
- стирание мерного колеса.

Бесконтактные методы измерения длины и скорости протяжённых изделий целесообразно использовать только в тех случаях, когда по тем или иным причинам невозможно использовать контактный электромеханический метод. Например, при измерении длины оптоволокна и оптоволоконных кабелей невозможно применять контактный метод из-за хрупкости объекта измерения. А при измерении длины и скорости стальных канатов, проката, арматуры и т.п., контактный метод непригоден, так как мерные колёса не выдерживают нагрузок возникающих при производстве этих изделий и быстро изнашиваются. Также электромеханический метод измерения малопригоден при движении измеряемого объекта с большими скоростями из-за своей инерционности. Приборы, использующие бесконтактные схемы измерения, как правило, на порядки более сложны, дороги и потенциально менее надёжны хоть зачастую и обеспечивают хорошие метрологические характеристики.

Принцип измерения **лазерного доплеровского измерителя скорости** (ЛДИС) заключается в следующем: лазерный пучок расщепляется светоделительной призмой на 2 луча, которые, пересекаясь на поверхности контролируемого объекта, образуют интерферирующую картину с периодом «d». Излучение, рассеянное неоднородностями на поверхности объекта, собирается приемной оптикой и преобразуется фотоприемным устройством в электрический сигнал, частота которого пропорциональна скорости движения объекта:

$$f = \frac{v}{d} = \frac{2 \cdot v \cdot \sin\left(\frac{Q}{2}\right)}{\lambda}$$

где f – выходная частота лазерного датчика; v – скорость объекта; Q – угол между лазерными лучами; λ – длина волны лазера.

Таким образом, измеряя выходную частоту лазерного датчика, можно определить скорость и, соответственно, длину движущегося объекта:

$$v = \frac{f \cdot \lambda}{\sin(\frac{Q}{2})} = K_{zp} \cdot f\,,$$

где $K_{гр}$ – градуировочный коэффициент прибора; λ – длина волны; f – выходная частота лазерного датчика.

$$L = \int_0^t v(t)dt$$

где L – длина объекта; t – время измерения.

Достоинства:

- Бесконтактный метод;
- Отсутствие проскальзывания ролика;
- Измерение хрупких объектов;
- Высокая точность.

Недостатки:

- Высокая стоимость;
- Ограничения по скорости;
- Невозможность определения направления движения;
- Проблема контакта с объектом.

Корреляционный метод

Получил широкое применение для измерения скорости и длины холодного и горячего проката. Метод, в котором базовое расстояние определяется естественными метками на поверхности проката и точным установлением места воздействующего поля. На движущуюся поверхность проката при помощи оптической системы проектируется два ярких световых луча на фиксированном расстоянии друг от друга, например 1м. Отраженные лучи света воспринимаются фотоприемниками $Ф_1$ и $Ф_2$, электрические сигналы устанавливаются усилителями, преобразуются и сравниваются, разностный сигнал интегрируются и через регулируемый экстрематор подается на выходной прибор. В канале первого сигнала ставится устройство задержки.

Если первый сигнал “задержать” на время, равное времени прохождения движущимся объектом базового расстояния, то сигнал второго фотоприемника по интенсивности и форме будет близок к первому сигналу. Так как на выходе интегратора сигнал представляет взаимно корреляционную функцию сигналов, то в случае $\tau=t_x$, где t_x – транспортное запаздывание, равное l_x/v_x, тогда скорость $v=l_x/t_x=l_x/\tau$. Таким образом мы доказали, что фиксированное значение длины 1м проволока проходит со скоростью v за время t. Далее чтобы измерить длину необходимо несколько раз с первого излучателя подавать изображение на измеряемый объект. Т.е. $L = nl_x$, где n – количество изображений, поданных с излучателя.

Вихретоковый метод

Предлагается обзор скоростного эффекта в вихретоковом методе нашедшего широкое применение для контроля качества продукции и измерения различных геометрических и электрофизических параметров объектов в процессе их движения относительно ВТП. Поскольку скорости движения контролируемых объектов могут быть велики (до 1000 м/с), возникающие в них от скоростного эффекта дополнительные вихревые токи оказывают существенное влияние на сигналы ВТП. Определение влияния скорости движения объекта на сигналы ВТП необходимо не только для создания бесконтактных средств измерения линейных скоростей движения и длины, но и для разработки эффективных методов отстройки от скоростного эффекта. При контроле круглыми проходными ВТП движущихся цилиндрических объектов (проводов, труб прутков и др.) представляет практический интерес анализ вносимых параметров проходных наружных преобразователей (ПНП).

Ниже приведено выражение для вносимой ЭДС:

$$\dot{E}_{вн} = -j\mu_0 \dot{I} a^2 \omega \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\mu_r |\lambda| J_0(|\lambda| R) J_1(qR) - q J_1(|\lambda| R) J_0(qR)}{\mu_r |\lambda| K_0(|\lambda| R) J_1(qR) - q K_1(|\lambda| R) J_0(qR)} \cdot K_1^2(|\lambda| a) e^{-j\lambda z} d\lambda$$

где $q^2 = \lambda^2 - j\mu_a \lambda v_z \sigma + j\omega\mu_a\sigma = \sqrt{\lambda^2 - k^2(1 - \frac{\lambda v}{\omega})}$,

J_n – функция Бесселя первого рода n-го порядка; K_n – модифицированная функция Бесселя второго рода n-го порядка; a – радиус возбуждающего и измерительного витков; R – радиус объекта (наружный для ПНП и внутренний для ПВП); z – расстояние между плоскостями возбуждающего и измерительного витков; v_z – скорость движения контролируемого объекта вдоль оси ВТП; λ – переменная интегрирования.

Достоинства:

- бесконтактный метод;
- на сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами;
- простота конструкции преобразователя.

Недостатки:

- необходимость отстройки от мешающих параметров.

Список литературы

1. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
2. Методы измерения неэлектрических величин: учебное пособие / И.Г. Лещенко, Б.Б.Винокуров; Томск; изд-во ТПИ, 1984. – 57 с.
3. Методы и средства контроля в кабельной промышленности. Сборник методических указаний по выполнению лабораторных работ по программе магистерской подготовки / В.В Редько, Е.М.Федоров; Томск; изд-во ТПУ, 2007. – 55 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ В РАМКАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Даренских А.В., Шестаков В.В

Научный руководитель: Капранов Б.И., профессор, д.т.н., Шестаков В.В.

Институт неразрушающего контроля Томского политехнического университета,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: Alex434dar@yandex.ru

Обнаружение дефекта с помощью ультразвука в общем случае является простым и быстрым. Более сложна и обычно требует большого времени оценка дефекта по типу, форме и величине, а также его положения. Эта задача упрощается после получения изображения дефекта, например, изображение С-скана, после обработки полученного изображения можно с легкостью ответить на все эти вопросы. В последнее время разработчики получили в свое распоряжение широкий ассортимент быстродействующих элементов вычислительной техники в микросхемном исполнении. Это открыло возможность обработки цифровыми методами многомерных сигналов, в первую очередь сцен из изображений объектов, формируемых разнообразными техническими датчиками. Зачастую изображения объектов весьма несовершенны, обладают недостаточной по отношению к фону контрастностью, четкостью, искажены помехами и шумами. По этим сигналам оператору затруднительно принимать необходимые решения в темпе поступления изображения, т.е. в реальном масштабе времени. Поэтому необходима автоматизация анализа изображений.

Таким образом, целью дипломной работы является расширение функциональных возможностей универсального ультразвукового акустического тракта «ТРАК», посредством разработки программного модуля, реализующего обмен данными с IBM PC и автоматизация определения положения, и оценка объема дефектов в рамках ультразвукового контроля.

В связи с поставленной целью были обозначены следующие задачи: ознакомление с программным обеспечением Delphi и разработать на ее основе программу, для управления прибором «ТРАК», обмена данными, формирования изображения и последующей его обработкой (определение положения и размеров объектов).

"ТРАК" представляет собой универсальный ультразвуковой акустический тракт, выполненный в виде отдельного модуля, подключаемого к компьютеру через LPT порт по стандарту IEEE Std 1284. Непосредственно в модуле ТРАК реализован только программно-управляемый приемник, генератор и обменный буфер (т.е. акустический тракт). "ТРАК" – универсальный ультразвуковой акустический тракт и его интерфейс изображен на рис. 1.

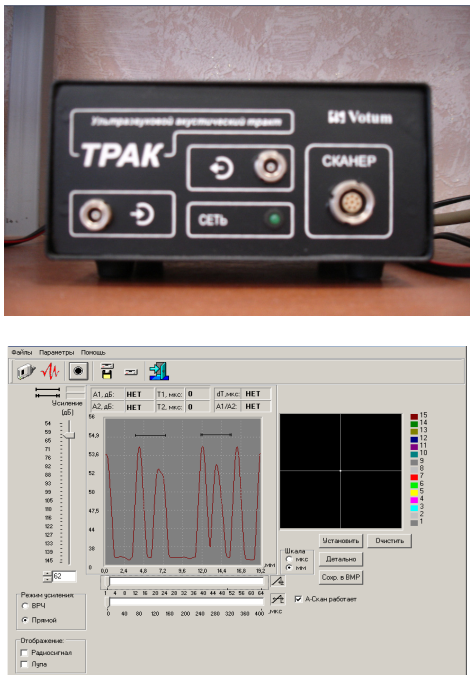


Рис. 1. Ультразвуковой акустический тракт и его интерфейс

На управляющей PC, при помощи прикладного ПО (поставляемого в комплекте), оператор формирует необходимые параметры контроля и производит настройку акустического тракта: по частоте, амплитуде и форме зондирующего сигнала. Затем подготовленные данные передаются в "ТРАК" в виде алгоритмической инструкции по контролю, или набора инструкций. В этом смысле, "ТРАК" является универсальным акустическим прибором НК, который позволяет создавать собственные типы ультразвуковых приборов: дефектоскопы, структуроскопы или толщиномеры, реализуя известные методы УЗ контроля (эхо, эхо-теневой, эхо-зеркальный, теневой, зеркально-теневой, резонансный и др.).

В данной работе мы будим использовать эхо-импульсный метод с прямым совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем. Эхо-метод УЗД основан на излучении в контролируемое изделие коротких импульсов упругих колебаний от

0,5 до 10 мкс и регистрации интенсивности (амплитуды) и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов отражателей.

Главным преимуществом "ТРАКа" является наличие документированного протокола взаимодействия с PC, предоставляющего пользователю возможность, разрабатывать собственные приложения и методики контроля. Так же возможно взаимодействие с управляющим компьютером через USB порт 1.1.

В результате был разработан программный модуль, изображенный на рисунке 2, написанный на языке программирования Delphi. Важным аспектом разработки программы является ее быстродействие, так как обработка данных ведется в реальном времени.

Принцип минимального рабочего усилия, имеющий два аспекта:

-минимизация затрат ресурсов со стороны разработчика ПО, что достигается путем создания определенной методики и технологии создания, свойственной обычным производственным процессам;

-минимизация затрат ресурсов со стороны пользователя; т.е. должен выполнять только ту работу, которая необходима и не может быть выполнена системой, не должно быть повторений уже сделанной работы.

Основой определения положения и размеров дефекта на изображении (B-скан) заключается в его сегментации, т.е. в определении объектов на изображении (сцене). Алгоритмы сегментации делят на две большие группы: по критерию однородности и по критерию неоднородности. К первой группе относятся методы разметки внутренних точек областей, методы пороговой обработки изображений, а также методы наращивания областей. Ко второй группе методов относятся методы выделения границ областей. В разработанной программе применяется метод выделения границ, а именно метод определения границ по перепаду яркости.

Для получения наиболее точных результатов необходима предварительная обработка изображения, т.е. его фильтрация. В работе использовались пространственные методы фильтрации, а именно улучшение изображения с использованием операторов Лапласа и Собела, т.е. метод пространственных масок, они обеспечивают повышение резкости. Пространственные методы проще в реализации их машинных алгоритмов, т.к. они определяются меньшими вычислениями по сравнению с частотным методом.

На рисунке 2. изображен разработанный модуль. На данной панели два окна: окно слева – анализируемое изображение, полученное после сканирования объекта (в данном случае имитация обнаруженного дефекта, B-скан) или загруженное из ранее сохраненных, окно с права – изображение после обработки (определение контура, фильтрация). Для автоматизации, основным элементом является кнопка «Пуск», запускающая все основные процедуры: фильтрация изображения, выделение границ с выводом результата на экран и расчет размеров с выводом результата в соответствующие окна. Так же все эти операции можно сделать поэтапно, они расположены на панели меню. При расчете размеров определяется: габариты дефекта (ширина, длина), граничные точки, показывающие место положения дефекта, при этом производится калибровка в зависимости от размеров области сканирования.

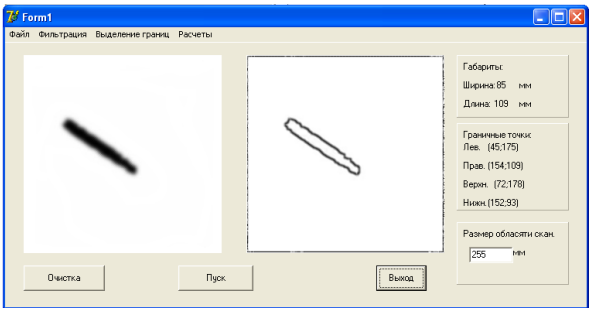


Рис. 2. Интерфейс разработанного программного модуля

Разработанный модуль пригоден для применения, как в учебном процессе, так и для контроля объектов в реальном производстве. Достоинство модуля – работа в реальном времени, а так же за счет использования простых алгоритмов возможность получать быстрый результат. Важен и тот факт, что мою программу можно применять для других методов контроля, позволяющих получить 2D-изображения контролируемых объектов, например при рентгеновской томографии.

Список литературы

1. Крауткремер, Йозеф. Ультразвуковой контроль материалов: Справочник; пер. с нем. / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – М.: Металлургия, 1991. – 750 с.
2. Сухарев, Михаил В. Основы Delphi. Профессиональный подход / М.В. Сухарев. – СПб. : Наука и техника, 2004. – 596 с.
3. Домаркас В. Й., Пилецкас Э. Л. Ультразвуковая эхоскопия – Л.: Машиностроение, 1988. – 276 с.
4. Фурман Я.А., Кревецкий А.В, Передреев А.К. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов/ Я.А.Фурман – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.

ПЬЕЗОКЕРАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Денисова А.А.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tps@tpu.ru

Пьезоэлектрический эффект присущ некоторым природным кристаллам, таким как кварц и турмалин, которые в течение многих лет использовались в качестве электромеханических преобразователей.

Однако природные пьезоэлектрические материалы имеют достаточно высокую стоимость. В связи с этим потребности бурно развивающейся электроники в настоящее время удовлетворяются синтетическими пьезоэлектрическими монокристаллами, которые выращиваются в специальных установках. Пьезоэлектрические свойства таких кристаллов с достаточно высокой повторяемостью можно задавать путем композиции входящих в него компонентов.

Пьезокерамика – один из перспективных материалов века XXI. Причиной такого взгляда является то, что замечательные свойства, присущие пьезокерамике, до сих пор не в полной мере востребованы наукой, техникой и технологиями. Пьезоэлектрическая керамика представляет собой твердый, химически инертный материал, мало чувствительный к влажности и другим атмосферным воздействиям. По механическим качествам она подобна керамическим изоляторам. Пьезокерамика – это поликристаллический сегнетоэлектрик, представляющий собой химическое соединение или твердый раствор (порошок) зерен (кристаллитов).

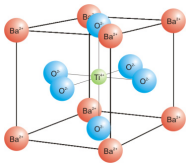


Рис. 1. Титанат бария

По химическому составу это сложный оксид, включающий ионы двухвалентного свинца или бария, а также ионы четырехвалентного титана или циркония (рис. 1). Путем изменения основного соотношения исходных материалов и введения добавок синтезируют разные составы пьезокерамики, обладающие определенными электрофизическими и пьезоэлектрическими характеристиками.

Пьезокерамические элементы изготавливаются методом полусухого прессования, шликерного литья, горячего литья под давлением, экструзии или изостатического прессования с последующим обжигом на воздухе при температуре 1000–1400 градусов по Цельсию. С целью уменьшения пористости обжиг проводится в среде кислорода, или элемент изготавливается с помощью метода горячего литья. По специальной технологии на поверхность заготовок наносятся электроды.

После этого керамику делают пьезоэлектрической с любым выбранным направлением поляризации путем помещения ее в сильное электрическое поле при температуре ниже так называемой точки Кюри. Поляризация обычно является окончательным процессом при изготовлении пьезокерамических элементов, хотя за ним следует термостабилизация и контроль параметров.

Пьезокерамика, поляризованная сегнетокерамика, предназначена для использования в пьезоэлектрических преобразователях. В обычном состоянии сегнетокерамика не проявляет пьезоактивности, поскольку является изотропной средой вследствие хаотического расположения отдельных кристаллических зерен и деления их на домены с различным направлением спонтанной поляризованности. Анизотропность среды достигается за счет образования пьезоэлектрических текстур – поликристаллических агрегатов, в которых мелкие кристаллики имеют одинаковую ориентацию.

Однородная ориентация электрических осей кристалликов создается путем поляризации керамики при выдержке в сильном электрическом поле. После снятия поля сохраняется устойчивая остаточная поляризованность, материал становится текстурированным. По своим свойствам поляризованный текстурированный образец близок к однодоменному кристаллу, т. е. обладает высокой пьезоактивностью. Но даже в наилучших пьезокерамиках все же наблюдается некоторый разброс направлений полярных осей отдельных кристаллитов (рис. 2), поэтому средние значения пьезомодулей у керамики могут оказаться меньше, чем у составляющих ее монокристаллов.

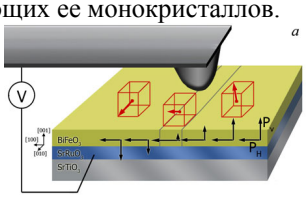


Рис. 2. Проводящие доменные границы в сегнетоэлектрике феррите висмута BiFeO3

Неоспоримыми преимуществами пьезокерамики по сравнению с монокристаллами являются

ее технологичность и дешевизна. Изготовление пьезокерамики проще, чем выращивание монокристаллов. Из керамики можно изготавливать изделия любой формы – линзы, цилиндры и т.п. (рис. 3).

В таблице 1 представлена информация о возможности применения пьезокерамики и приборов на ее основе в различных областях.

Благодаря своим уникальным свойствам пьезокерамика находит все большее применение в различных областях техники и технологии.

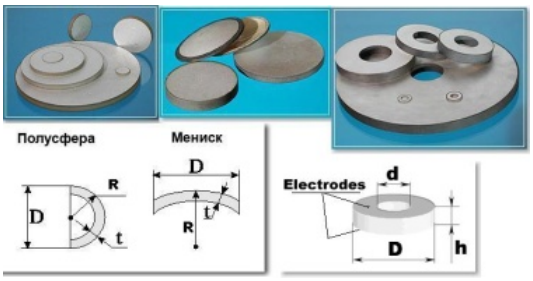
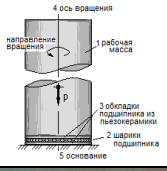
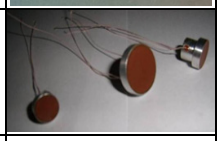
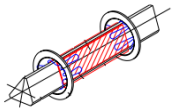


Рис. 3. Изделия из керамики

Таблица 1

Области применения керамики

Область	Прибор	Фирма	Отличительные свойства	Материал и его форма	Изображение
Преобразователи для дефектоскопии и расходометрии	ПЭД для измерения радиальной деформации трубопровода	НИИ физики ЮФУ www.piezotech.ru	Малые габариты; Емкость не менее 250 пФ.	Пьезокерамическое кольцо	
Преобразователи для дефектоскопии и расходометрии	ПЭП для измерения вибрации подшипника	НИИ физики ЮФУ www.piezotech.ru	Широкий диапазон измерения виброскорости 0,4-15 мм/с; Малые габариты.	Пьезокерамическое кольцо	
Ультразвуковые пьезоэлектрические модули	ПЭД для определения уровня жидкости (расходомер)	НПП «Сигма-С» www.npp-sigma-s.ru	Малые габариты; Устойчив к воздействию окружающей среды.	Пьезокерамическое кольцо	
Преобразователи для медицинской техники	Элементы для механических секторных сканеров	НИИ физики ЮФУ www.piezotech.ru	Высокая рабочая частота около 5 МГц.	Пьезокерамический диск	
Приборостроение	ПЭ вибрационные гироскопы	НИИ «Элла» www.elpapiezo.ru	Упрощенная конструкция; Малые габариты	Пьезокерамический диск	
Фото- и рентгенолитография; Оптомеханические приборы	Пьезопакетные актюаторы	НИИ «Элла» www.elpapiezo.ru	Высокая чувствительность, не менее 2 мкм/В • 10^{-3};	Пьезокерамический диск или кольцо	

Список литературы

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П. Пьезоэлектрические датчики. Москва: Техносфера, 2006. – 632 с.
2. Журнал «Электроника: НТБ», №8/2006 www.elcp.ru.
3. www.avrora-elma.ru
4. www.compitech.ru

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АТТЕНЮАТОРАМИ

Добриков А.И.

Научный руководитель: Воробьёва Г.С., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, пр. Ленина, 30
E-mail: chelnock@sibmail.com

При разработке и настройке приборов СВЧ электроники широко применяются аттенюаторы.

Аттенюатор – устройство для плавного, ступенчатого или фиксированного понижения интенсивности электрических или электромагнитных колебаний, как средство измерений является мерой ослабления электромагнитного сигнала.

В простейший электрический аттенюатор строится на основе резисторов. Соответственно для использования аттенюаторов необходимы устройства управления.

Данная статья посвящена описанию блока управления, разработанного мною, для работы с электромеханическими аттенюаторами моделей 33321H и 8494H фирмы Agilent Technologies.

Аттенюаторы 8494H (диапазон ослабления 0–11 ДБ) и 33321H (диапазон ослабления 0–70 ДБ) применяются для настройки приборов на различных уровнях входного сигнала (мощностью до 1 Вт) в диапазоне частот от 0 до 18 ГГц.

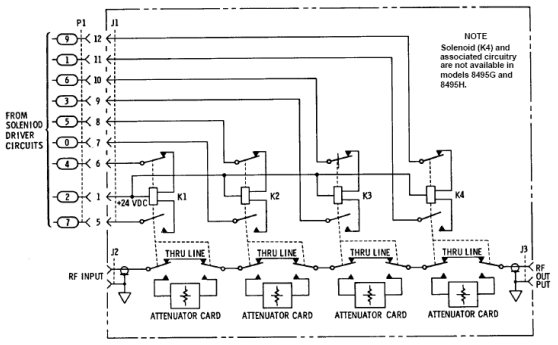


Рис. 1. Функциональная схема аттенюаторов (на примере 8494H)

Каждый аттенюатор состоит из управляемых секций соединённых в каскад (рис. 1).

Секция представляет собой электромеханическое реле, имеющее два положения. Катушка реле имеет фиксированное сопротивление 192 Ома. Для гарантированного переключения секции необходимо обеспечить протекание постоянного тока величиной не менее 125 мА в течение 20 мс.

Требования, предъявляемые к устройству управления аттенюаторами:

1. Минимальные масса и габариты.
2. Возможность ввода данных управления непосредственно как с клавиатуры устройства, так и с клавиатуры ПК.
3. Наличие высокоинформативных средств отображения информации (СОИ).
4. Наличие источника питания для подачи управляющих воздействий на секции аттенюаторов.

В качестве устройства для ввода информации решено использовать матричную клавиатуру модели AK-1604-N-BBW на 16 клавиш.

Для отображения текущего состояния устройства используется буквенно-цифровой ЖКИ модели WH1602D. Устройство представляет собой недорогое и удобное решение, при этом обеспечивается отображение большого объема информации при хорошей контрастности и низком энергопотреблении.

Для реализации алгоритмов управления аттенюаторами применение микроконтроллера AtMega128L (по стоимости, энергопотреблению и схемной реализации) наиболее рационально.

При анализе интерфейсов связи с ПК наиболее оптимальным является интерфейс USB, благодаря следующим особенностям:

1. Интерфейс USB широко распространён в современных ПК и ноутбуках.
2. Возможность питания от USB устройств с током потребления до 500 мА (максимальный ток для спецификации 2.0).

Микроконтроллер AtMega128 не имеет встроенного модуля USB, поэтому используем микросхемы семейства FTDI, а именно FT232BM – преобразователь уровней USB ↔ RS-232 (рис. 2).

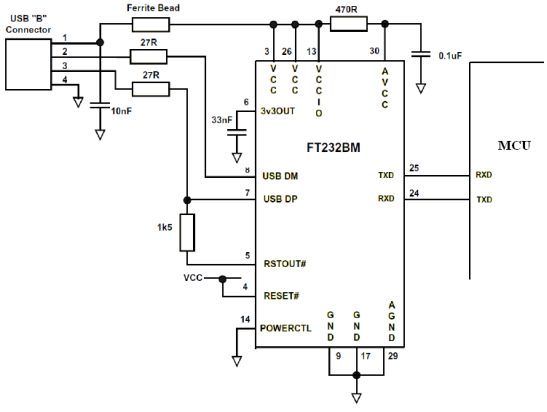


Рис. 2. Схема сопряжения модуля микроконтроллера USART с интерфейсом USB

При формировании управляющих напряжений для переключения секций было принято решение реализовать ППН повышающего типа на основе ИМС ADP3000, что позволяет отказаться от использования дополнительных источников питания, уменьшить массу и габариты платы [1].

ИМС ADP3000 представляет собой основу для построения ППН повышающего/понижающего типов.

К достоинствам ИМС можно отнести:

- высокая частота работы ключевого элемента (400 кГц);
- высокий КПД ППН (не менее 75%);
- ток потребления ИМС не более 500 мкА;

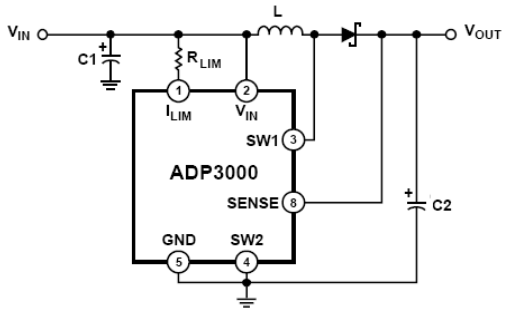


Рис. 3. Схема ППН повышающего типа на основе ИМС ADP3000

Для коммутации управляющего импульса используются полевые транзисторы IRF024L с логическим управлением [1].

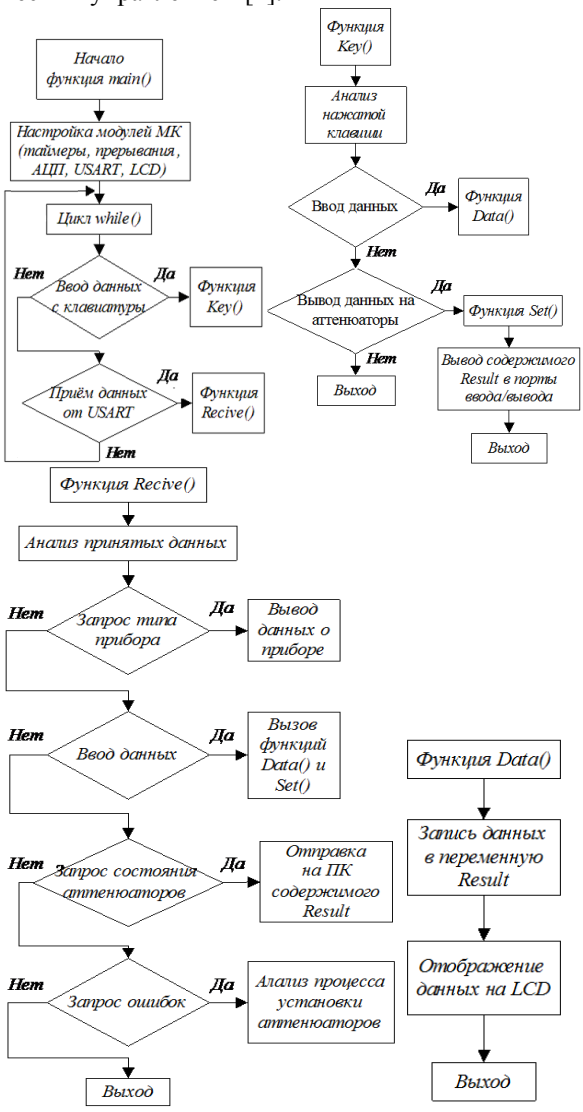


Рис. 4. Упрощённый алгоритм программы для МК

Упрощенные алгоритмы для МК AtMega128L представлены на рис. 4.

Программа управления включает два основных блока:

- Модуль для обработки ввода данных с клавиатуры устройства.
- Модуль обработки ввода данных с клавиатуры ПК.

Алгоритмы функционирования для микроконтроллера реализованы на языке программирования С, в средах разработки WinAVR и AVRStudio 4.

После инициализации модулей микроконтроллера и ЖКИ программа переходит в цикл ожидания событий по приходу данных либо с клавиатуры устройства, либо с ПК.

При получении информации от пользователя производится её распознавание (запросы о текущем состоянии, смена уровней ослабления и т. п.).

По команде на смену уровня ослабления входного сигнала производится проверка корректности вводимых значений. Далее начинается цикл переключения секций аттенюаторов (секции переключаются по очереди) с одновременной проверкой уровня выходного напряжения ППН и результата установки предыдущей секции.

Результаты запросов и выполненных операций отображаются на ЖКИ и передаются на ПК.

Для проверки алгоритмов и схемотехнических решений в программе P-CAD 2006 была разведена однослойная печатная плата устройства и изготовлен макет.

Испытания полученного блока управления аттенюаторами показали хорошую работоспособность, с выполнением всех требований, предъявленных к устройству.

Заключение

Разработанный вариант блока управления электромеханическими аттенюаторами обладает следующими достоинствами:

1. Применение современной элементной базы позволило получить малые массогабаритные характеристики.
2. Для питания устройства управления аттенюаторами и обмена информацией с ПК используется всего один кабель.
3. Имеется возможность подключения аттенюаторов других моделей (необходимо изменить таблицы истинности в памяти МК и параметры управляющих воздействий).
4. Применение современных средств отображения информации позволило получить высокую информативность устройства.

Список литературы

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – СОЛОН-Р.: Питер, 2007. – 333с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – Додэка-XXI.: Москва, 2007. – 592 с.
3. www.terraelectronica.ru.

ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫЙ ТВЕРДОМЕР ТШМ-1У

Донцов А.А., Прокопов Д.А., Сальников К.Н.

Научные руководители: Дмитриев С.Ф., к.т.н., доц.; Ишков А.В.*, к.х.н., д.т.н., проф.

ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет»,
**ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»*
656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61
E-mail: alexdontsov@yandex.ru

Ранее нами были разработаны виртуализированные измерительные приборы (ВИП) – современные измерительные программно-аппаратные (ПА) комплексы, базирующиеся на максимальной виртуализации функций измерительного устройства, не связанных с непосредственным получением информации от контролируемого объекта и среды [1], и предназначенные для решения частных задач электромагнитных измерений: измерения предельно-допустимого уровня электромагнитных излучений (по магнитной компоненте ЭМИ), измерения напряженности постоянного и переменного магнитного поля, исследование спектральной характеристики ЭМИ в звуковом диапазоне, измерение электропроводности неферромагнитных материалов, измерение электропроводности полупроводников и пр. [1, 2].

Используемый в этих ВИП метод вихревых токов (МВТ) основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объёме контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного положения измерительного вихревого преобразователя, его конструкции и от объекта контроля. В качестве датчика в разработанных ВИП использован сверхминиатюрный вихретеоковый преобразователь (СМВТП) индуктивного типа [3]. Синусоидальный или импульсный ток с известными характеристиками, поступающий на возбуждающую катушку СМВТП с аналогового выхода (ЦАП) звуковой карты ПК, создает электромагнитное поле, которое преобразуется и направляется к объекту контроля магнитопроводом-концентратором датчика и возбуждает в нем вихревые токи. Поле вихревых токов, воздействуя на приемную катушку СМВТП, наводит в ней ЭДС и изменяет ее полное электрическое сопротивление. Сигнал с приемной катушки подается на вход (АЦП) звуковой карты и после программной обработки рассчитываются его характеристики. Программная часть ВИП управляет входами-выводами АЦП/ЦАП ПК, в реальном времени регистрирует напряжение на выводах катушек СМВТП или их сопротивление, осуществляет обработку измерительных сигналов и позволяет получать информацию о свойствах объекта или положении преобразователя относительно него.

Используя зависимость измерительного сигнала от положения СМВТП относительно объекта контроля [4], которая восстанавливается программой ВИП и на основе вычисления логарифмического декремента затухания колебаний датчика над электропроводящей поверхностью, нами был разработан метод измерения твердости, результаты которого хорошо коррелируют со стандартизированным динамическим методом упругой отдачи (метод Шора) по ГОСТ 23273-78. Этот метод был реализован в новом ВИП – твердомере ТШМ-1У, предназначенном для измерения твердости металлических, полимерных и композиционных проводящих материалов.

Конструкция используемого в разрабатываемом приборе СМВТП (рис. 1), обеспечивает его работу в режиме самосравнения, однако типовой датчик изготовлен по принципу сравнения со стандартным образцом, т.е. рабочий и образцовый преобразователи не связаны индуктивно и имеют независимые измерительные и возбуждающие обмотки [5]. Такое оформление СМВТП обеспечивает измерение характеристик материалов с относительной погрешностью уже до 0,1-0,5 %, защищает рабочий ВТП от внешних наводок и позволяет использовать его для комплектования, например измерителя электропроводности неферромагнитных материалов ИЭНМ-20М, разработанного нами ранее.

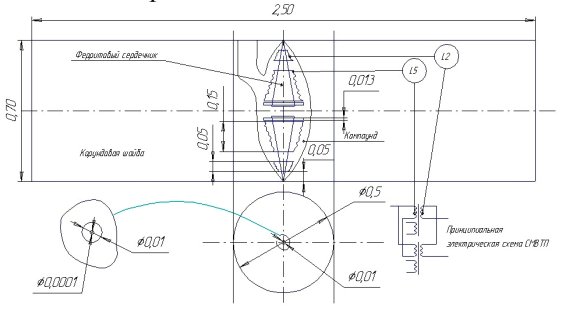


Рис. 1. Эскизный чертеж СМВТП для измерений в режиме самосравнения

Дифференциальное включение катушек и фокусировка возбуждающего поля сердечником позволяет с датчиком этого типа проводить высоко-

чувствительные локальные исследования проводящих материалов на площади 50–80 мкм^2.

Для измерения же характеристик затухающего процесса в рабочем датчике обе части СМВТП были выполнены на общем бипирамидальном магнитопроводе а включение их катушек в цепь первичного преобразователя – полностью независимое. В качестве материала сердечников СМВТП использовался среднечастотный малодиссипативный феррит, выбранный из ферритов марки 2000 НМ3 по величине максимальной начальной магнитной проницаемости. Была разработана технология изготовления сигнальных и генераторных катушек с использованием оригинальной оснастки для микроминиатюрных намоточных работ. Катушки СМВТП пропитаны эпоксидным компаундом и обеспечивают устойчивую работу датчика при температурах до 200 ^{o}C, а сам датчик с системой распайки помещается в пластмассовый корпус держателя.

Для реализации виртуализированного измерительного прибора МВТ, СМВТП подключается непосредственно к разъемам звукового адаптера ПК, а запуск специализированного программного обеспечения обеспечивает конфигурирование и работу всего измерительного ПА-комплекса.

В приборе ТШМ-1У реализованы два способа измерения твердости, основанные на прямой пропорциональной зависимости значения логарифмического декремента затухания колебаний СМВТП от твердости материалов по шкалам HSD, HV, HB, HRC и др. В случае подключения одного из разработанных нами датчиков – СМВТП, защищенный корундовой шайбой – определяются характеристики твердости по параметрам свободного затухающего процесса, что позволяет производить относительные измерения твердости по шкале HSD с точность до 3-5 %. Второй тип датчика снабжен алмазной инденторной головкой специальной формы (ГОСТ 9377-81) и прижимается к поверхности материала тарированной пружиной, что позволяет определять абсолютные значения твердости материалов по различным шкалам с точностью до 0,5-0,7 % и выше (табл. 1).

параметрам твердости и др.

Таблица 1

Технические характеристики ТШМ-1У

1	Число встроенных программ измерений	6
2	Единицы измерения твёрдости	HV, HRC, HRN30, HB, HSD,
3	Диапазон измерения твёрдости, HSD	от 30 до 97
4	Перевод чисел твёрдости	автомат.
5	Пределы допускаемой погрешности прибора, при проверке по мерам твёрдости 2 кл. точности, %	0,3–7,0
6	Индикация значений твёрдости	буквенно-цифровая
7	Питание внешних датчиков	автономное

Использование архитектуры специализированных измерительных программно-аппаратных комплексов [4] позволило в приборе ТШМ-1У легко реализовать многие сервисные функции:

- автоматический пересчет твердости из шкалы HSD в шкалы HB, HRC, HRN30 и HV;
- статистическая обработка, накопление и хранение полученных результатов;
- выбор и корректировка параметров калибровочной кривой;
- разбраковки изделий.

На данном этапе разработки нами реализован действующий макет-прототип измерительного устройства, который представляет собой СМВТП-датчик первого типа, сопряженный с коммерческим беспроводным приемником-передатчиком F1, подключаемый к компьютеру по Bluetooth 2.0-каналу (рис. 2), и специализированное программное обеспечение, выполненное в виде самоисполняемого в ОС Windows *.exe файла, в котором реализованы все функции по измерению, преобразованию и обработке сигнала от ВТП.

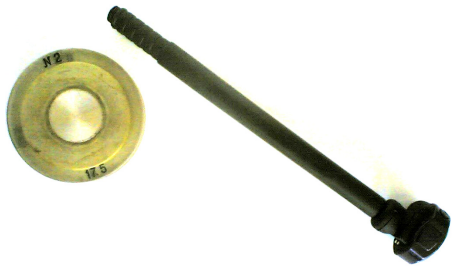


Рис. 2. Внешний датчик прототипа твердомера ТШМ-1У с ГСО

Отличительной особенностью ТШМ-1У является беспроводное исполнение внешнего датчика, возможность проведения измерений при любом его положении относительно поверхности образца и уменьшение массы образца с 0,1 до 0,001 г, что позволяет использовать прибор для оперативного контроля твёрдости изделий в цеховых и лабораторных условиях.

Область применения ТШМ-1У: металлургическое производство, машиностроение, металлообработка, производство изделий из композитов.

Список литературы

1. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Лященко Д.Н., Новоженов А.В. // Научные исследования: информация, анализ, прогноз: монография. – Кн. 28. – Воронеж: ВГПУ, 2010. С. 580-592.
2. Ишков А.В., Дмитриев С.Ф. Современная концепция сопряжения измерительных приборов с ЭВМ. // Мат. Междунар. научн.-техн. конф. «ИКИ-2007». -Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. С.3-6.
3. Дмитриев С.Ф., Панов С.Г., Ишков А.В. // Ползуновский альманах. № 2. 2008. С. 15-20.
4. Рябинин А.А., Маеренко А.А., Панов С.Г. и др. // Горизонты образования. Вып.10. 2008.
5. Ишков А.В, Дмитриев С.Ф., Новоженов А.В., Лященко Д.Н. Программное обеспечение приборов неразрушающего контроля, реализующих метод вихревых токов. // Труды VII-ой научн.-техн. конф. «Научное программное обеспечение в образовании и научных исследованиях». – СПб.-М.: Изд-во Нестор, 2009. С. 82-89.

АНАЛОГОВЫЙ КОММУТАТОР КА-4-16

Ерёмин В.В., Меркулов С.В.

Научный руководитель: Ким В.Л., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: EreminVladimirV@gmail.com

В настоящее время в автоматизированных системах управления широко используются многоканальные измерительные системы (МИС) [1]. Процесс поверки и калибровки таких систем «вручную» является весьма трудоемким. В связи с этим важным является создание автоматизированных комплексов, позволяющих упростить решение озвученной выше задачи.

В данной статье рассматриваются структура и принципы работы коммутатора аналоговых сигналов – КА-4-16, являющегося частью автоматизированного комплекса калибровки и поверки МИС. Его задачей является коммутация эталонных сигналов, подаваемых от одного или нескольких источников на входы испытуемой МИС. На рис. 1 показан внешний вид коммутатора КА-4-16.



Рис. 1. Коммутатор КА-4-16

Аналоговый коммутатор КА-4-16 представляет собой блок в металлическом корпусе высотой 2U с возможностью монтажа в стандартную 19-ти дюймовую стойку. На лицевой панели расположены: набор разъемов, для подключения источников эталонных сигналов и испытуемых МИС, средства индикации и ручного управления. На задней панели расположены разъемы подключения к интерфейсам RS-232/RS485 и сети переменного напряжения 220В.

Структурно коммутатор состоит из следующих функциональных узлов (рис 2):

- MUX – мультиплексор
- DEMUX – демультиплексор
- DU (display unit) – блок индикации
- CU (control unit) – блок управления
- ID (input device) – устройство ввода

Элементы MUX и DEMUX выполняют коммутацию сигналов одного из входных каналов IN1-IN4, на один или несколько выходных каналов OUT1-OUT16. Процесс коммутации осуществляется под воздействием блока управления.

Устройство ввода позволяет пользователю управлять процессом коммутации, а именно выбирать входные и выходные каналы. Команды от пользователя могут подаваться в блок управления как вручную при помощи кнопок, так и удаленно через интерфейсы RS-232 или RS-485.

Блок индикации отображает состояние (активен/неактивен) входных и выходных каналов.

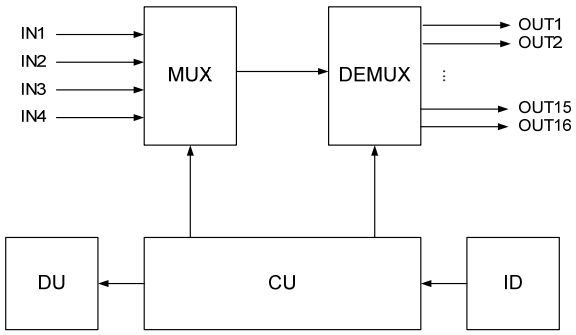


Рис. 2. Структурная схема КА-4-16

Более детально коммутатор представлен на рис. 3. Мультиплексирование и демультиплексирование аналоговых сигналов реализуется при помощи реле К1-К20. Индикация обеспечивается светодиодами VD1-VD20. Для реализации режима ручного управления используются кнопки SW1-SW3. Блок LPF обеспечивает аппаратное подавление дребезга контактов. Команды удаленного управления, передаваемые по интерфейсу RS232/RS485, поступают через интерфейсный преобразователь IC, непосредственно в блок управления, функции которого реализованы с помощью микроконтроллера MCU.

Связь микроконтроллера с реле, светодиодами и кнопками, осуществляется через 8-ми разрядную параллельную шину, набор регистров и дополнительную логику.

Для включения/выключение реле MCU осуществляет запись логического «0» или «1» в соответствующий однобитовый регистр (RG1-RG20).

Управление светодиодами осуществляется записью в регистры RG21-RG40 двух битового кода, позволяющего выбирать один из трех режимов индикации: мигание светодиода – режима настройки канала (мигание осуществляется с частотой формируемой сигналом LED_CLK); светодиод горит – канал активен; светодиод не горит – канал неактивен.

Информацию о состоянии кнопок микроконтроллер получает, чтением значений регистра RG0. Для более оперативного уведомления об изменении состояния кнопок, предусмотрена возможность формирования сигнала прерывания поступающего на вход INT0[2] микроконтроллера.

Адресный регистр AR и дешифратор адреса DC реализует выбор целевого регистра при операциях чтения и записи путем выдачи сигнала CSn, где n – номер регистра.

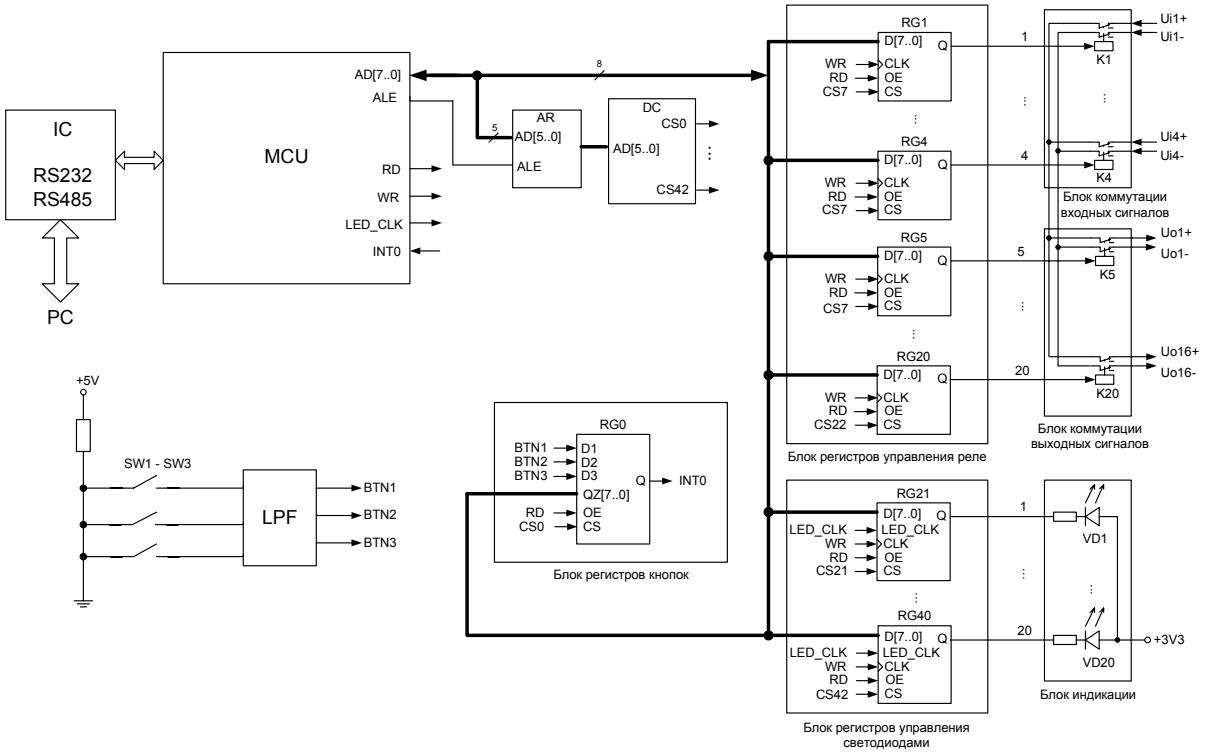


Рис. 3. Функциональная схема коммутатора

В таблице 1 представлены основные параметры блока КА-4-16.

Таблица 1

Основные параметры блока КА-4-16

Параметр	Значение
Кол-во входных каналов, шт	4
Кол-во выходных каналов, шт	16
Максимальная частота входного сигнала, МГц	50
Максимальные коммутируемые Напряжения, В	110 DC, 125 AC
Максимальный коммутируемый ток, А	1
Сопротивление контактов реле, мОм	50
Режимы управления	Ручной, программный
Интерфейс удаленного управления	RS-232, RS-485
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	Не более 15
Габариты, ДхШхВ, мм	490 x 250 x 90
Вес, кг	Не более 2

Таким образом, КА-4-16 является универсальным и гибким в управлении аналоговым коммутатором, предоставляющим возможность работы с различными многоканальными измерительными системами. С его помощью можно значительно ускорить процедуру калибровки, сделав ее автоматизированной.

Список литературы

1. Николаев С.В. Основы САПР измерительных систем: Текст лекций. Таганрог: ТРТУ, 2002.
2. Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ.,6-е изд. – М.: Мир, 2003.

ЦЕНТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО ПАКЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА

Иванова А.Г.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н, доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

В ряде приборов требуется создание упругого центрирования – принудительного удержания подвижного элемента конструкции относительно неподвижного. В этом случае должно создаваться противодействующее усилие (момент), которое стремится возвратить подвижный элемент в исходное положение. К числу центрирующих устройств относятся и бесконтактные подвесы (опоры) приборов.

Центрирующие устройства могут быть построены с применением различных типов механических пружин, которые одним концом закреплены на неподвижном основании, а вторым – на подвижном элементе [1]. Такие конструкции наиболее известны и широко распространены в технике. Основной их недостаток – невозможность изменения жесткости такого центрирующего устройства в процессе его эксплуатации без механической разборки-сборки его конструкции.

Противодействующий момент в центрирующем устройстве может быть создан с использованием либо постоянных магнитов, либо электромагнитов. Принцип действия магнитных подвесов (центрирующих устройств) основан на взаимодействии магнитных полей электромагнитов или постоянных магнитов, укрепляемых в корпусе и на подвижном элементе устройства. В обычных электромагнитах магнитный поток, а следовательно, и сила притяжения возрастают с уменьшением зазора между подвижным (якорем) и неподвижным (статором) элементами. В результате якорь притягивается к статору. В центрирующих электромагнитных устройствах должно быть обеспечено обратное явление: с уменьшением зазора между якорем и статором электромагнитная сила притяжения должна уменьшаться и, наоборот, с увеличением зазора – увеличиваться. Только в этом случае возникнет центрирующая сила и будет достигнут центрирующий эффект, т.е. устойчивым положением якоря будет его центральное положение относительно рабочих полюсов статора. Добиться центрирующего изменения сил притяжения можно пассивными средствами, подключая к катушкам возбуждения конденсаторы, и активными средствами, используя принцип автоматического регулирования сил притяжения. В соответствии с этим электромагнитные центрирующие элементы подразделяются на пассивные (магниторезонансные) и активные. Принцип работы магниторезонансного центрирующего элемента заключается в том, что при последовательном подключении конденсаторов к обмоткам возбуждения электромагнитов переменного тока создаются резонансные цепи. При соответствующем выборе рабочей точки на резонансной кривой зависимости тока от величины воздушного зазора получается необходимая для работы центрирующего устройства закономерность: при увеличении воздушного зазора ток в обмотке (а следовательно и усилие) возрастают и наоборот. К недостаткам магниторезонансного центрирующего элемента следует отнести малый диапазон возможных перемещений, сложный характер зависимости жесткости от регулируемого параметра – тока.

От перечисленных недостатков свободен активный электромагнитный центрирующий элемент. Смещение якоря регистрирует датчик перемещения, сигнал которого после преобразования в усилителе-преобразователе и усиления по мощности изменяет токи в катушках возбуждения таким образом, чтобы результирующая сила притяжения полюсов оказалась центрирующей, направленной против смещения якоря. В качестве исполнительного органа активного центрирующего элемента может быть использован соленоид, а также и другие электромеханические элементы, в частности моментные электродвигатели. Однако преимущества активного подвеса даются ценой значительного усложнения центрирующего устройства и снижением надежности его работы.

Предлагаемая работа посвящена экспериментальному исследованию центрирующего устройства на основе активного пакетного элемента. Принцип работы такого устройства изложен в [3]. Макет исследуемого устройства аналогичен рассмотренному ранее [4]. Основное отличие заключается в характере изготовления пластин пакета. В данном случае в центре каждой пластины выполнен поперечный узкий вырез, изменяющий характер протекания тока по пластине (рис.1). Пластины пакета выполнены из тонкой алюминиевой ленты, с двух сторон которой имеется бумажная изоляция. Пакет изготовлен путем сгиба ленты “в гармошку” с выполнением соответствующих вырезов. Направления центральных вырезов у соседних пластин чередуются. По пакету пропускался постоянный ток силой до 15 А. В воздуш-

ом зазоре постоянного магнита создавалось поле с индукцией порядка 0,1 Тл.

По методике, изложенной в [4], экспериментально определен характер изменения силы, создаваемой током, протекающим по пакету, по длине последнего (рис. 2).

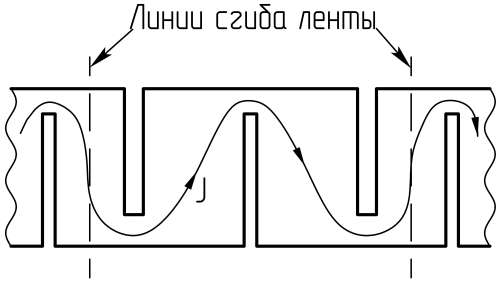


Рис. 1. Пластина пакета

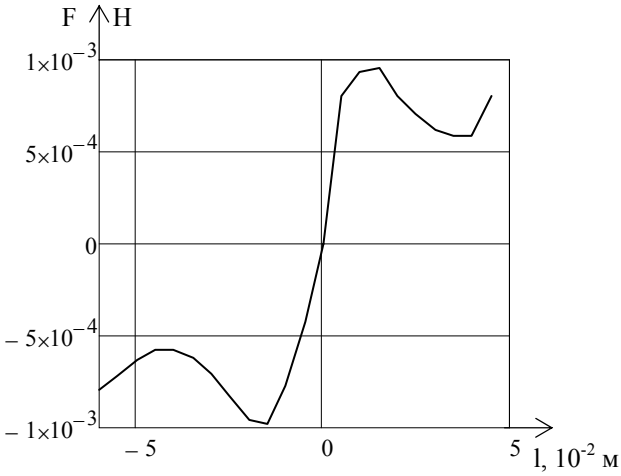


Рис. 2. Характер изменения силы

Методика проведения эксперимента с центрирующим устройством основывалась на исследовании собственных затухающих колебаний подвижного элемента – в нашем случае рычага с постоянным магнитом. Регистрация движения подвижного элемента осуществлялась путем видеозаписи движения стрелки, связанной с подвижным элементом, относительно неподвижной шкалы. Последующий покадровый просмотр полученной видеозаписи позволил построить графики движения подвижного элемента к устойчивому положению равновесия (рис.3) при различных токах пакета. Отметим, что при изменении направления протекания тока центральное положение становится неустойчивым – подвижный элемент стремится к одному из крайних положений. Ранее [4] было экспериментально показано, что развиваемая устройством сила линейно зависит от тока, протекающего по пакету. Поэтому жесткость колебательной магнитоэлектрической системы также зависит линейно от тока, протекающего по пакету. В том случае, если ток увеличить в k раз, жесткость также увеличится в k раз, а частота собственных колебаний изменится (увеличится) в $\sqrt{k}$.

Анализ полученных результатов (см. рис.3) показывает, что при размахе амплитуд колебаний, больших половины ширины постоянного магнита, величины полупериодов колебаний уменьшаются (увеличивается частота собственных колебаний), а как только амплитуды колебаний будут находиться в пределах половины ширины постоянного магнита, частота колебаний становится стабильной.

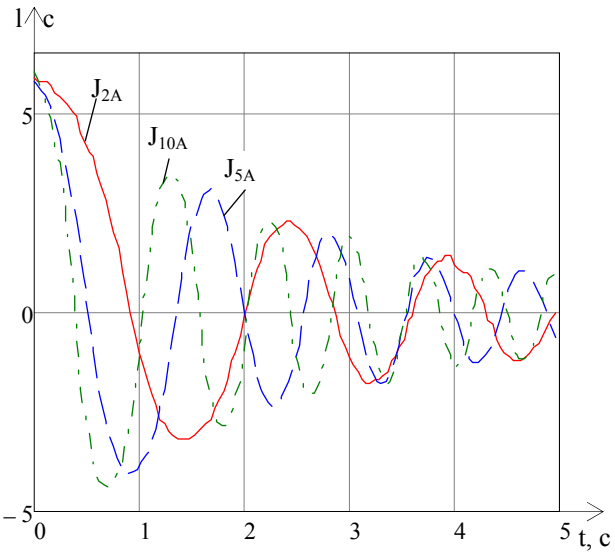


Рис. 3. Колебания подвижного элемента

Указанные явления объясняются существенной нелинейностью силовой характеристики устройства в целом и линейным участком вблизи центрального положения. Данные обстоятельства не являются препятствием для применения предлагаемого устройства в качестве центрирующего элемента – электрической пружины с изменяемой жесткостью. Повышенная крутизна силовой характеристики вблизи нейтрального положения позволит осуществлять центрирование подвижного элемента с большей точностью.

Список литературы

1. Бабаева Н.Ф., Ерофеев В.М., Сивоконенко И.М. и др. Расчет и проектирование элементов гироскопических устройств. – Л.: Машиностроение, 1967,
2. Никитин Е.А., Шестов С.А., Матвеев В.А. Гироскопические системы / под ред. Д.С. Пельпора.- М.: Высшая школа,1988
3. Моментный двигатель. Патент РФ № 2378755: МПК H02K 26/00 / В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников, Е.Н. Горячок, А.В. Квадяева – заявл. 01.12.08; опубл. 10.01.10, Бюл. №1-8с.
4. Иванова А.Г. Экспериментальная установка для исследования исполнительного устройства с пакетным элементом//Современные техника и технологии. Труды XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.- Томск. Изд. ТПУ, 2010. Т.1. С.427-428.
5. Линейный двигатель с активным пакетным элементом/ А.Г. Иванова, В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2010.- №11. – С. 36-39.

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Исакова Ю.И., Вахрушев Д.В., Холодная Г.Е.

Научный руководитель: А.И. Пушкарев, д.ф.-м.н,

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:principessa-88@mail.ru

Введение

Мощные ионные пучки (МИП) с плотностями энергии от 50 keV до 10MeV, плотностью тока от 1 kA до 10MA и длительностью импульса от 10 нс до 1000 нс широко применяются для обработки поверхностей материалов с целью улучшения их характеристик: твердости, прочности, износостойкости и др. [1].

Для контроля и оптимизации режима обработки необходимо контролировать плотность энергии ионного пучка и однородность пучка по сечению. Распределение энергии пучка в поперечном сечении обычно измеряют секционированным калориметром. Для обеспечения пространственного разрешения 1-2 мм при площади МИП более 20 см^2 требуется сложная конструкция калориметра и процесс измерения занимает много времени. Этот метод не позволяет оперативно контролировать режим работы генератора МИП в течение обработки деталей.

Цель выполненной работы – разработка методики оперативного контроля распределения плотности энергии по сечению импульсного ионного пучка гигаватной мощности.

1. Экспериментальная установка

Исследования проводились на ионном ускорителе ТЕМП-4М [2] с параметрами: плотность ионного тока на мишени 30–300 A/cm^2 (для различных конструкций диодов), энергия ионов 250–300 кэВ, состав пучка: ионы углерода и протоны. Для генерации ионного пучка в ускорителе ТЕМП-4М используется диод с магнитной самоизоляцией электронов. Ускоритель работает в двухимпульсном режиме: первый отрицательный импульс (300–600 ns, 100–150 kV), второй положительный импульс (80 ns, 250–300 kV). Исследования выполнены на плоском диоде размером 4 см × 20 см. Потенциальный электрод изготовлен из графита, заземленный электрод – из нержавеющей стали с прорезями шириной 4 мм, прозрачность 60%. Для измерения полного тока диодного узла использовали пояс Роговского с обратным витком. Плотность ионного тока измеряли коллимированным цилиндром фарадея с магнитной отсечкой электронов (B=0.4 Тл).

Диагностика параметров МИП проводилась по тепловому отпечатку на мишени с использованием тепловизора [3]. Для регистрации температурного поля применялся телевизор Fluke TiR10 (спектральный диапазон 7–14 мкм). В качестве мишени использовалась латунная пластинка толщиной 80–220 мкм. Тепловой отпечаток пучка регистрировали после генерации МИП через выходное окно из фторида кальция (CaF_2), расположенное на фланце диодной камеры. Схема эксперимента приведена на рис. 1.

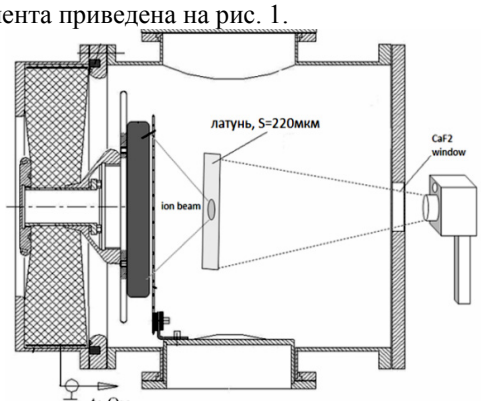


Рис. 1. Схема измерения распределения плотности энергии МИП

2. Методика измерения распределения плотности ионного пучка с помощью тепловизора

Латунь имеет достаточно низкий коэффициент излучения ε = 0,03, поэтому с помощью тепловизора невозможно точно измерить температуру латунной пластинки. Для увеличения коэффициента излучения латуни задняя (от ионного пучка) сторона мишени покрывалась черной матовой краской ($\varepsilon_{эмали}$= 0,90). Фторид кальция имеет неоднородное пропускание в разных диапазонах длин волн инфракрасного излучения. Поэтому была выполнена калибровка диагностического оборудования. На рис. 3 приведены результаты калибровки.

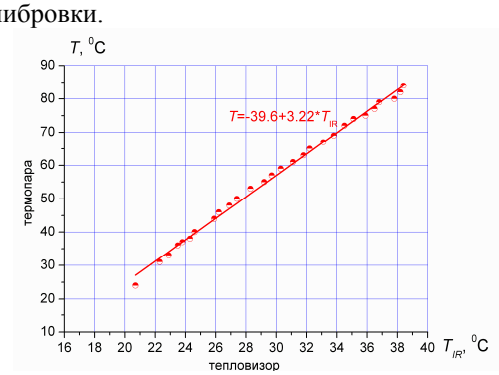


Рис. 2. Градуировочной график для окна из CaF_2

Градуировочную кривую аппроксимировали линейной функцией, коэффициенты рассчитывали методом наименьших квадратов. Погрешность аппроксимации не превышала 5%. Эту линейную функцию использовали в дальнейшем для расчета плотности энергии МИП. Количество энергии Q, выделяемое в мишени при облучении, равно:

$$Q = c_v \cdot m \cdot \Delta T = c_v \cdot S \cdot d \cdot \rho \cdot \Delta T, Дж$$

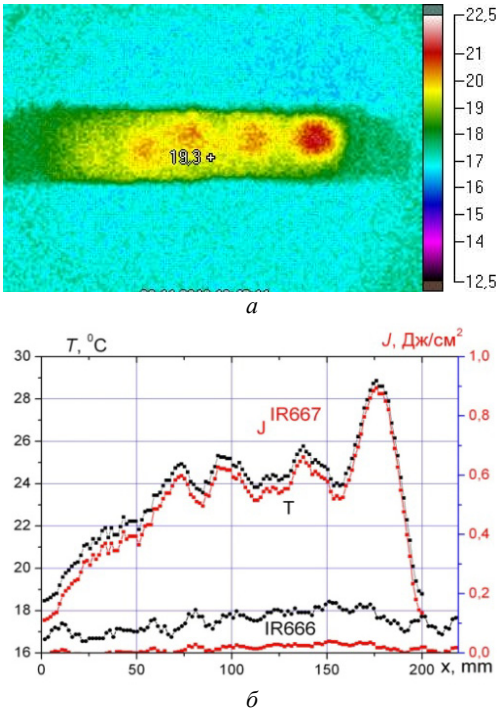
где c_v – удельная теплоемкость латуни, S – площадь мишени, d – толщина мишени, ρ -плотность латуни, ΔT – нагрев мишени.

Плотность энергии пучка J может быть определена по формуле:

$$J(x,y) = \frac{Q}{S} = c_v \cdot d \cdot \rho \cdot \Delta T, Дж/см^2$$

3. Исследование распределения плотности энергии МИП по сечению

На рисунке 3 приведен тепловой отпечаток МИП на выходе плоского диода.



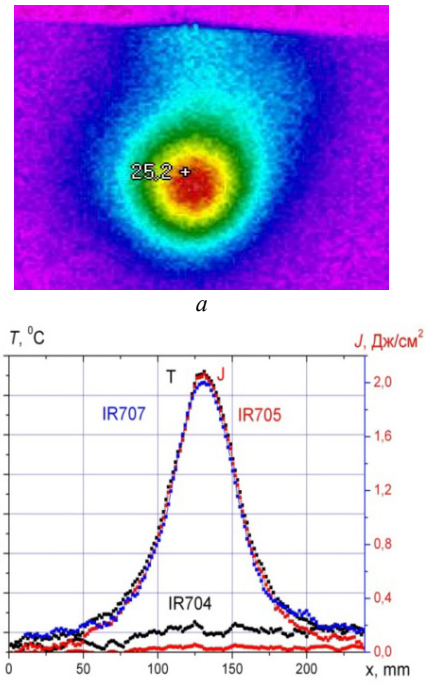
а

б

Рис. 3. Тепловой отпечаток МИП на выходе плоского диода(а), распределение температуры и плотности энергии МИП по длине диода, расстояние диод-мишень 4 см(б)

По данным распределения теплового поля на мишени, с учетом коэффициента пропускания окна (рис. 2), было рассчитано распределение температуры и плотности энергии МИП по длине диода.

Аналогичные эксперименты были проведены с диодом фокусирующей конструкции [4]. На рисунке 4 приведен тепловой отпечаток МИП на выходе фокусирующего полоскового диода и распределение температуры и плотности энергии пучка по сечению.



а

б

Рис. 4. Тепловой отпечаток МИП на выходе фокусирующего полоскового диода (а) и распределение температуры и плотности энергии сфокусированного МИП (б). Расстояние диод-мишень 14 см

Экспериментально определили зависимость остывания мишени, нагретой пучком до определенной температуры. Результаты экспериментов и моделирования показали, что зависимость охлаждения мишени со временем носит экспоненциальный характер и зависит от начальной температуры, конечной температуры, характера теплопередачи и геометрией мишени.

Заключение

Диагностика МИП по тепловому отпечатку – это эффективный метод для быстрой оценки распределения плотности энергии пучка. Он обеспечивает измерение профиля пучка после одного импульса. Порог температурной чувствительности тепловизора Fluke TiR составляет 0.1 ºС, что позволяет измерять плотность энергии пучка в диапазоне 0.05 – 5 Дж/см^2 без учета процессов эрозии и абляции на мишени. Время измерения не превышает 0.1 с, поэтому тепловизионную диагностику можно использовать при автоматизации обработки деталей с контролем параметров облучения на каждом импульсе.

Список литературы

1. Быстрицкий В.М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки.- М.: Энергоатомиздат, 1984.-152 с.
2. G.E. Remnev, I.F. Isakov, A.I. Pushkarev, et al., Surface and Coatings Technol., 114, 206 (1999)
3. H.A. Davis et al. J. Appl. Phys., Vol. 82, No. 7, 3223 (1997)
4. A. Pushkarev, Y. Isakova and D. Vahrushev Physics of Plasmas 17, 123112 (2010).

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ В СИСТЕМАХ УЧЕТА РАСХОДА ВОДЫ

Кадалова Е.В.

Научный руководитель: Степанов А.Б, ст. преподаватель

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pomidorka_l@sibmail.com

На сегодняшний день в нашу жизнь прочно вошли автомобили с гибридными двигателями и с технологиями снижения потребления топлива, энергосберегающие лампы освещения и светодиоды, солнечные батареи и системы «умный дом», направленные на снижение потребления энергоресурсов. Эти и другие тенденции современной реальности необратимо меняют мир в сторону глобального энергосбережения и, следовательно, остальных жизненно важных ресурсов, например воды.

Несмотря на простоту воды ее нельзя заменить другим продуктом и, соответственно, стоит вопрос о ее сохранении и сбережении. Для этого есть простой способ – установить счетчики расхода воды в квартиры домов и отслеживать учет используемой воды.

Рассмотрим принцип организации передачи данных о расходе воды между потребителем и диспетчером. Установленные в каждой квартире счетчики воды (на холодную и горячую воду) собирают данные о расходе и передают их на контроллер, установленный в этой квартире. Далее информация передается на общедомовой контроллер, его задача принять данные со всех квартир и отправить их в диспетчерский пункт, где полученные данные систематизируются и обрабатываются с помощью специального программного обеспечения. Назначение данного программного обеспечения состоит в обработке информации о текущем расходе воды и ведение архива для каждого потребителя.

Следует отметить, что в системах учета получили распространение три способа снятия показаний о расходе воды в отдельной квартире:

1) автоматический дистанционный;
2) с помощью портативного устройства съема информации;
3) ручной.

Из представленных способов в настоящее время наиболее оптимальным считается способ с автоматической дистанционной передачей. У этого способа есть ряд достоинств, таких как циклический опрос счетчиков; выдача данных и обмен информацией между потребителем и диспетчером; учет времени работы прибора в часах (дата и время); оперативное отключение/подключение или ограничение водопотребления диспетчером и защита от несанкционированного водопотребления.

Передачу данных от датчика расхода воды до контроллера и диспетчера можно осуществить либо с помощью кабеля или беспроводным способом.

Беспроводные технологии стали наиболее динамичной областью в сфере связи и организации сети. Быстрое распространение мобильных телефонов, различных спутниковых служб, и беспроводного интернета приводит к значительным уменьшениям в характере коммуникаций и сетей.

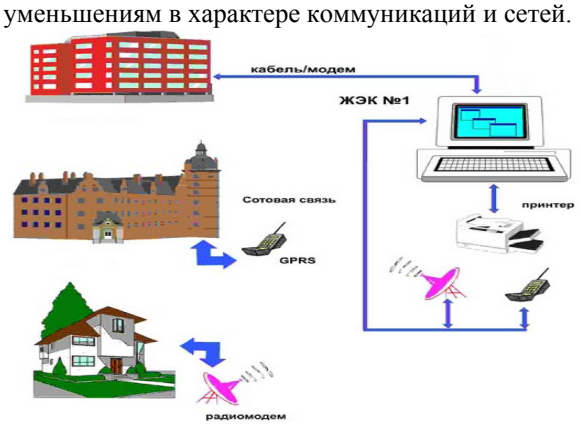


Рис. 1. Организация обмена данными между домами и диспетчером

На рис. 1 показаны различные варианты объединения домов в локальную сеть диспетчеризации. Информация, полученная каждым ЖЭКом, отправляется на следующий уровень – диспетчеру района. Система диспетчеризации бывает двух видов: локальная и удаленная. Заметим, что локальная диспетчеризация, когда диспетчер находится в непосредственной близости от объекта, уже не удовлетворяет современным требованиям. Поэтому для передачи данных расхода воды применяется удаленная диспетчеризация, так как она может осуществлять передачу параметров от одной или нескольких автоматизированных систем с территориально удаленных объектов на центральную станцию диспетчеризации, с помощью различных каналов передачи данных.

Таким образом, уже персональные компьютеры автоматизированных рабочих мест диспетчеров объединяются в локальную сеть следующего уровня, которая в свою очередь может быть физически организована на базе телефонных каналов, оптоволоконного кабеля, радио или сотовой связи по протоколам Internet, Intranet и т.д.

Общедомовые контроллеры могут передавать информацию по кабелю, по телефонным проводам (модему), по сотовому каналу (GPRS, SMS сообщения), по радиоканалу через радиомодем. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки, и может быть применен в конкретных случаях по удалённости объекта диспетчеризации и экономическим показателям монтажа и последующей эксплуатации [1].

Выбранная сеть должна удовлетворять некоторым требованиям: высокая пропускная способность, возможность охвата небольших расстояний, связность подключенных станций и возможность широковещания. Кроме этого, существует набор требований, характерных только для локальных беспроводных сетей. Важнейшие из них: производительность, число узлов, соединение с локальной магистральной сетью, обслуживаемая область, устойчивость передачи и безопасность, совместная работа в сети, переключение/роуминг, динамическая конфигурация [2].

Распространенными видами осуществления передачи данных к диспетчеру являются:

1) Объект, узел сбора информации, GPRS модем, Internet, устройство подключения к сети Internet, диспетчер;

2) Объект, узел сбора информации, радио модем, радиоканал, радио модем, диспетчер;

3) Объект, узел сбора информации, GSM модем, sms – сообщения, сеть GSM, sms – сообщения, GSM модем, диспетчер;

4) Объект, контроллер, GSM модем, sms – сообщения, сеть GSM, sms – сообщения, GSM модем, диспетчер;

Объект, контроллер, модем, телефонная станция, модем, диспетчер;

5) Объект, узел сбора информации, модем, телефонная станция, модем, диспетчер;

6) Объект, узел сбора информации, интерфейс обмена информацией RS – 485, адаптер связи, диспетчер [3].

Укажем достоинства и недостатки различных вариантов построения сети.

Преимущества кабельной сети: защищенность от атмосферных помех и излучений солнца; высокую степень безопасности данных.

Недостатки: прямая передача сигнала сильно влияет на обратную передачу, поскольку вся информация передается по одному каналу.

Преимущества GSM/GPRS: широкое распространение; широкий набор методов и тарифных планов.

Недостатки GSM/GPRS: не везде достаточный уровень сигнала для уверенного приема; сложности при решении технических вопросов в "глубинке" с операторами GSM.

Преимущества радиоканала: относительная дешевизна радиомодемов с не лицензируемыми диапазонами частот; гибкость при построении радиоканала.

Недостатки радиоканала: сложности при решении технических вопросов в "глубинке"; в общедоступных каналах могут возникнуть коллизии с другими радиосистемами.

В таблице 1 представлены основные характеристики различных каналов связи. Анализ этих характеристик позволяет сделать вывод о том, что самым дешёвым способом передачи является кабельная связь, а самым дорогим – сотовая связь (по эксплуатационным затратам). Несмотря на это беспроводная связь обладает преимуществами перед кабельной связью, такими как: высокая скорость доступа в интернет; возможность подключаться к сети другого типа; мобильность; легкость создания и реструктуризация [4]. Кроме того, локальные беспроводные сети экономят средства на прокладку кабеля локальных сетей, облегчают задачу передислокации и другие модификации структуры сети.

Таблица 1

Сравнительная характеристика каналов связи

Канал связи	**Дальность**	**Надежность**	**Стоимость**
Кабельная сеть	Не ограничена	Низкая	Низкая
GPRS/GSM	Ограничена зоной сотовой связи	Средняя	Средняя/Высокая
Радиоканал	До 10 км в условиях прямой видимости	Высокая	Высокая

Таким образом, наиболее рациональным способом передачи связи между контроллером в квартире и общедомовым контроллером является радиоканал, а передачу данных в диспетчерский пункт лучше установить через беспроводную связь: используя радиоканал либо GSM модем, так как в этом случае передача данных может осуществляться на большие расстояния и без дополнительных затрат на материалы.

Список литературы

1. http://www.nanko.ru/disp/reshzhkh.htm
2. Столлингс В., Беспроводные линии связи и сети.: пер. с англ. – М., Издательский дом «Вильямс», 2003г., с 640.
3. http://www.kontel.ru/disp.htm
4. http://www.alkor94.kz/category/besprovodnaya-set-svoimi-rukami/topologiya-i-standarty/preimushhestva-i-nedostatki-besprovodnoj-seti/

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

Камкин О.Ю.

Научный руководитель: Голиков А.Н., ст. преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ILuckyI@mail.ru

Для управления положением прибора в буровой скважине при геофизических исследованиях предлагается применить гироскопический исполнительный орган (ГИО), который может позволить избежать применения открытых механизмов, работающих в буровом растворе. Принципы работы устройства и кинематическая схема рассматривались в [1].

Натурная модель гироскопического исполнительного органа представлена на рис. 1.



Рис. 1. Макет гироскопического исполнительного органа

Такие устройства являются сложными электромеханическими системами, решение уравнений движения которых предполагает математическое моделирование с применением современных программных продуктов или экспериментальные исследования на натурной модели [4].

В натурной модели ГИО применены следующие электромеханические элементы:

- спарка из двух гиромоторов (ГМ) типа ГМА-4ПЮ на основе трехфазного асинхронного двигателя с одной парой полюсов;
- электромагниты от рулевой машинки автопилота АП-6Е;
- круговые потенциометрические датчики применяются в устройстве для определения углов поворота ГИО.

Для математического моделирования характера движения устройства при управляющих воздействиях необходимо определить фактические значения собственных параметров натурной модели, к которым относятся моменты инерции подвижных звеньев и моменты трения между ними, упругие моменты по осям подвесов и характеристики управляющих воздействий.

Установка для исследования макета предусматривает подвес макета на торсионе (рис. 2, а) или его закрепление на опорно-поворотном узле, в котором предусмотрена тормозная система для имитации работы устройства в буровой скважине.

Измерение моментов трения в опорах установки по наружной оси СС без включения тормозной системы проводились с применением граммометра часового типа Г 10+120. Плечо приложения силы составляло 230 мм. Моменты трения подшипников в поворотном узле с установленным на нем макетом измерялись при поворотах через 30 градусов. Эксперименты повторялись по 3 раза при срывании из состояния покоя платформы в разных направлениях. Диапазон значений моментов трения подшипников опоры за оборот приведен в табл. 1.

Неравномерность характеристики трения будет учитываться при дальнейших исследованиях динамики макета.

Моменты инерции определялись экспериментально, т.к. модель состоит кинематически связанных механических звеньев со сложной объемной геометрией.

Определение момента инерции макета вокруг наружной оси СС (рис. 2, а) проводилось методом крутильных колебаний [2]. Суммарный момент инерции кинематически связанных звеньев ГИО (рис. 2, б) вокруг внутренней оси ВВ определялся методом качания с эталоном [2].

В качестве эталона к установке макета применялся стальной цилиндр, момент инерции которого определен расчетным путем.

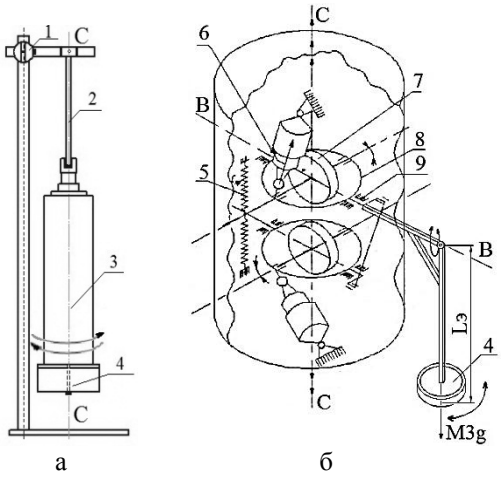
Схема установки для определения момента инерции макета по оси СС представлена на рис. 2, а и состоит из элементов:

1 – конструкция закрепления торсиона с подвижным кронштейном для изменения зазора между основанием и макетом;

2 – торсион;
3 – объект исследования (макет);
4 – эталонный груз, закрепленный на макете.

Установка по определению момента инерции кинематических звеньев макета вокруг оси ВВ состоит из элементов (рис. 2, б):

4 – эталонная масса;
5 – пружина;
6 – электромагнит с тягой;
7 – гиромоторы;
8 – внутренняя рама подвеса гиромотора;
9 – антипараллелограмм.



а б

Рис. 2. Установка для определения момента инерции макета (а) и кинематическая схема макета ГИО с конструкцией для определения момента инерции звеньев ГИО по оси ВВ (б)

Момент инерции элементов макета по внутренней оси равен сумме моментов инерции двух управляющих электромагнитов и спарки двух гиромоторов и, соответственно, для данной установки проводился эксперимент одновременно для всех кинематически связанных механических звеньев макета.

Колебания механической системы определялись после отклонения маятника на некоторый угол.

Погрешность измерений не превысила 1%, что позволяет применить результаты при математическом моделировании характера движения макета в различных средах.

Коэффициент усиления устройства можно оценить по соотношению [3]:

$$K=\frac{n}{\pi}\sqrt{\frac{J_в}{J_c}},$$

где $J_в$ – суммарный момент инерции кинематических звеньев макета вокруг внутренней оси; J_c – момент инерции макета вокруг наружной оси.

Коэффициент усиления будет меняться при присоединении к гироскопическому исполнительному органу скважинных рабочих устройств.

Электромагниты, являющиеся исполнительными элементами, работающие в импульсном режиме, должны обеспечить требуемое тяговое усилие, при этом развивающийся гироскопический момент в устройстве вокруг внешней оси будет зависеть от синхронной скорости поворота гироскопов вокруг внутренней оси.

Определение тяговых характеристик электромагнитов проводилось экспериментально на макете ГИО без разрыва кинематически связанных механических элементов.

Характер изменений тяговых характеристик электромагнитов в зависимости от подаваемого тока приведен на рис. 3. Подаваемый на электромагниты ток изменялся в диапазоне 0,75÷1,5 А.

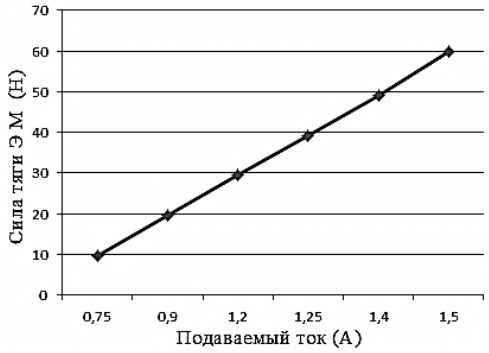


Рис. 3. Тяговая характеристика электромагнитов

Выбранные электромагниты позволяют обеспечить требуемое тяговое усилие.

В таблице 1 представлены основные параметры ГИО и экспериментальной установки.

Таблица 1

Параметр	Величина
Момент трения по оси СС (Н·м)	0,068÷0,316
Момент инерции вокруг оси СС (кг·м^2)	0,0016
Момент инерции вокруг оси ВВ (кг·м^2)	0,018
Коэффициент усиления момента (кг·м^2)	2,14
Сила тяги двух электромагнитов (Н)	9,8÷58,8

Полученные механические параметры натурного макета позволят наиболее достоверно построить математическую модель и исследовать характеристики ее управляющего движения при различных внешних воздействующих факторах в буровой скважине.

Список литературы

1. Модуль гироскопического исполнительного органа, Камкин О.Ю.,//XVI международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, НИТПУ, 2010
2. Нестеренко Т.Г., Гормаков А.Н. Методы определения моментов инерции. Методическое пособие. – Томск, 2004. – 16 с., ил.
3. Пельпор Д.С. Гироскопические системы ориентации и стабилизации, Москва, 1983.
4. Патент № 2184229 РФ. МКИ E21B 47/02 Гироскопическое устройство разворота скважинного прибора / Л.Н. Белянин, А.Н. Голиков, В.М. Мартемьянов (РФ).

МИНИМИЗАЦИЯ МАССЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Классман Е.В.

Научный руководитель: Дмитриев В. С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: elenka_kv@mail.ru

В наше время результаты космической деятельности находят все большее применение во многих сферах жизнедеятельности человека.

Одной из основных тенденций развития систем ориентации космических аппаратов (КА) является уменьшение массогабаритных характеристик с сохранением точностных и информативных показателей целевой информации и одновременном улучшении функциональных возможностей. Одним из основных направлений уменьшения массы КА является уменьшение массы силовых элементов КА, в частности, силовых элементов исполнительного органа (ИО) [1].

К тому же достигнутые успехи в области микроминиатюризации элементной базы космической техники позволят значительно уменьшить массу как целевой аппаратуры, так и обеспечивающих систем. Можно рассчитывать, что масса систем ориентации к 2020 гг. как это видно из рис.1, уменьшиться в несколько раз в сравнении с тем, что имело место 20-30 лет назад [2].

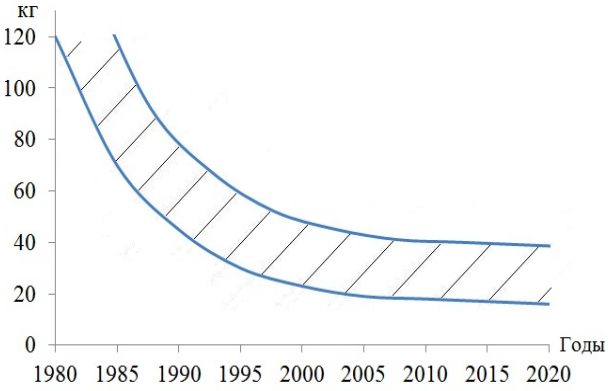


Рис. 1. Изменение массы системы ориентации КА за период 1980-2020 гг., кг

В настоящей работе поставлена цель – максимально минимизировать массу силовых элементов конструкции ИО.

На этапе проектирования используя современные информационные технологии возможно обеспечить теоретический минимум массы разрабатываемых силовых элементов. Наиболее эффективный инструмент достижение цели – это применение САПР, которая позволит наилучшим образом решать оптимизационные задачи многопараметрических систем.

САПР силовых элементов ИО базируется на математическом и программном обеспечении.

Математическое обеспечение САПР включает в себя математические модели силовых элементов, методы и алгоритмы проектных процедур.

Программное обеспечение САПР представляет собой совокупность всех программ и эксплуатационной документации к ним, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

В данной работе в качестве программного обеспечения используется программа T-Flex, т.к. она является одной из наиболее эффективных CAD-систем автоматизированного проектирования, охватывающей все этапы проектирования [3].

САПР силовых элементов ИО должна состоять из трех подсистем (рис. 2):

- подсистема конструкторского проектирования;
- подсистема расчета технических характеристик;
- подсистема технологической подготовки производства.

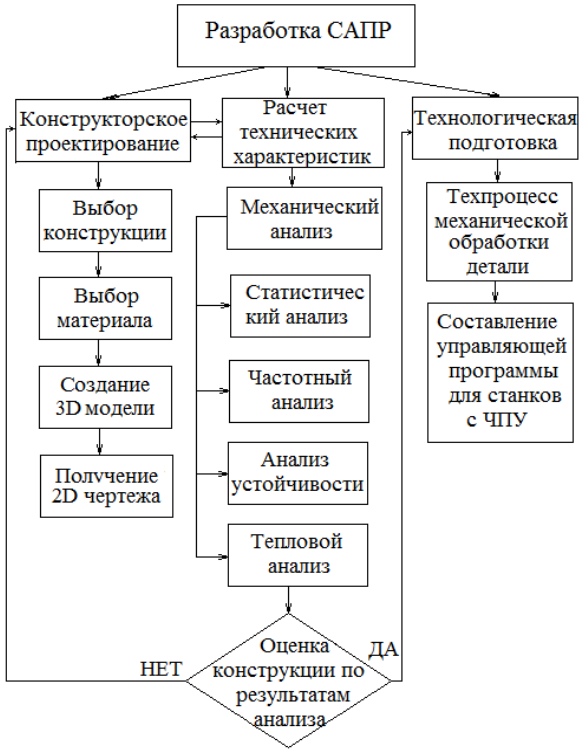


Рис. 2. Структура САПР

В подсистеме конструкторского проектирования выбираются геометрические формы корпуса, проектируются 2D-чертежи и 3D-модели корпусов.

Для анализа конструкции корпуса ИО выбраны геометрические формы корпусов представленные на рис 3.

Здесь же задается материал силового элемента, выбор которого делается на основании следующих требований, предъявляемых к материалу:

- минимальная удельная масса;
- известный коэффициент линейного температурного расширения;
- технологичность механической обработки.

В процессе расчета массогабаритных характеристик рассматривается применение различных материалов, таких как: сталь, титан, алюминиевые сплавы, композиционные материалы.

Подсистема конструкторского проектирования базируется на модуле T-Flex CAD 2D/3D.

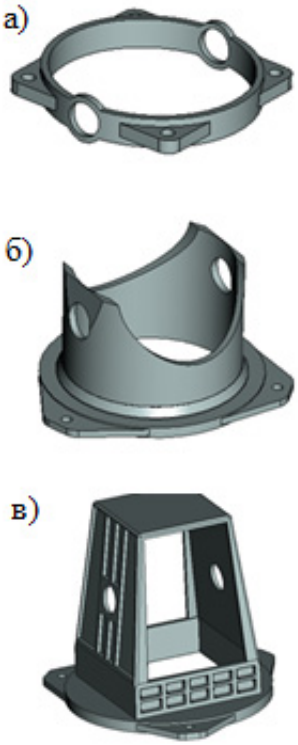


Рис. 3. Силовые элементы ИО: а) в виде кольца; б) в виде разомкнутого кронштейна; в) в виде замкнутого кронштейна

В подсистеме расчета технических характеристик проводится анализ силовых элементов с помощью модуля T-Flex Анализ.

Механический анализ – это прочностной анализ конструкции методом конечных элементов, он разделяется на статический, частотный, анализ устойчивости и тепловой [4].

Статический анализ позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил.

Частотный анализ позволяет осуществлять расчёт собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний.

Анализ устойчивости позволяет производить расчёт величин деформаций при воздействии различных по интенсивности нагрузок.

Тепловой анализ – модуль обеспечивает возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения.

По результатам проведенных анализов оценивается конструкция корпуса, и затем формируются данные для передачи 3D модели в подсистему технологической подготовки.

Подсистема технологической подготовки производства включает в себя составление программы техпроцесса механической обработки детали на станках с ЧПУ.

Подсистема технологической подготовки производства состоит из двух модулей T-Flex Технология и T-Flex ЧПУ. В модуле T-Flex Технология на основе 2D чертежей и 3D моделей деталей составляется техпроцесс механической обработки корпусов. Далее создаются маршрутные и операционные карты техпроцесса. В модуле T-Flex ЧПУ на основе 2D чертежей и 3D моделей деталей составляются программы техпроцесса механической обработки детали на станках с ЧПУ. Затем результаты визуализируются в программе T-Flex NC Tracer

Подсистема технологической подготовки основана на модуле T-Flex Технология, T-Flex ЧПУ и T-Flex NC Tracer.

С помощью разработанной САПР варьированием вариантами конструкции и их параметрами (габариты, толщина стенок, наличие ребер жесткости, материал и т.д.) достигается минимизация массы корпуса при всех прочих равных исходных требованиях задания.

Список литературы

1. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск, 2000.
2. Бобков В. Н., Васильев В. В., Космические аппараты. М.: Воениздат, 1983.
3. Костюченко Т.Г. САПР в приборостроении. – Томск, 2008.
4. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Скрипняк В.А. Механический анализ исполнительного органа космического аппарата. Известия Томского политехнического университета № 4, Том 308, 2005, с. 135–139.

ВЛИЯНИЕ ВЕКТОРНОГО ХАРАКТЕРА ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МАССЫ И СИЛЫ

Коллер А.А.

Научный руководитель: Черепанов В.Я., д.т.н., зав. каф.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4
E-mail: koller@sniim.nsk.ru

Как отмечалось еще в [1], задачей устройства для измерений силы (прилагаемой нагрузки) является преобразование векторной величины (силы) в скалярную величину, то есть такую, которая однозначно описывается одним параметром. Это и является, в конце концов, основной проблемой измерений силы. Физическими проявлениями силы, используемыми для измерения ее величины, являются, как правило, механические напряжения и деформации. Измерения силы, строго говоря, представляют собой измерения суммарных значений полей механических напряжений.

Еще одной важной особенностью измерений силы является различное поведение отдельной измерительной системы и той же системы, встроенной в измерительную установку. Зависимость между процессами на силовоспринимающих поверхностях системы и выходной величиной, реализуемая при испытаниях или поверке такой системы, может оказаться отличной от зависимости, реализуемой в условиях эксплуатации.

ФГУП «СНИИМ» является одним из государственных центров испытаний средств измерений (ГЦИ СИ). Утверждение типа средств измерений является видом государственного регулирования обеспечения единства измерений и проводится в целях обеспечения единства измерений в стране. При испытаниях средств измерений для целей утверждения их типа проверяют соответствие технической документации и технических характеристик средств измерений требованиям технических условий и распространяющихся на них нормативных и эксплуатационных документов.

Принцип действия большинства современных средств измерений силы и массы основан на преобразовании деформации упругих элементов, возникающей под действием силы тяжести взвешиваемого груза, в аналоговый или цифровой электрический сигнал, изменяющийся пропорционально нагрузке. Как правило, в качестве измерительных элементов в таких средствах измерения применяются серийно выпускаемые тензорезисторные датчики.

Измерительная часть таких датчиков представляет собой цилиндрический упругий элемент с наклеенными на него тензорезисторами. Так, например, в составе большегрузных (автомобильных и железнодорожных) весов, промышленных дозаторов и силоизмерительных систем, чаще всего применяются осе симметричные тензорезисторные датчики с наибольшими пределами измерений 5–100 тонн. Такие датчики градуируются, испытываются и поверяются с применением силозадающих машин типа ОСМ 2-200-10, МЭС 500У. Метрологические характеристики датчиков определяются при их установке в рабочем пространстве силозадающей машины, при этом датчик может быть установлен либо вертикально, либо может быть создана имитация наклона, посредством подкладывания «клина». Как было отмечено в [2], второй вариант в большинстве исследований признается технически некорректным.

Тензометрические методы измерения массы и силы стали разрабатываться и изучаться в нашей стране с 70-х годов прошлого века, а стремительный переход к ним произошел в 90-х годах, во время кардинальных преобразований в экономической сфере и в государстве вообще [3]. В большинстве случаев использовались (и продолжают использоваться и в настоящий момент) тензорезисторные датчики и вторичная аппаратура иностранного производства, что остро ставило вопрос гармонизации международной и российской нормативных баз в области изготовления и эксплуатации средств измерений массы. Также нельзя не отметить, что из-за прекращения финансирования в конце 1980-х годов работы по созданию нового и совершенствованию имеющегося в эксплуатации оборудования, составляющего метрологическую базу датчиковой аппаратуры, были приостановлены, что затронуло наравне с другими видами измерений и измерения массы и силы.

Влияние векторного характера измеряемой величины на работу тензорезисторного датчика проявляется сначала при его градуировке в силозадающей машине, а затем при его эксплуатации как модуля сило- или весоизмерительной системы. Например, при нагружении датчика «на сжатие», отклонение опорной плоскости траверсы силозадающей машина, на которой установлен датчик,

от горизонтального положения на угол α приводит к появлению эксцентриситета e, зависящего от геометрических параметров силопередающего узла и угла α, и поперечной составляющей нагрузки Psin α, направленной в сторону наклона опорной плоскости. Это приводит к изменению характеристики преобразования тензорезисторного датчика, кроме того, приложенная нагрузка P, действующая на датчик, уменьшается на величину P(1 − cos α). Данный вопрос рассматривался еще в конце 70-х – начале 80-х в работах специалистов Научно-исследовательского и конструкторского института испытательных машин, приборов и средств измерения масс (НИКИМП), в частности – В.А. Годзиковского.

Крупные работы по изучению поперечных составляющих вектора силы, возникающих в силовоспроизводящих системах, были проведенные в 90-е гг. в Федеральном научно-производственном центре (ФНПЦ) «Алтай» (г. Бийск) при участии специалистов ФГУП «СНИИМ». В ходе этих исследований были разработаны многокомпонентные датчики 003ДСТ, которые позволяют определить модуль и направление в пространстве прикладываемой силы. В результате проведения циклов нагружения-разгружения датчиков 003ДСТ было выявлено, что при стандартной вертикальной установке датчика в системе «датчик – грузозадающее устройство» действует поперечная составляющая силы в пределах 0,5–0,6 % от номинальной нагрузки в образцовых силозадающих машинах, 1,3–1,4 % – в испытательных прессах [4].

Аналогичные процессы, формирующие боковые составляющие нагрузки, происходят и при эксплуатации датчика в составе измерительной системы. Узлы встройки датчика могут изменять свое положение друг относительно друга из-за изменения линейных размеров элементов конструкции (например, вследствие влияния температуры), движения грунта и смешения фундамента, боковых ударов. В данном случае вызывает вопросы ситуация, когда датчик под влиянием описанных воздействий изменил свое положение относительно вектора приложения нагрузки, но не вышел из строя. Иностранные изготовители часто указывают в материалах рекламного характера, что выпускаемые ими тензорезисторные датчики сохраняют свои метрологические характеристики при отклонениях оси датчика от вектора ввода силы (например, до 5˚). Однако, в настоящий момент не существует нормативных документов, устанавливающих методы проверки такой характеристики, и, как следствие, она не может быть нормирована в технической документации.

Провести подобное исследование одного тензорезисторного датчика в силозадающей машине невозможно вследствие особенности конструкции силозадающих машин. Специалистами ФГУП «СНИИМ» было предложено использовать метод, аналогичный методу сличения измеряемой силы с группой параллельно установленных динамометров (чаще всего в количестве трех штук), применяемый для поверки и калибровки средств измерений, а также при изготовлении силозадающих установок [5].. Метод заключается в том, что предварительно отградуированные динамометры устанавливаются параллельно и одновременно нагружаются. Значение приложенной нагрузки определяется по сумме показаний динамометров.

В ФГУП «СНИИМ» были проведены исследования весоизмерительных датчиков иностранного производства с наибольшим пределом измерения 15 тонн. Три датчика были установлены в рабочем пространстве силозадающей машины сначала вертикально, затем под углом 2°30’. Для этого использовались металлические пластины с установленными на них узлами встройки датчиков, аналогичные используемым при сличениях с группой параллельно установленных динамометров. Полученные результаты [2] показали, что при некоторых невертикальных положениях датчика, средние значения погрешности вдвое превышают значения погрешности при вертикальном положении. Таким образом, очевидно, что если при вертикальной установке исследуемого датчика его погрешность составляла более 0,5 от допускаемых пределов, то при работе под наклоном она уже выйдет за допускаемые пределы.

Таким образом, можно отметить, что вопрос влияния векторного характера измеряемой величины работу сило- и весоизмерительных систем остается в нестоящий момент недостаточно проработанным в метрологической науке. Дальнейшие исследования в этом направлении позволит повысить точность выполняемых измерений и качество работ по обеспечению единства измерений.

Список литературы

[1] Бауман Э. Измерение сил электрическими методами. – М.: Мир, 1978. – с. 432.

[2] Коллер А.А. Состояние вопроса о методах испытаний тензорезисторных датчиков с учетом условий их работы в составе большегрузных весов / А.А. Коллер, И.Г. Цибин, В.Я. Черепанов // Измерительная техника. – 2009. №11. – С.10-14.

[3] Цибин И.Г. Особенности проведения испытаний весо- и силоизмерительных систем, допускающих возникновение неосевой нагрузки / И.Г. Цибин, А.А. Коллер // Материалы X международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2010» – Новосибирск, 2010. – С.70-72

[4] Игнатьев Ю.А. Аттестация многокомпонентных датчиков силы по поперечной нагрузке / Ю.А. Игнатьев, В.А. Абанин, В.Ф. Андрианов, В.А. Паршуков, Г.А. Привалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – №4. – С. 44–47.

[5] Цибин И.Г. Передача единицы силы методом сличения с группой параллельно установленных динамометров / И.Г. Цибин, В.Л. Макурин, С. И. Пискунов, А.С. Ивлев, А.А. Коллер // Материалы 4-ой международной конференции «Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2009» – Новосибирск, 2009.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ

Костромин А.К.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kostromintema@yandex.ru

Специфическим требованием к скважинной аппаратуре является способность работать в широком диапазоне температур окружающей среды. Нижняя граница диапазона может находиться на уровне (минус 40 ÷ минус 50)°С, в то время как верхняя – плюс 120 и выше. Обеспечение в таких условиях нормального функционирования скважинной аппаратуры довольно проблематично. В особенности это относится к скважинным системам ориентации (инклинометрии), чувствительные элементы которых не только не способны выдерживать такие температуры, но и требуют термостатирования с высокой точностью. На кафедре точного приборостроения Национального исследовательского Томского политехнического университета ведутся работы по созданию системы термостатирования, рассчитанной на указанный диапазон температуры окружающей среды. Разработка данной активной системы, включающей в себя нагревательный элемент и охлаждающий модуль (холодильник), велась с участием студентов вышеупомянутой кафедры Заиграева Е.В., Логоши В.Н, Загвоздина К.В. и др.

Термостатируемый узел чувствительных элементов скважинного прибора содержит динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ) и датчики акселерометров. Рабочая температура рассматриваемого гироскопа 75±0,5°С. При понижении температуры гироскопа ниже 75°С тепло подводится от нагревателя, представляющего собой обмотку на кожухе ДНГ, а при превышении этой температуры – тепло отводится холодильником. Для сброса тепла в месте, удаленном от объекта регулирования, было решено использовать тепловые трубы. Схема электронного устройства управления системой термостатирования разработана сотрудниками кафедры и её макетный вариант изготовлен. Для обеспечения высокой точности системы закон управления, по крайней мере, вблизи температуры статирования, должен быть линейным [1]. Такой закон может быть обеспечен путем управления мощностью холодильника и нагревателя с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Теоретическое исследование динамических процессов, происходящих в системе термостатирования, как правило, не обеспечивает необходимой достоверности. Одной причиной этого является использование упрощенных моделей звеньев системы регулирования. Вторая причина – отсутствие достоверных данных о конструкции и теплофизических свойствах используемых материалов. Теплопередача конвекцией представляет собой весьма сложный процесс теплообмена, зависящий от большого количества факторов, оказывающих влияние на величину коэффициента теплоотдачи конвекцией [2].

На основании изложенного выше, можно сделать вывод, что проведение эксперимента – необходимый этап в разработке системы термостатирования.

При конструировании экспериментальной установки необходимо руководствоваться стремлением создания условий, близких к условиям пребывания скважинного прибора в скважине, заполненной жидкостью. Основной частью установки должен являться имитатор скважины с размещенным в нем скважинным прибором. Несмотря на то, что нижняя граница диапазона температуры окружающей среды может достигать минус 50°С, при создании экспериментальной установки акцент должен быть сделан на изучение режима, при котором работает холодильник. На кафедре уже имеется опыт работы с системой термостатирования «на догрев», и её исследование не вызывает интереса. К тому же, создание экспериментальной установки, которая может обеспечить низкую, отрицательную температуру, потребует больших усилий и финансовых затрат.

Основные требования, положенные в основу при разработке экспериментальной установки: габаритные размеры имитатора скважины должны позволять размещение в нем скважинного прибора; среда, в которой будет находиться скважинный прибор, – термостойкая жидкость, по свойствам схожая с буровым раствором; возможность нагрева узла термостатирования до температуры плюс 150°С за как можно меньшее время; стабилизация температуры; возможность ускоренного охлаждения.

С учетом перечисленных требований, имитатор скважины должен представлять собой цилиндрический контейнер, заполненный жидкостью. Установка должна содержать устройство, которое поддерживает температуру жидкости на заданном уровне. Данная проблема не нова, в науке и тех-

нике уже давно используются такие устройства, называемыми термостатами. Термостат – устройство, позволяющее поддерживать температуру на заданном уровне с заданной точностью.

В ходе разработки системы термостатирования было решено в составе экспериментальной установки использовать серийный термостат. Так как размеры рабочей камеры термостата не позволяют разместить в нем скважинный прибор, предполагается в роли имитатора скважины использовать дополнительный контейнер. Имитатор скважины закрепляется на наклонном стенде, что дает возможность задания угла между вертикалью места и продольной осью скважинного прибора, а также обеспечивает удобство загрузки скважинного прибора в имитатор в помещении с низким потолком. Имитатор соединен с термостатом ТС-16А при помощи шлангов. Произведенные расчеты показали, что мощности нагревателей термостата недостаточно для нагрева жидкости до нужной температуры за определенное время, поэтому в имитаторе предусмотрены три дополнительных тэна мощностью по 3 кВт каждый. Для контроля температуры жидкости используется датчик температуры, расположенный в нижней части имитатора.

В связи с тем, что в имитаторе скважины имеется все необходимое для построения системы термостатирования, возникает вопрос о целесообразности использования внешнего термостата. Однако ряд соображений заставил задействовать внешний серийный термостат. Во-первых, суммарная мощность нагревателей в этом случае увеличивается. Во-вторых, термостат имеет готовую систему регулирования. В-третьих, с помощью насоса термостата обеспечивается движение жидкости внутри имитатора скважины, а, следовательно, температура внутри него выравнивается и не происходит перегрева в той части, где расположены нагревательные тэны.

Технические характеристики установки

Диапазон поддержания заданной температуры жидкости, °С,.....от +20 до +150
Стабильность поддержания температуры, °С .....±1
Время нагрева жидкости от температуры +20°С до +150°С, мин, не более.....60
Диапазон изменения угла наклона контейнера (угол между вертикалью места и продольной осью имитатора скважины), ° 0–80
Питание – от трехфазной сети переменного тока напряжением (380±38)/(220±22) В, частотой 50±0,5 гц.
Мощность, потребляемая всей установкой, кВт, не более 11
Мощность, потребляемая тэнами термостата, кВт, не более 2
Мощность, потребляемая дополнительными тэнами, кВт, не более 9

Используемая термостатная жидкость – кремнийорганическая жидкость ПМС 100 ГОСТ 13032-77.

Установка рассчитана на эксплуатацию при отсутствии вибрации и ударов.

Установка рассчитана на эксплуатацию в лабораторных условиях;

По требованиям электробезопасности устройство соответствует классу защиты 1 (ГОСТ 12.2.007.0-75).

В настоящее время экспериментальная установка находится в стадии монтажа. На рисунке 1 изображен имитатор скважины с установленным в нем скважинным прибором. Установка позволит изучить тепловые процессы, проходящие внутри термостатируемого узла как во время нагрева, так и в установившемся режиме; определить точность поддержания заданной температуры.

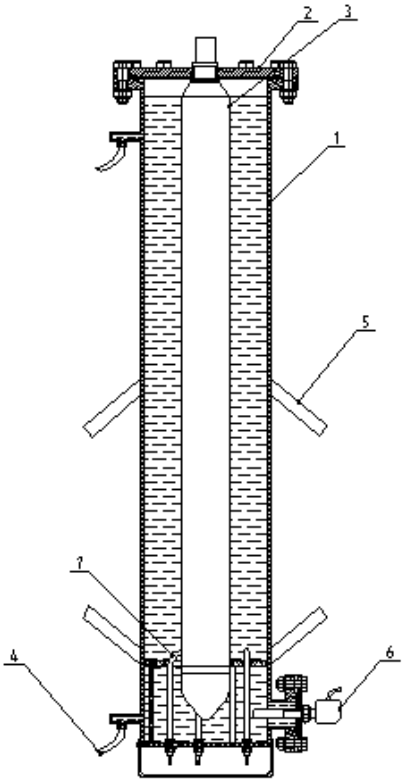


Рис. 1. Имитатора скважины со скважинным прибором

На рисунке обозначено: 1 – контейнер; 2 – крышка контейнера; 3 – скважинный прибор; 4 – соединительные шланги; 5 – элементы крепления имитатора на наклонном стенде; 6 – датчик температуры; 7 – нагревательные тэны.

Список литературы

1. Белянин Л.Н., Мартемьянов В.М. Термостатирование чувствительных элементов скважинных приборов. Российская научно-техническая конференция «Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения», г. Томск, 28 – 29 сентября 2004 года. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2004, с.59-62.
2. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов по спец. «Конструир. И произв. радиоаппаратуры». – М.: Высш. шк., – 247 с., ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НАКАЧКИ CUBR-ЛАЗЕРА

Красников И.В.[1], Торгаев С.Н.[1,2], Ходько А.Ю.[1]

Научный руководитель: Тригуб М.В.[1,2], асс. каф. ПМЭ

1 – Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
2 – Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, Томск, пл. Академика Зуева В.Е., 1
E-mail: trigub@tpu.ru

Традиционно источники накачки для лазеров на парах металлов и, в частности, для лазеров на парах бромида меди, строились с использованием электровакуумных коммутаторов, которые обладают рядом недостатков: малый срок службы ключевого элемента, КПД на уровне 50–60 %, низкий частотный потенциал [1]. В настоящее время с появлением на рынке мощных полупроводниковых приборов (IGBT и MOSFET) стало возможно создание твердотельных источников накачки, которые будут лишены недостатков традиционных схем.

В данной работе приводятся результаты исследования полупроводниковых источников накачки лазеров на парах бромида меди при различной геометрии ГРТ, различной мощности накачки, повышенных частотах следования импульсов (ЧСИ). Для формирования высокого напряжения используются однотипные ячейки, которые включены параллельно, каждая из которых, включает в себя разделительный диод, накопительный конденсатор, полупроводниковый коммутатор (IGBT или MOSFET), а так же импульсный трансформатор. Вторичные обмотки трансформаторов соединены последовательно, что обеспечивает увеличение напряжения на нагрузке [2].

В настоящее время востребованы CuBr-лазеры с высокими частотами следования импульсов, например, для использования в качестве усилителей яркости в лазерных проекционных микроскопах и лазерных мониторах [3]. В связи с этим, актуальной задачей является создание полупроводникового источника накачки с высокой ЧСИ. За счет применения в схеме накачки быстродействующих MOSFET-транзисторов, удалось обеспечить ЧСИ свыше 100 кГц на реальной нагрузке. Нагрузкой служила ГРТ диаметром 6 мм и длиной активной зоны 200 мм, температура наружной стенки в экспериментах составляла 600 ^{0}С. Была исследована зависимость мощности генерации от частоты работы источника накачки. Результаты приведены в докладе.

Создание источников накачки, способных обеспечить высокую мощность генерации является актуальной задачей. В настоящее время в лаборатории квантовой электроники ИОА СО РАН ведутся работы по созданию технологической установки для изготовления коронарных стентов с использованием системы генератор-усилитель на основе CuBr-лазеров. В качестве задающего генератора планируется использование лазера с полупроводниковым источником накачки. В связи с этим была предпринята попытка создания источника накачки, способного обеспечить среднюю мощность генерации порядка 5 Вт.

В качестве силовых ключей использовались IGBT транзисторы IRGPS60B120KD. Накопительные конденсаторы – КВИ-3-3300пФ на 10кВ. Количество ячеек – 16. Коэффициент трансформации n=1.25. Входной выпрямитель был выполнен по схеме удвоения напряжения. ЧСИ составляла 17 кГц. В качестве нагрузки использовалась ГРТ диаметром 25 мм и длиной 900 мм. Активный элемент находился в кожухе с внешним нагревателем. Напряжение на каждом накопительном конденсаторе составляло 1000 В. Средняя мощность генерации составила 2 Вт при потребляемой – 900 Вт. Амплитуда напряжения на ГРТ составила 8 кВ.

Интерес представляет тот факт, что напряжение на нагрузке (ГРТ) значительно меньше расчетного. Это объясняется эффектом насыщения трансформаторов, т.к. сопротивление разрядного канала даже в межимпульсный период не превышает сотни Ом. А так же разря накопительных конденсаторов в момент открывания силового ключа. Для детального исследования работы схемы было проведено моделирование и макетирование схем накачки.

Макетирование полупроводникового источника накачки проводилась по схемам с двумя однотипными ячейками. В качестве силовых ключей использовались IGBT транзисторы IRGPS60B120KD. Импульсные трансформаторы реализованы на ферритовых кольцах марки 2000НМ с размерами К 45×28×12, индуктивность дросселя $L1$ составляет 200 мкГн, емкость накопительных конденсаторов С=2,2нФ, сопротивление нагрузки $R_Н$=30–1000 Ом. Входное напряжение для макета регулировалось с помощью лабораторного автотрасформатора. Моделирование схемы проводилось в пакете прикладных программ PSpice.

Для проверки работоспособности модели были получены зависимости амплитуды выходного напряжения от сопротивления нагрузки в схеме с

двумя ячейками расчетным и экспериментальным путями. Результаты представлены на рис. 1. Полученные зависимости выходного напряжения для модели и макета имеют схожий характер изменения при варьировании нагрузки, что подтверждает адекватность разработанной модели.

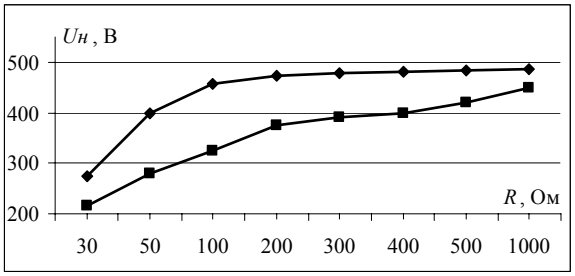


Рис. 1. Диаграмма зависимости амплитуды выходного напряжения от сопротивления нагрузки в схеме с 2-мя ячейками: ♦ – расчет, ■ – эксперимент

Напряжение на конденсаторе составляло порядка 245 В и практически не менялось при изменении сопротивления нагрузки. Амплитуда выходного напряжение определяется выражением $N \cdot U_C \cdot n$, и должна составлять 490 В. Однако это наблюдалось только при высоких сопротивлениях нагрузки (рис. 1). При уменьшении сопротивления нагрузки наблюдается снижение амплитуды выходного напряжения, что объясняется нагрузочной способностью импульсного трансформатора. Для детального исследования процессов, определяющих поведение выходного напряжения при различных сопротивлениях нагрузки, были получены диаграммы напряжений на конденсаторе (U_C), первичной обмотке трансформатора одной ячейки (U_{TR_1}) и напряжения коллектор-эмиттер силового транзистора (U_{VT}) в момент формирования импульса накачки в схеме с двумя ячейками при различных сопротивлениях нагрузки – рисунок 2. На рис. 2 *а* показаны диаграммы напряжений, полученные при R_H=1000 Ом. Видно, что в момент включения транзистора напряжение коллектор-эмиттер за короткое время спадает до нуля и к первичной обмотке трансформатора прикладывается напряжение конденсатора.

На рис. 2 *б* показаны диаграммы, полученные при R_H=30 Ом. Данные диаграммы показывают, что при такой нагрузке в определенный момент времени (t≈18 нс) происходит насыщение трансформатора, в результате чего напряжение на первичной обмотке перестает нарастать.

Из результатов моделирования и макетирования следует, что при малых сопротивлениях нагрузки увеличение количества ячеек приводит к насыщению трансформатора. Для исключения данного эффекта необходимо увеличивать индуктивность намагничивания трансформаторов, что приводит к увеличению длительности фронта импульса накачки, а это снизит мощность генерации CuBr-лазера

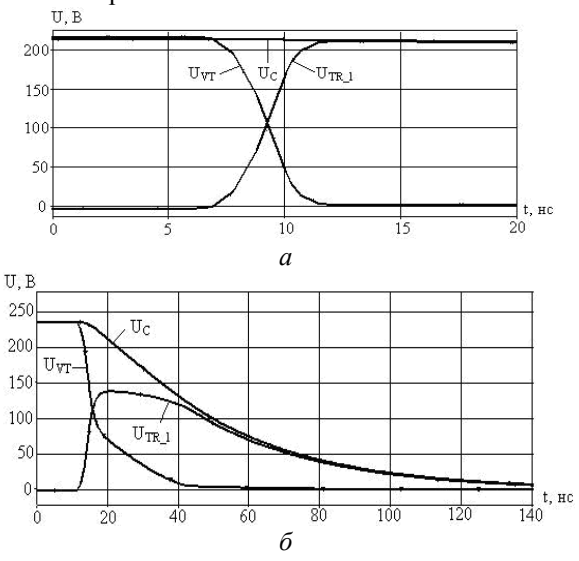


Рис. 2. Диаграммы напряжений U_C, nU_{TR_1}, U_{VT} при нагрузке (а)1000 Ом и (б) 30 Ом

Из результатов моделирования и макетирования следует, что при малых сопротивлениях нагрузки увеличение количества ячеек приводит к насыщению трансформатора. Для исключения данного эффекта необходимо увеличивать индуктивность намагничивания трансформаторов, что приводит к увеличению длительности фронта импульса накачки, а это снизит мощность генерации CuBr-лазера

Так же очевиден тот факт, что за время открытия силового ключа, происходит разряд емкости, что вызывает снижение амплитуды напряжения на ГРТ. Для устранения данного эффекта необходимо увеличивать емкости накопительных конденсаторов, что в свою очередь приведет к росту потребляемой мощности, а также к снижение рабочей частоты источника накачки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/13145.

Список литературы

1. Евтушенко Г.С., Паршина Н.В., Татур В.В., Суханов В.Б. и др. CuBr-лазер с транзисторным коммутатором // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13. – № 3. – С. 265 – 266.
2. Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Фёдоров В.Ф. Полупроводниковые источники накачки CuBr-лазеров //Известия Томского политехнического университета, 2010. – т.317 – № 4. – с. 164–168
3. Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Суханов В.Б., Шиянов Д.В., Торгаев С.Н., Тригуб М.В. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах металлов в условиях мощной засветки // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 141-146.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Краюхин А.С.

Научный руководитель: Голиков А. Н. ст. преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: qsf_alex_@mail.ru

Электромеханический модуль (ЭММ) (рис. 1), структура которого описана в [1], является экспериментальной установкой на основе управляемого трехстепенного астатического гироскопа в карданновом подвесе, по осям которого установлены моментные двигатели. Установка разработана для исследования динамики гироскопических электромеханических устройств с непосредственными приводами, а так же нахождения способов и выработки законов оптимального управления подобными системами для оценки возможности применения гироскопических устройств в технологической сфере. Электромеханические системы с носителем кинетического момента имеют название гироскопических приводов.

В основном гироскопические приводы работают на прецессионном движении, т.е. на использовании «быстрых» гироскопов. В таких устройствах частоты нутационных колебаний определяются несколькими десятками герц. В этом случае амплитуды нутационных колебаний невелики и они быстро рассеиваются за счет трения в опорах карданова подвеса и токоподводящих устройствах.

В случае гироскопа с большими присоединенными массами или большими моментами инерции рам карданова подвеса их собственные частоты снижаются до десятка герц и менее, и с амплитудами колебаний приходится считаться и принимать меры по их подавлению, либо использовать этот вид движения, например, в робототехнических устройствах.

Характеристики движения такой электромеханической гироскопической системы, и возможные способы управления приведены в [1].

Натурная модель представляет собой устройство с двумя степенями подвижности (не считая вращения ротора гиромотора вокруг собственной оси) и соответственно состоит из двух вращательных, последовательно стыкующихся звеньев.

Кинематическая схема ЭММ представлена на рис. 1. Вращательные движения осуществляются вокруг осей ВВ и СС. Каждое подвижное звено представляет собой самостоятельный сборочный узел. На раме карданова подвеса 2 установлен носитель кинетического момента 3, и штанга 1, для навески дополнительных грузов. По осям ВВ и СС установлены моментные двигатели 4 и 5, датчики угла 6 и 7 соответственно. В качестве токоподводящих устройств используются коллекторные токоподводы 8 и 9.

Модель разработана и изготовлена с целью отработки метода подавления колебаний без применения специальных демпфирующих устройств путём формирования сигналов управления гироскопом. Для возможности моделирования динамики такой гироскопической системы необходимо знать ряд собственных характеристик, таких как: кинетический момент гиромотора, моменты развиваемые двигателями, моменты инерции вращательных звеньев модели, частоту нутационных колебаний, моменты сил трения в опорах подвеса и коллекторных токоподводах.

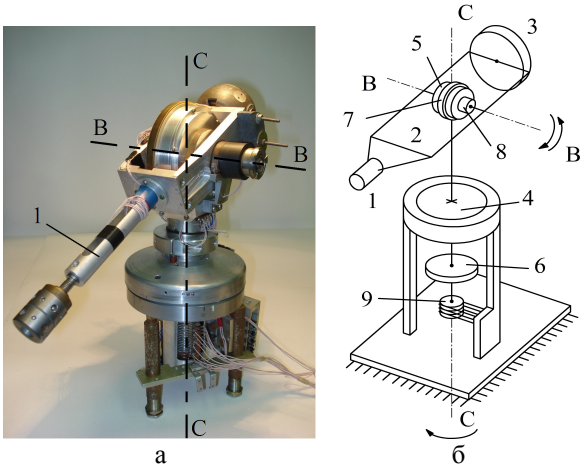


Рис. 1. Общий вид (а) и кинематическая схема (б) ЭММ

Для реализации макета применены электромеханические элементы в основном аэрокосмической техники. Гиромотор типа ГМА-4ПЮ – трехфазный асинхронный двигатель с одной парой полюсов. Гиромотор питается переменным током с трехфазным напряжением 36 В ± 10 % с частотой 400 Гц ± 5 %. Изменение напряжения и частоты тока позволяет менять величину кинетического момента, номинальное значение которого приведено в таблице 1. Моментные двигатели – коллекторные двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Рабочий диапазон напряжений 5–50 В. В таблице 1 приведено значение момента для 27 В. Датчики углов – круговые потенциометры из малогабаритной гировертикали

МГВ-1С, предназначены для передачи сигналов на постоянном токе [3]. Оба датчика имеют два сектора по 120°. Разрешающая способность датчиков угловых перемещений не более 3 угл.мин. В качестве опор по осям подвеса используются шарикоподшипники.

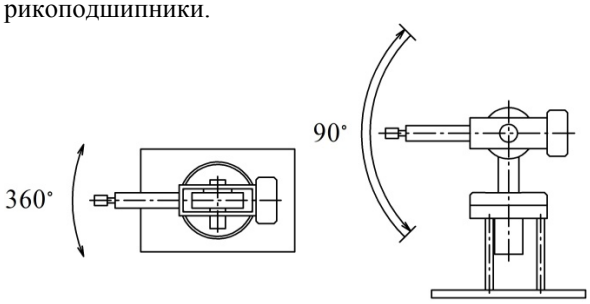


Рис. 2. Углы разворотов звеньев установки: а – вокруг оси СС, б – вокруг оси ВВ

Максимальная скорость разворотов вокруг вертикальной и горизонтальной осей не более 150 град/с.

Экспериментальное определение характеристик натурной модели

Измерение моментов трения в опорах установки по внутренней и внешней осям подвеса осуществлялись с помощью граммометра часового типа Г 10+60 ТУ 25.02-1301-74, косвенным методом. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Измерение моментов инерции проводилось методом качания с эталоном [2]. Для возможности проведения измерений модель устанавливалась таким образом, чтобы оси качания ВВ и СС лежали в плоскости горизонта, а штанга (рис. 1) модели с эталоном была направлена вниз.

В качестве эталона использовался стальной цилиндр с известной массой и габаритными размерами закрепленный на плече от оси качания.

Моменты инерции вращательных звеньев установки по измеренным периодам колебаний систем (вращательное звено + эталон), рассчитывались по формуле:

$$J = m_Э l_Э \left(\frac{T^2 g}{4 \cdot \pi^2} - l_Э \right),$$

где, T, с – период колебаний системы (вращательное звено + эталон); $m_Э$, кг – масса эталона; $l_Э$, м – расстояние от центра масс эталона до оси вращения.

Для уменьшения погрешности определения моментов инерции проводилось по 10 опытов с двумя эталонами разной массы, для каждой из осей вращения модели. Погрешность выполненных измерений не превышает 1 % и удовлетворяет требованиям экспериментальных исследований.

Результаты определения моментов инерции звеньев модели, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметров ЭММ

Параметр	Величина
Кинетический момент, Н·м·сек	0,4
Моменты двигателей, Н·м	0,5
Момент трения по оси ВВ, Н·м	0,015
Момент трения по оси СС, Н·м	0,032÷ 0,039
Момент инерции вокруг оси ВВ ($J_{ВВ}$), кг·м^2	0,015
Момент инерции вокруг оси СС ($J_{СС}$), кг·м^2	0,017

Частота нутационных колебаний установки является собственной характеристикой, определяющейся моментами инерции вращательных звеньев модели и кинетическим моментом, развиваемым гиромотором. Формула для её расчета имеет следующий вид:

$$n = \frac{H}{\sqrt{J_{BB} \cdot J_{CC}}},$$

где, H – кинетический момент; $J_{ВВ}$, $J_{СС}$ – моменты инерции звеньев установки.

Рассчитанное значение частоты нутационных колебаний составило $\approx 4{,}74$ Гц.

Частота нутационных колебаний, определенная экспериментально составляет $\approx 4{,}7$ Гц. Погрешность определения частоты нутационных колебаний математически и экспериментально составила порядка 0,4 %, что считается приемлемым. Таким образом, моменты инерции определены достаточно точно. Определенные параметры используются при исследовании математической модели установки и отработки способов управления разработанной системы.

Список литературы

1. Краюхин А.С. Использование гироскопического эффекта в электромеханических устройствах с непосредственным приводом // XVI международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник трудов. Том 1. – Томск, НИ ТПУ, 2010, с. 228 – 229.
2. Нестеренко Т.Г., Гормаков А.Н. Методы определения моментов инерции. Методическое пособие. – Томск, 2004. – 16 с., ил.
3. Разработка метода уменьшения нутационных колебаний гироскопа при внешних воздействиях момента по оси подвеса. Научный отчет по х/д № 7-25/89 № Г.Р. 0189.0027439. инв. № 0290.0021666 – Томск, ТПИ, 1989. – 43 с. Научный руководитель Копытов В.И.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ЭКСПРЕСС КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕРМО-ЭДС

Кривенок Е.А., Солдатов А.А.

Научный руководитель: Солдатов А.И. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: cs6@yandex.ru

Выявление областей локализации пластической деформации, предшествующей разрушению, необходимо для выявления остаточного ресурса изделий из металлов работающих под нагрузкой. Среди неразрушающих методов определения пластической деформации можно выделить: рентгеновский и ультразвуковой. Однако эти методы имеют ограниченное применение и не всегда позволяют точно определить место возникновения пластической деформации.

Целью работы являлось определение мест пластической деформации, основанной на изменении термо-ЭДС в местах появления пластической деформации. Для определения достоверности этого метода были проведены эксперименты на разрывной машине МИРИ-100К (рис. 2) с компьютерным управлением и записью диаграммы растяжения. Было подготовлено несколько образцов из сталей: 12Х18Н10Т, 0,8ПС-5 и Сталь 3, на которых были сделаны насечки для локализации места разрыва (рис. 1).



Рис. 1. Разрывная машина МИРИ-100К

Насечки делались с помощью образива, чтобы на образцах не было посторонней металлической стружки, влияющей на величину термо-ЭДС. С помощью разрывной машины подготовленные образцы подвергались деформации. В местах деформации проводились измерения дифференциальной термо-ЭДС прибором «Термотест». Прибор состоит из электронной части, смонтированной в одном корпусе и дифференциального датчика.

Схема используемая в изготовленном приборе работает следующим образом. Электрическая цепь, состоящая из контрольного образца, горячего электрода, испытуемого образца, холодных электродов и гальванометра, замыкается горячим электродом, предварительно нагретым нагревателем до температуры T_2. В случае одинаковых химический составов и состояний контрольного образца и испытуемого образца, термо-ЭДС контактов будет равна по величине, но противоположна по направлению и, следовательно гальванометр не регистрирует наличие в цепи Э.Д.С. В случае различного состава либо структурного состояния поверхности контрольного образца и испытуемого образца, величина термо-ЭДС контактов будет различна по абсолютной величине и определяться температурой T_2, горячего и T_1 холодных электродов. В этом случае гальванометр регистрирует наличие в цепи Э.Д.С., величина которой равна алгебраической сумме термо-ЭДС контактов (т.е. дифференциальная термо-ЭДС), что свидетельствует о различном химическом составе либо структурном состоянии поверхности контрольного образца и испытуемого образца. Размеры контрольного образца и испытуемого образца не оказывают влияния на дифференциальную термо-ЭДС, если выполняется условие равенства температуры контактов образцов с холодными электродами. В используемом приборе возможность возникновения паразитных термо-ЭДС, из-за различной температуры контактов контрольного образца, исключены благодаря оригинальной конструкции датчика.

Чувствительность и точность метода дифференциальной термо-ЭДС на различие по энергии выхода электронов выше метода термо- ЭДС, так как температурный режим в контактных точках сохраняется одинаковым как для эталона так и для образца.

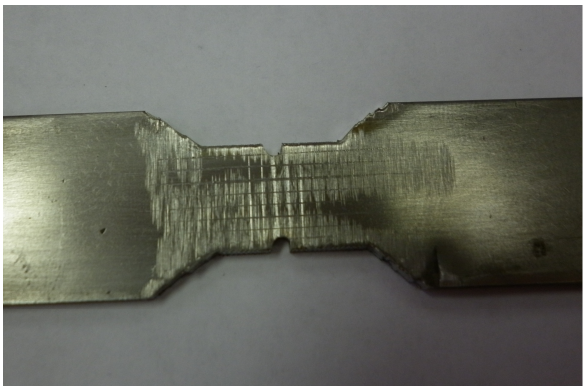


Рис. 2. Образец из материала: 0,8ПС-5

Для проведения контроля достаточно поместить эталон на предварительно очищенную от жира, грязи и зачищенную до металлического блеска поверхность испытуемого образца.

При измерении испытуемый образец устанавливался на разрывную машину и подвергался растяжению, в качестве контрольного образца использовался образец вырезанный из испытуемого изделия. На рис. 3 показан образец, подвергшийся растяжению.

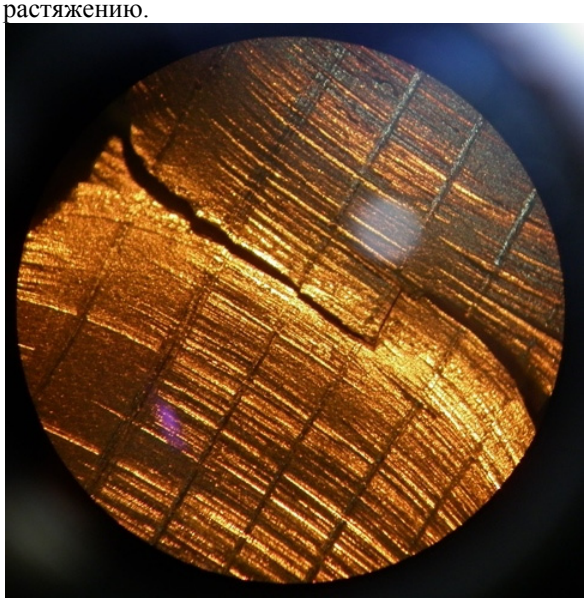


Рис. 3. Образец после пластической деформации

На рис. 4 показана зависимость термо-ЭДС от удлинения испытуемого изделия. Из рисунка видно, что в области упругой деформации изменения термо-ЭДС не наблюдается, при появлении пластической деформации происходит увеличение термо-ЭДС с увеличением величины деформации. Минимальное значение термо-ЭДС достигается при максимальном значении деформации перед разрушением образца.

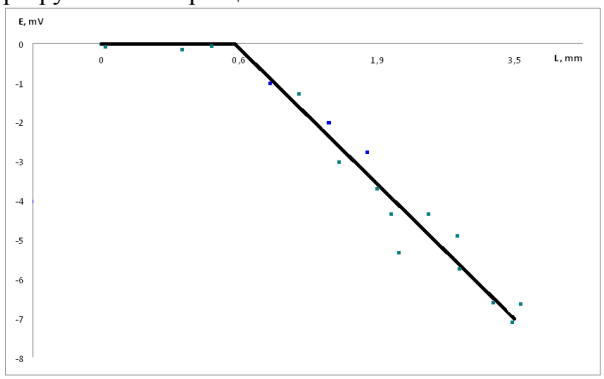


Рис. 4. Зависимость термо-ЭДС от удлинения

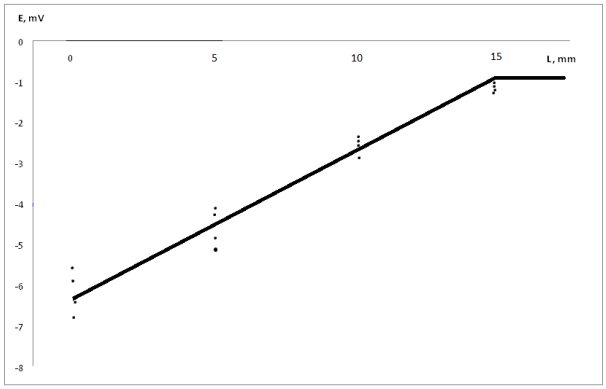


Рис. 5

На рис. 5 приведена зависимость термо-ЭДС от расстояния до места пластической деформации. Минимальное значение термо-ЭДС соответствует месту появление пластической деформации. С удалением величина термо-ЭДС уменьшается и при расстояниях превышающих 15 мм изменение термо-ЭДС не наблюдается.

Таким образом, методом дифференциальной термо-ЭДС можно определить место пластической деформации с высокой точностью.

Список литературы

1. Солдатов А.И., Егоров Ю.П., Цехановский С.А. Неразрушающий экспресс контроль качества термообработки металлов // Современные техника и технологии: 13-я международная конференция студен-тов, аспирантов и молодых ученных – Томск, Изд-во ТПУ, 2007 – Т. 1. – С. 237-238
2. Панин В.Е., Слосман А.И., Колесова Н.А. Закономерности пластической деформации и разрушения на мезоуровне поверхностей упрочненных образцов при статическом растяжении // Физика металлов и металловедение. – 1996. – Т. 82. – №2. – С. 129-136

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НАГРЕВ ИЗДЕЛИЙ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Куликова И.В.

Научный руководитель: Ширяев В.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина, 30
e-mail: sku4ajka@mail.ru

Температура, как количественный показатель внутренней энергии тел является универсальной характеристикой объектов и процессов физического мира, в котором непрерывно происходит генерация, преобразование, передача, накопление и использование энергии в ее различных формах. Очевидно, что анализ тепловых процессов позволяет получить разнообразную информацию о состоянии объектов и протекании физических процессов в природе, энергетике, строительстве, промышленности и медицине.

Процедура неразрушающего контроля включает в себя две операции: воздействие на контролируемый объект и регистрацию его отклика на воздействие. Применительно к АТНК (Активному тепловому неразрушающему контролю) это соответствует операциям нагрева (охлаждения) объектом контроля и регистрации температурного поля на поверхности объекта контроля. Изделия из углепластика и стеклопластика хорошо поддаются АТНК, так как коэффициент излучения материалов в инфракрасном диапазоне ≈ 1, следовательно, их можно рассматривать как абсолютно черные тела. Углепластики используются вместо металлов во многих изделиях – от частей космических кораблей до удочек: ракетно-космическая техника, авиатехника (самолётостроение, вертолётостроение), судостроение (корабли, спортивное судостроение), автомобилестроение (спортивные автомобили, мотоциклы, усиление железобетонных конструкций, спортивный инвентарь (велосипеды, хоккейные клюшки, лыжный спорт (лыжи, палки, ботинки), лезвия коньков, стрелы, оборудование виндсерфинга), медицинская техника, рыболовные снасти (удилища), бытовая техника (отделка корпусов телефонов, ноутбуков и пр.)

Общеизвестно, что благодаря высокой удельной прочности и удельной жесткости композиционные материалы, армированные углеродными волокнами, широко применяются в качестве основных конструкционных материалов в самолетостроении. Высокие механические характеристики углеродных волокон позволяют получать высококачественные материалы – углепластики.

Масса самолета без топлива и коммерческой нагрузки примерно в два раза меньше массы снаряженного самолета, в том числе около 30% приходится на различные конструкции планера. Снижение веса этих конструкций благодаря использованию современных материалов позволяет уменьшить габариты двигателя и т. д. и приводит к снижению расхода горючего. Снижение массы конструкционных материалов всего на 1 кг приводит к снижению общей массы самолета на 3-7 кг. Использование композиционных материалов в производстве самолетов позволяет также снизить их общую стоимость и гибко варьировать условия проектирования.

В военной промышленности разработка и применение композиционных материалов на основе углеродных волокон в основном направлена на создание военных самолетов. Сведений о применении углепластиков в производстве другой военной техники очень мало вследствие засекречивания проводимых работ.

При контроле с криволинейной поверхностью необходимо учитывать артефакты, возникающие из-за отражения постороннего теплового излучения, геометрического искажения проекций внутренних дефектов, так же связанных с кривизной поверхности.

Но узкие подповерхностные трещины, расположенные перпендикулярно передней поверхности, практически не обнаруживаются при равномерном нагреве (поверхностные дефекты могут быть видны на мониторе тепловизора из-за чисто радиационного феномена: трещина выступает в качестве имитатора «черного тела» с повышенным коэффициентом излучения). Такие дефекты можно выявить, если в изделии создан тепловой поток, распространяющийся параллельно передней поверхности. Для этого изделие следует нагревать на поверхности в локальной зоне.

Поэтому на металлургических предприятиях, в основном, применяют УЗВ метод, причем ввод и съем ультразвукового излучения производят через струю воды.

Ультразвуковой контроль – один из самых популярных методов неразрушающего контроля, использующий для выявления дефектов материалов ультразвуковые волны.

С целью повышения качества и надежности производства продукции в различных отраслях народного хозяйства: энергетике, металлургии, тяжелом и химическом машиностроении, на железнодорожном транспорте, в судостроении, в строительстве газопроводов и в других отраслях проводят неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль является наиболее популярным методом получения информации о дефектах, распо-

ложенных на значительной глубине в различных материалах, изделиях и сварных соединениях.

Сочетание ряда характерных для ультразвукового неразрушающего контроля свойств делает этот вид контроля во многих случаях практически незаменимым. Данный метод является превентивной мерой прогнозирования и предотвращения неисправностей, аварийного выхода из строя машин, механизмов, металлоконструкций, трубопроводов нефте-газоснабжения, сосудов и аппаратов, работающих под высоким давлением, поковок, листового проката, труб и других видов продукции. Эта работа выполняется операторами-дефектоскопистами.



Рис. 1. Утонение цилиндрической поверхности

На рис. 1 показан нагрев изделия с цилиндрической поверхностью внешним источником.

Эксперимент проводился следующим образом: в большой пластиковый стакан заливалась горячая вода. С помощью тепловизора регистрировалось распределение температур.

Для оценки эффективности нагрева поверхностью внешним источником, произведем нагрев изделия с цилиндрической поверхностью при помощи ультразвука.

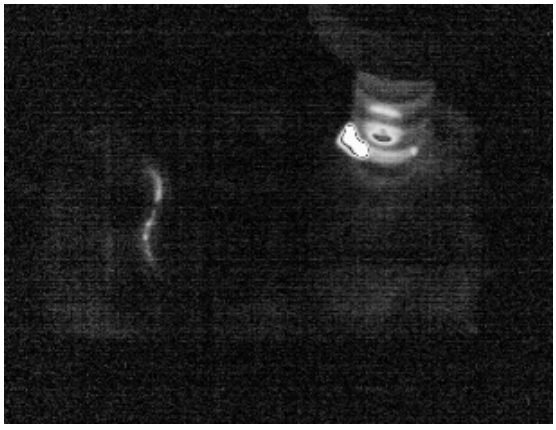


Рис. 2. Трещина в цилиндрической поверхности

На рисунках 2 и 3 изображен нагрев изделия с цилиндрической поверхностью при помощи ультразвука.

Как видно из полученных термограмм при нагреве изделия с помощью ультразвука, отчетливо проявляется дефект.



Рис. 3. Трещина в цилиндрической поверхности

Из этого следует, что ультразвуковой нагрев более эффективен, так как при нагреве изделия внешним источником нельзя говорить о геометрических размерах дефекта, в связи с тем, что дефект проявляется плохо.

Заключение

Таким образом, при исследовании криволинейных поверхностей источником нагрева должен выступать сам дефект, поэтому используется ультразвуковой нагрев. Это обусловлено концентрацией энергии в месте дефекта.

Список литературы

1. Справочник Дж. Любина «Композиционные материалы», М., 1988.
Справочник Р. Зигель, Дж. Хауэлл «Теплообмен излучением», Издательство «Мир», М., 1975.
2. Куликова И.В. АТНК изделий с цилиндрической поверхностью // Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах – Томск, ТПУ. – 12-16 апреля 2010. – Томск: Изд. ТПУ. – 2010 – Т. 1. – с. 230-231.
3. Куликова И. В. Особенности активного теплового неразрушающего контроля изделий с криволинейной поверхностью // Информационно-измерительная техника и технологии: сборник материалов I Научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры «Информационно-измерительная техника» Национального исследовательского Томского политехнического университета / под ред. А.В. Юрченко – Томск, ТПУ. – 25-26 февраля 2010. – Томск: Изд. ТПУ. – 2010. – с. 87-88.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 В

Лабаскин И.П., Коновалов Н.А.

Научный руководитель: Полухин О.В., инженер

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: iwan_labaskin@mai.ru

Разработанная в Алтайском государственном техническом университете технология обеспечения пожарной и электрической безопасности электроустановок основана на автоматизированных процедурах выявления пожароопасных участков системы электроснабжения [1]. Указанные процедуры используют, в качестве входных параметров, предельные характеристики пережога проводников электрической дугой короткого замыкания. В качестве таковых рассматривается время пережога и соответствующая величина тока КЗ. Предельные характеристики соответствуют устойчивому, без затухания, горению дуги короткого замыкания.

Несовершенство расчетных методов получения характеристик пережога, обусловленное неизбежными допущениями, предопределенными отсутствием данных о характере распределения плотности тока в основании дуги, сведений о зависимости теплофизических параметров материала контактирующих поверхностей от температуры дуги и др., приводит к необходимости разработки экспериментальных методов [2].

Основу экспериментального метода составляет экспериментальная установка, позволяющая в автоматизированном режиме проводить контролируемые опыты по пережогу широкого спектра проводников электрической дугой короткого замыкания в различных условиях. Основными преимуществами установки являются:

- возможность получения незатухающей электрической дуги за счет создания зоны образования искусственного короткого замыкания, содержащей специальный технологический слой по техническому решению RU 2249826 C2;
- автоматизация процесса получения данных;
- возможность исключения влияния апериодической составляющей тока короткого замыкания, искажающей результат измерения при малой длительности дугового разряда;
- повышение точности за счет проведения измерений непосредственно в процессе короткого замыкания;
- возможность исследования пережигающего эффекта при длительности дугового разряда менее одного полупериода.

Экспериментальная установка представляет собой информационно-измерительную систему.

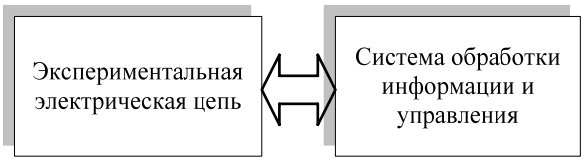


Рис. 1. Состав установки

Состав установки (Рис. 1) условно можно разделить на экспериментальную электрическую цепь (Рис. 2) и систему обработки информации и управления (рис. 3).



Рис. 2. Экспериментальная электрическая цепь

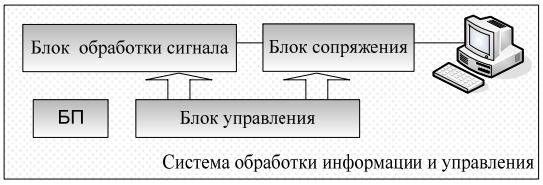


Рис. 3. Система обработки информации и управления

Экспериментальная электрическая цепь содержит испытательный стол с зоной образования искусственного короткого замыкания (Рис. 4), силовой трансформатор для питания экспериментальной цепи, ограничивающее ток сопротивление из манганина, коммутатор (Рис. 5), осуществляющий функцию замыкания экспериментальной цепи в определенный момент времени.

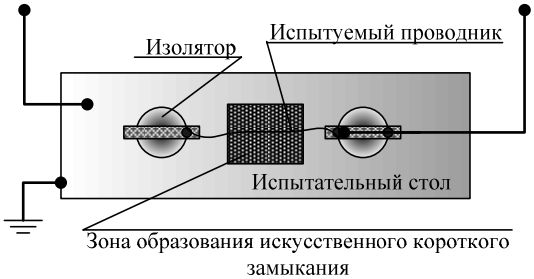


Рис. 4. Испытательный стол

Система обработки информации и управления образована персональным компьютером, блоком сопряжения и специализированным программным обеспечением. Блок сопряжения основан на микроконтроллере AT Mega16 и предназначен для обработки сигнала и передачи

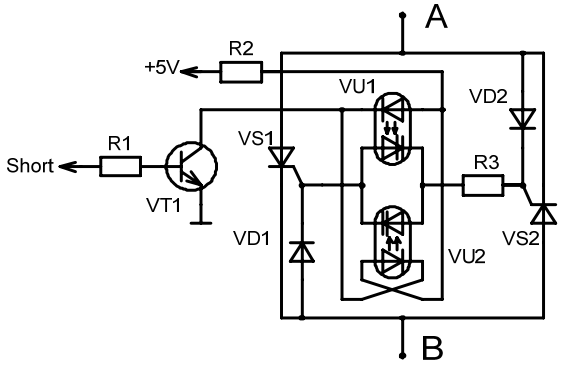


Рис. 5. Коммутатор его в компьютер

На схеме обозначены:

S1 – аналоговый сигнал в виде напряжения, снимаемого с одного из участков ограничивающего сопротивления, пропорционального току дугового КЗ;

S2, S3 – цифровой сигнал, соответствующий величине тока дугового КЗ;

S4, S5, S6 – управляющие сигналы;

$I_{экс}$ – ток дугового КЗ, протекающий в экспериментальной цепи.

В начальный момент времени экспериментальная цепь разомкнута (Рис. 6.). Замыкание цепи предусмотрено с помощью коммутатора. Ручной размыкатель замкнут. Он служит для размыкания экспериментальной электрической цепи в случае наступления какой-либо нештатной ситуации. Начало опыта инициируется сигналом с ПЭВМ (S4).

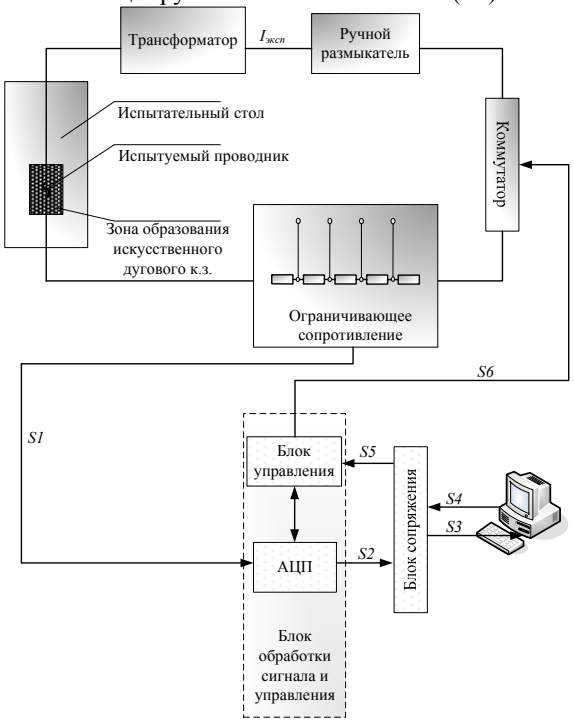


Рис. 6. Схема функционирования установки

Сигнал на начало опыта передается через блок сопряжения на блок управления блока цифровой обработки и управления (S5). Блок управления выдает сигнал на коммутатор (S6), а также, взаимодействует с АЦП. Коммутатор, получив запускающий сигнал, замыкает экспериментальную электрическую цепь. Трансформатор обеспечивает необходимый диапазон значений силы тока. В качестве питающего трансформатора используется силовой трансформатор мощностью 630-1000 кВА, напряжением 6-10/0,4 кВ, соединенный с распределительным пунктом реально действующей электрической сети. В ячейке РУ-0,4 кВ (Рис. 7) убраны трансформаторы тока, счетчик, автоматы и шины. Кабели к ограничивающему сопротивлению и к размыкателю подсоединяются в однофазном режиме.

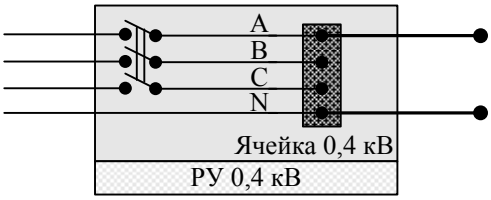


Рис. 7. Подключение к трансформатору

В каждом конкретном опыте величина тока регулируется с помощью ограничивающего сопротивления, имеющего отводы для указанной регулировки. Таким образом, после замыкания коммутатора в экспериментальной электрической цепи начинает протекать ток КЗ. В зоне образования искусственного дугового КЗ, в месте замыкания испытуемого проводника на контактную поверхность, благодаря наличию специального слоя выполненного согласно технического решения RU 2249826 C2, возникает электрическая дуга. Специальный технологический слой создает условия, благодаря которым в процессе опыта получается именно дуговое короткое замыкание. В каждый момент времени, после начала опыта, напряжение пропорциональное току КЗ (S1), снимается с одного из резисторов ограничивающего сопротивления и подается в АЦП блока обработки сигнала и управления. Двоичный код (S2) соответствующий значению аналогового сигнала, через блок сопряжения поступает на параллельный порт ПЭВМ (S3) и далее фиксируется в базе данных характеристик пережога. Опыт заканчивается разрывом цепи при пережоге испытуемого проводника либо сигналом с ПЭВМ на размыкание коммутатора.

Список литературы

1. Никольский, О.К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации [Текст]/О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Т.В. Еремина, С.А. Сошников, Ю.С. Лукьянов, С.Н. Серов, Б.С. Компанеец, С.Ф. Нефедов, О.В. Полухин; под ред. А.А. Сошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011.-112 с.
2. Полухин, О.В. Исследование характеристик пережога электропроводки электрической дугой при коротком замыкании [Текст] / О.В. Полухин, А.А. Сошников // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009.- № 5.- С. 17-18.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ СБОРКИ ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАСАДОК ДЛЯ МИКРОСКОПОВ

Лобастова О.В.

Научный руководитель: Агапов Н.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: oksanalobastova@mail.ru

Возможность одновременного наблюдения и получения фотоотпечатков изображений микрообъектов еще в прошлом веке реализована в различных специализированных моделях отечественных и зарубежных микроскопов. В помощь исследователям было также разработано несколько моделей микрофотонасадок (МФН-11 и МФН-12), которые обеспечивали такую возможность для некоторых отечественных и зарубежных микроскопов. Но несравнимо большие преимущества получила микроскопия с развитием компьютерных технологий. Значительные удобства появились у исследователей при использовании в своей работе цифровой фото- и видеотехники, когда микроизображение можно не только наблюдать непосредственно на мониторе компьютера, но и корректировать, сохранять и получать отпечатки. Более доступным способом получения оцифрованных микроскопических изображений для большинства исследователей в настоящее время может быть присоединение к уже имеющемуся микроскопу какой-либо модели цифровой камеры. Сигнал с видеокамеры можно передавать на экран телевизора или на монитор компьютера. На компьютере можно записывать видеосигнал и получать высококачественные фотографии с возможностью последующей распечатки.

Существующие в продаже насадки не всегда обеспечивают должное качество изображения, что особенно важно в измерительных микроскопах. Во-первых, аберрации оптической системы насадки вносят дополнительные погрешности в измерения. Во-вторых, появление дополнительной оптической системы приводит к усложнению алгоритма измерений, поскольку в алгоритм измерений входят параметры всех оптических элементов измерительного микроскопа. Параметры оптики покупной насадки, как правило, неизвестны. Измерение необходимых параметров приводит к появлению дополнительных ошибок измерений и, кроме того, связано с необходимостью демонтажа насадки и наличием специального оборудования для измерений: такая возможность имеется только в специализированных оптических лабораториях.

Можно рассмотреть несколько способов самостоятельной сборки насадок из готовых комплектующих изделий. Реализация конкретного способа будет определяться типом микроскопа, требованиями к установке насадки на микроскоп и к качеству изображения.

Способ первый

Камера с объективом устанавливается непосредственно на окуляр (рис. 1). Объектив 3 относительно окуляра устанавливается таким образом, чтобы выходной зрачок микроскопа совпадал с входным зрачком объектива 3.

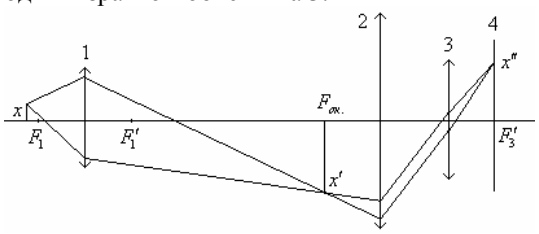


Рис. 1. Микроскоп с насадкой на окуляр.

Обозначим: 1 – объектив микроскопа; 2 – окуляр; 3 – объектив насадки; 4 – плоскость фотоприемника; x - предмет; x' – промежуточное изображение, создаваемое объективом микроскопа; x'' – изображение предмета на фотоприемнике; F_1 и F_1' – соответственно передний и задний фокусы объектива микроскопа; $F_{ок.}$ – передний фокус окуляра; F_3' – задний фокус объектива насадки.

Для того чтобы рассчитать фокусное расстояние объектива, необходимо задать линейное или угловое поле зрения w' окуляра и диагональ l ПЗС-матрицы используемой камеры. Поле зрения окуляра микроскопа, как правило, известно. Диагональ матрицы определяется типом выбранной матрицы. Для получения наиболее качественного изображения выбирается камера с диагональю наибольшего размера. Тогда фокусное расстояние объектива рассчитывается по формуле:

$$f' = \frac{l}{2}\operatorname{ctg} w'.$$

В этом случае ПЗС-матрица будет вписана в поле изображения. При использовании первого способа следует иметь в виду, что окуляры обладают кривизной изображения, которую при визуальном наблюдении можно скомпенсировать аккомодацией глаза или подвижкой окуляра. Поэтому для получения резкого по всему полю изобра-

жения необходимо подобрать объектив 3 с кривизной изображения обратного знака. Либо использовать специальные окуляры с плоским полем изображения.

Способ второй

Окуляр извлекается и в окулярную трубку вставляется насадка, в состав которой входят линза-коллектив 2, объектив 3 и камера. На рисунке 2 показана плоскость 4 фотоприемника камеры. Применение линзы-коллектива – стандартная процедура для уменьшения виньетирования.

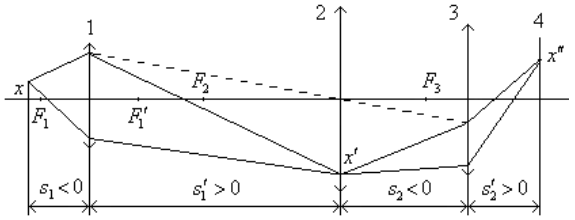


Рис. 2. Микроскоп с насадкой, установленной вместо окуляра

Обозначим: 1 – объектив микроскопа; 2 – линза-коллектив; 3 – объектив насадки; 4 – плоскость фотоприемника; x - предмет; x' – промежуточное изображение, создаваемое объективом микроскопа; x'' – изображение предмета на фотоприемнике; F_1 и F_1' – соответственно передний и задний фокусы объектива микроскопа; F_2 – передний фокус линзы-коллектива; F_3' – задний фокус объектива насадки.

Представим оптическую схему микроскопа в виде тонких компонентов и для простоты положим, что входным зрачком микроскопа является оправа объектива 1. Обозначим: D_1 – диаметр оправы объектива 1. Диаметр D_2 линзы 2 выбирается таким образом, чтобы выполнялось условие: $D_2 > |2 \cdot x'|$. Фокусное расстояние линзы 2 выберем так, чтобы изображение входного зрачка микроскопа линзой 2 совпало с входным зрачком объектива 3. Для простоты будем считать, что апертурной диафрагмой объектива 3 является его оправа диаметром D_3. Тогда

$$D_3 = D_1' = |\beta_2| \cdot D_1.$$

Целесообразно увеличение β_2 выбирать таким образом, чтобы выполнилось условие

$$D_3 < |2 \cdot x'|. \qquad (1)$$

В этом случае поперечные габариты системы не увеличатся.

Выбрав некоторое значение β_2, удовлетворяющее условию (1), далее находим:

$$s_2 = \beta_2 \cdot s_1'. \qquad (2)$$

Пусть l – диагональ ПЗС-матрицы, тогда можно записать:

$$\beta_3 = \frac{x''}{x'} = \frac{l}{2 \cdot x'}, \quad s_2' = \beta_3 \cdot s_2.$$

Из формулы для сопряженных отрезков находим:

$$f_3' = \frac{s_2 \cdot s_2'}{s_2 - s_2'}.$$

Для оценки полученных результатов целесообразно рассчитать относительное отверстие $\forall_3$ объектива 3

$$\forall_3 = \frac{D_3}{f_3'}.$$

Величина $\forall_3$ должна иметь разумные значения, скажем не более чем 1:1 или чем меньше – тем лучше. Этого можно добиться, подбирая значение β_2.

Значение отрезка, s_1' входящее в формулу (2), можно найти, используя известные характеристики микроскопа. Как правило, для каждого объектива микроскопа задаются линейное увеличение β_1 и числовая апертура $A = |n_1 \cdot \sin\sigma|$, где n_1 – показатель преломления среды в пространстве предметов (иммерсионной жидкости). Очевидно, используя известные $[1-2]$ соотношения, можно записать:

$$\sin\sigma = \frac{A}{n_1}, \quad s_1 = \frac{D_1}{2 \cdot \mathrm{tg}\,\sigma} = \frac{D_1 \cdot \sqrt{1 - \sin^2\sigma}}{2 \cdot \sin\sigma},$$
$$f_1 = \frac{\beta_1 \cdot s_1}{\beta_1 - 1}, \quad s_1' = \frac{f_1}{n} \cdot (\beta_1 - 1).$$

Способ третий

Наиболее простой и легко реализуемый, никакой дополнительной оптики не требуется (рис. 3).

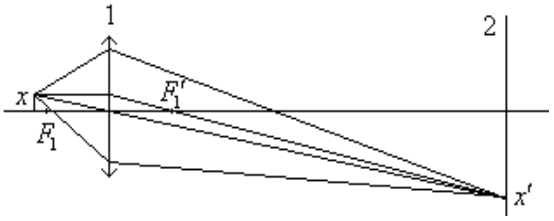


Рис. 3. Микроскоп с насадкой, установленной вместо окуляра

Обозначим: 1 – объектив микроскопа; 2 – плоскость фотоприемника; x - предмет; x' – изображение, создаваемое объективом микроскопа на фотоприемнике.

Камера с помощью переходной втулки устанавливается на окулярную трубку. Перемещая предметный столик, создаем на поверхности фотоприемника резкое изображение предмета. Небольшие аберрации могут возникнуть за счет того, что предмет будет находиться не на расчетном расстоянии от объектива микроскопа. Для того чтобы обеспечить полное поле зрения, обусловленное применяемым окуляром, необходимо подобрать камеру, диагональ которой не меньше линейного поля зрения окуляра.

Список литературы

1. Апенко М.И., Дубовик А.С. Прикладная оптика. – М.: Наука, 1971. – 392 с.
2. Герцбергер М. Современная геометрическая оптика. – М.: ИЛ, 1962. – 487 с.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЯЧЕЕК

Маканков М.В.

Научный руководитель: Казанцев Ю., д.т.н., проф

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mmax@t-sk.ru

Обеспечение параллельной работы преобразователей на общие шины в системе электропитания позволяет наращивать ее общую выходную мощность, а также повышать надежность за счет «глубины» резервирования отдельных преобразователей. Поэтому технические возможности для параллельной работы являются существенной и важной характеристикой преобразователей, особенно при использовании их в системах электропитания.

В зависимости от поставленной задачи требования, предъявляемые к параллельно работающим преобразователям, различны. Так, при полном резервировании (один из двух) достаточно обеспечить устойчивую работу двух преобразователей на общие шины без каких-либо ограничений на распределение между ними мощности нагрузки. Это вытекает из принципа полного резервирования, когда максимальная мощность потребителя не превышает максимально допустимой мощности одного агрегата. В зависимости от категории потребителя структура с параллельной работой агрегатов в целях резервирования может быть заменена структурой с коммутируемыми по специальной команде выходными шинами одного из агрегатов, работающего в «холодном» или «горячем» резерве. При частичном резервировании (например, два из трех) или модульном агрегатировании в целях наращивания мощности распределение последней между параллельно работающими на общие шины преобразователями не должно приводить к перегрузке одного преобразователя.

Одним из основных требований, предъявляемых к военному или космическому оборудованию, которое должно работать непрерывно в течение длительного времени, является высокая надежность и стабильность. Выход из строя одного элемента может повлиять на работоспособность всей системы, поэтому для поддержания стабильной работы необходимо обеспечить дублирование важнейших элементов системы, которым является источник питания (далее ИП), в качестве которого используется преобразователь постоянного тока.

ИП предназначен для преобразования входного напряжения с уровнем «100 В» в стабилизированное выходное напряжение «28 В» и выдачи телеметрической информации о значениях выходного напряжения тока нагрузки, а также температуре наиболее нагруженной части блока.

Структурная схема ИП показана на рисунке 1. В состав ИПвходят следующие узлы:

- фильтр входной;
- регуляторы напряжения К1 – К12;
- фильтр выходной;
- служебный источник питания;
- задающий генератор;
- датчики тока;
- блок телеметрии;
- датчик температуры.

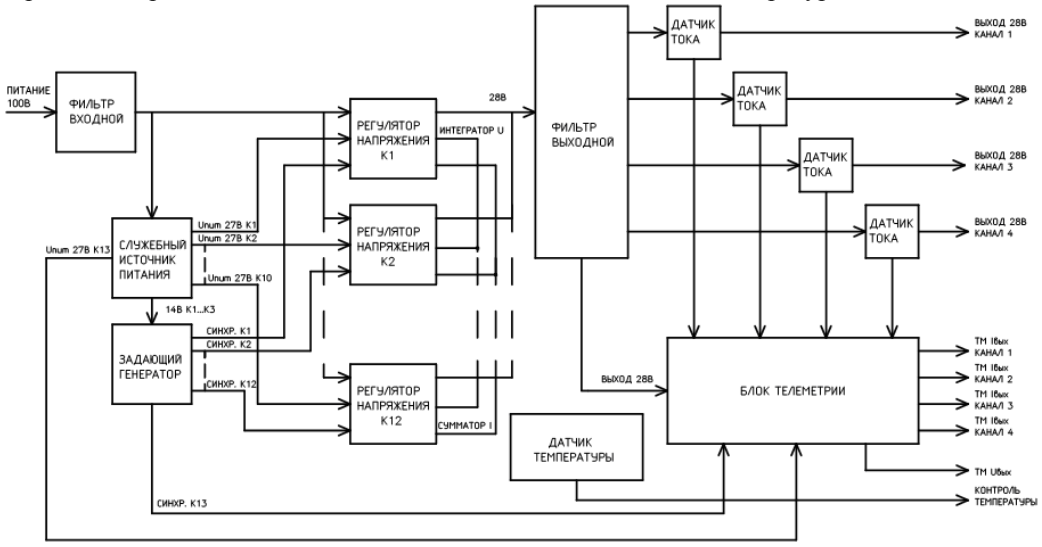


Рис. 1. Структурная схема

Входной фильтр предназначен для уменьшения до требуемого уровня пульсаций тока и напряжения, создаваемых регуляторами напряжения. Фильтр содержит сглаживающий дроссель и группу параллельно соединенных конденсаторов типа К73-16. С целью повышения надежности последовательно с каждым конденсатором включен предохранитель, отключающий его от схемы при коротком замыкании.

Для обеспечения требуемой мощности в состав ИПвходит 12 параллельно соединенных регуляторов напряжения (К1 – К12). Все регуляторы выполнены по идентичным схемам и представляют собой ключевые понижающие стабилизаторы последовательного типа без гальванической развязки. Стабилизация выходного напряжения осуществляется ШИМ-регулированием.

Каждый регулятор содержит силовую часть, состоящую из двух последовательно соединенных полевых транзисторов, диодов Шоттки, сглаживающего дросселя и шунта для измерения выходного тока регулятора, а также вспомогательный источник питания, схему управления и схему контроля исправности регулятора.

Для обеспечения требуемого коэффициента загрузки по току и повышения надежности используются четыре параллельно соединенных диода Шоттки. Каждый диод включается в схему через предохранитель, обеспечивающий его отключение при отказе.

Для обеспечения равномерной загрузки регуляторов по току используется активное выравнивание токов. Текущее значение части тока нагрузки, протекающего через каждый регулятор, сравнивается с полным током нагрузки, поделенным на количество регуляторов, и вырабатывается соответствующий сигнал коррекции, воздействующий на схемы управления регуляторов.

В схеме управления каждым регулятором предусмотрены быстродействующая схема, которая обеспечивает заданные параметры переходных процессов при коммутации нагрузки и напряжения питания, и «медленная» схема, которая обеспечивает стабильность и устойчивость параллельной работы регуляторов.

Вспомогательный источник питания предназначен для преобразования напряжения 27 В, поступающего от служебного источника питания, в ряд напряжений, необходимых для обеспечения работоспособности схем управления и контроля исправности регулятора.

Схема управления вырабатывает сигналы управления одним из полевых транзисторов по алгоритму, обеспечивающему стабилизацию выходного напряжения ИП, равномерное распределение тока нагрузки между регуляторами К1 – К12 и его ограничение на безопасном уровне при коротком замыкании в цепи нагрузки.

Схема контроля исправности регулятора обеспечивает открытое состояние второго полевого транзистора при нормальной работе регулятора и его запирание при неисправностях, которые могут привести к повышению выходного напряжения за пределы допуска.

Все регуляторы работают на единый выходной фильтр, который состоит из параллельно соединенных электролитических конденсаторов, включенных через предохранители, и высокочастотных керамических конденсаторов.

Служебный источник питания выполнен по двухканальной схеме. Одноименные выходы каналов объединены через диоды и защищены от короткого замыкания индивидуальными предохранителями по каждой из выходных цепей.

Задающий генератор предназначен для обеспечения синхронной работы регуляторов напряжения и формирования импульсов управления преобразователями в блоке телеметрии.

Задающий генератор содержит трехканальный генератор и резервированную мажоритарную схему. Синхронную работу генераторов обеспечивают схемы фазирования в каждом из каналов.

Мажоритарная схема нагружена на трансформаторы, обеспечивающие гальваническую развязку и согласование уровней сигналов управления. Для ограничения сквозных токов последовательно с первичной обмоткой трансформаторов включены резисторы.

Датчики тока преобразуют токи, протекающие в каждой из выходных шин ИП, в напряжения, которые поступают в блок телеметрии.

Блок телеметрии осуществляет преобразование сигналов, поступающих с датчиков тока и шины “28 В”, а также их гальваническую развязку от первичного источника. Датчик температуры представляет собой терморезистор, сопротивление которого изменяется под воздействием температуры наиболее нагретой части корпуса БП БРК.

Список литературы

1. Чернышев А.И., Казанцев Ю.М., Патлахов Е.Н. Стабилизатор напряжения с повышенной функциональной надежностью. // Высокоэффективные источники и системы вторичного электропитания РЭА: Материалы семинара. М.: МДНТП, 1983. С.92-96.
2. Казанцев Ю.М., Чернышев А.И., Лекарев А.Ф. Формирование квазискользящих процессов в импульсных преобразователях с ШИМ // Электричество. 1993. №12. С.45-49.
3. Розанов Ю.К., Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ИНТЕРВАЛОВ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ И НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Матюшев Р.А.

Научный руководитель: Вяхирев В.А, к.т.н., доцент

Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального университета (ИИФиРЭ СФУ), 660074, Красноярск, ул. Киренского, 28; тел. (391) 291-22-80
E-mail: rmk1989@yandex.ru

Современные измерители временных интервалов субнаносекундной и наносекундной длительности могут подвергаться помехам, возникающим при отражении от несогласованных элементов высокочастотного тракта. Основная проблема состоит в том, что длительность субнаносекундных и наносекундных сигналов соизмерима с периодом прохождения их по каналу передачи. В результате чего может произойти наложение во времени полезного и помехового сигналов.

С целью борьбы с такого рода помехами было разработано и исследовано с помощью математического моделирования устройство подавления помех для измерителей субнаносекундной и наносекундной длительности. Структурная схема данного устройства представлена на рис 1. Устройство состоит из четырех сумматоров, двух умножителей, детектора, интегратора, двух регуляторов усиления и линии задержки. Элементная база предполагает аналоговую реализацию.

Работа схемы подразумевается в несколько этапов. Во время первого этапа на схему поступает только шум. Во время второго шум с сигналом. На последующих этапах схема работает с сигналом, шумом и помехой.

Рассмотрим работу схемы во время третьего этапа, когда схема работает с сигналом, шумом и помехой.

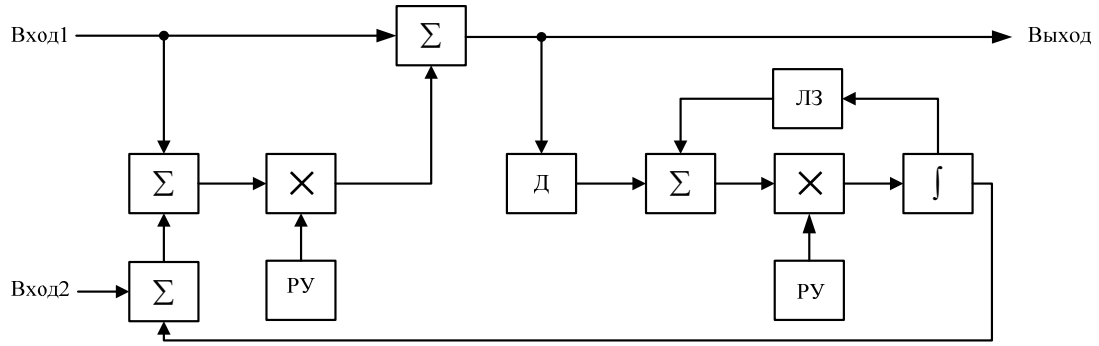


Рис 1. Структурная схема устройства подавления помех для измерителей наносекундной и субнаносекундной длительности

На вход первого сумматора поступает полезный сигнал с помехой и шумом $y(t) = As(t) + Ap(t) + n(t)$. Также на вход первого сумматор поступает сигнал с шумом (со сниженным значением амплитуды) и с помехой со второго умножителя:

$$y(t) = Ap(t) + n(t) + \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}.$$

Пренебрегая слагаемыми, амплитуда которых соизмерима с амплитудой шума, на выходе первого сумматора получим полезный сигнал с шумом $y(t) = As(t) + n(t)$.

Далее полезный сигнал с шумом поступает на детектор, где происходит оценка амплитуды. После этого полезный сигнал с шумом поступает на второй сумматор, на вход которого также поступает сигнал с линии задержки: $y(t) = \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}$.

С выхода второго сумматора сигнал $y(t) = As(t) + n(t) - \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}$ поступает на первый умножитель, где происходит умножение на коэффициент подавления, в результате получим: $y(t) = \frac{As(t) + n(t) - \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}}{k}$.

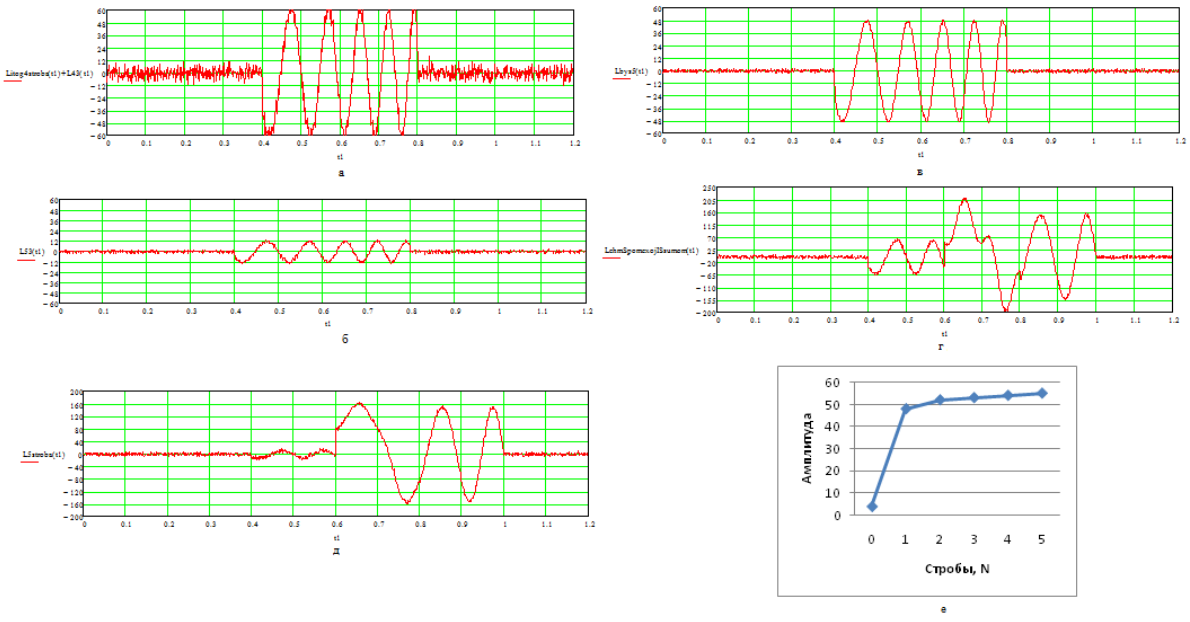
Подавленный сигнал поступает на интегратор, где происходит сглаживание сигнала. С выхода интегратора сигнал поступает на третий сумматор,

на который также поступает импульс синхронизации (подразумевается равным полезному сигналу). В результате получим:

$$y(t) = As(t) + n(t) - \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}$$

Далее этот сигнал поступает на вход четвертого сумматора, на второй вход которого также поступает сигнал с шумом и помехой $y(t) = As(t) + Ap(t) + n(t)$ следующего строба. На выходе четвертого сумматора получается сигнал: $y(t) = Ap(t) - \frac{As(t) + n(t) - \frac{As(t) + n(t) - \frac{n(t)}{k}}{k}}{k}$.

Далее с четвертого сумматор сигнал поступает на вход второго умножителя, на который поступает поправочный коэффициент (по умолчанию равный единице). В итоге на выходе сумматора будет сигнал с шумом без помехи. $y(t) = As(t) + n(t)$.



Сигнал с шумом на выходе первого сумматора (а), подавленный сигнал с шумом после первого умножителя (б), сигнал с входа 2 (в), сигнал с шумом и помехой с входа 1 (г), сигнал на выходе четвертого сумматора (д), зависимость амплитуд от времени (е)

Рис. 2. Результаты моделирования

На рис. 2 приведены результаты моделирования. Особое внимание необходимо уделить зависимости амплитуды полезного сигнала на выходе первого сумматора от времени (рис 2е). Во время нулевого строба на схему поступает только шум. Во время следующих стробов амплитуда сигнала постепенно доходит до требуемого уровня. Получение данной характеристики схемы очень важно с целью как можно раннего обеспечения оптимальной работы с сигналом без помехи. Вид данной характеристики обеспечивается за счет введения линии задержки с периодом равным периоду следования импульсов $T = T_{л.з.}$. Интервал времени в линии задержки предполагается регулируемым.

При практическом применении устройства предполагается два входа (для поступления входного сигнала и для импульса синхронизации) и три регулятора (два для поступления на умножители и один для регулировки линии задержки).

При реализации устройства необходимо также обратить внимание на сигнал поступающий со входа 2 (рис 2в). В описании данный сигнал называется как импульс синхронизации. В качестве данного сигнала можно использовать сигнал синхронизации измерителя интервалов наносекундной и субнаносекундной длительности либо сигнал опорного (эталонного) напряжения динамической системы.

Достоинства данного устройства: работа с сигналом субнаносекундной и наносекундной длительности, способность защищать от мешающего сигнала, который по своей структуре не отличается от полезного, а амплитуда примерно равна амплитуде полезного сигнала.

Главная трудность при реализации: выбор оптимального коэффициента подавления поступающего на первый умножитель.

СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Мещеряков Я.Е.

Научный руководитель: Мальшин А.А., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: Yoruk91@gmail.com

Цель данного проекта – создание установки для автоматической регистрации электромагнитных импульсов (ЭМИ) при разрушении исследуемого образца с дальнейшей возможностью обработки базы экспериментальных данных на персональном компьютере.

Физической основой метода является генерация импульса ЭМИ обусловленного возникновением заряда на образующейся при разрушении поверхности микротрещины и механизмы его дальнейшей релаксации.

В качестве нагружающего устройства использовался пресс КСИМ-40, предназначенный для комплексного определения прочностных и деформационных характеристик горных пород.

ЭМИ в радио-диапазоне измерялось с помощью приемной аппаратуры, состоящей из антенны, самостоятельно разработанного высокочастотного усилителя (рис. 2) и АЦП на базе МК Atmega16.

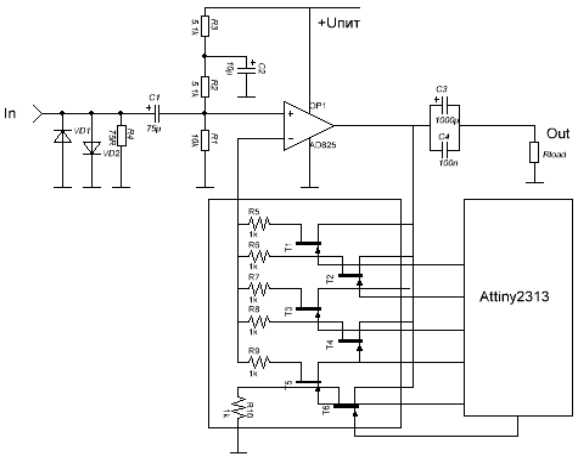


Рис. 2. Усилитель с цифровым управлением коэффициента усиления

На данной установке возможно равномерно деформировать образцы путем одноосного сжатия вплоть до разрушения исследуемых образцов. Регистрировать величину нагрузки и деформации, регистрировать форму сигнала импульсов ЭМИ, сопровождающих разрушение образцов. Регистрировать общее число импульсов и определять их амплитудно-временные параметры в исследуемых образцах (щёлочно-галоидных кристаллах, композиционных материалах, горных породах).

Блок схема установки, изображёна на рис.1.

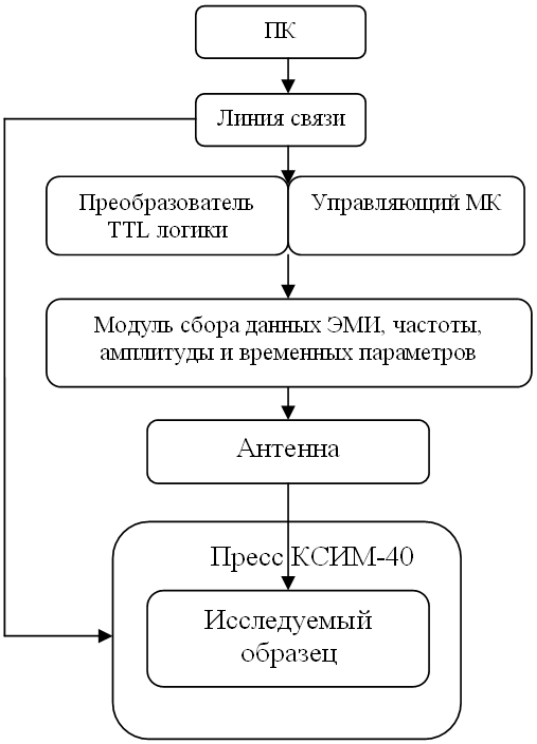


Рис. 1. Блок схема

Плата сбора данных (АЦП) – используемый метод передачи аналогового сигнала в микропроцессор. АЦП воспринимает аналоговый сигнал (напряжение и время), и преобразует его в цифровой код, пригодный для обработки микропроцессорами и другими цифровыми устройствами.

Основные характеристики модуля сбора данных.

Опорное напряжение V_{ref} – максимальная величина напряжения, которую АЦП может преобразовать.

В случае нашего 10-битного АЦП может преобразовать напряжение с величинами от 0 до V_{ref}. Этот диапазон напряжений поделен на 2^{10} уровней или шагов.

Размер одного шага задается как:

$$\frac{Vref}{2^{10}} = \frac{Vref}{1024}$$

Частота **дискретизации** (или частота семплирования) – частота взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации (в частности, аналого-цифровым преобразователем). Измеряется в Герцах.

От нее зависит максимальная частота сигнала, который можно правильно закодировать. Частота дискретизации должна быть как минимум вдвое выше максимальной частоты кодируемого сигнала. Чем больше частота семплирования, тем точнее можно закодировать или восстановить исходную форму сигнала.

В качестве решения данной проблемы можно было предложить осциллограф или самописец, но эта идея утопична. Так как, картинка, появляющаяся на экране осциллографа не поддается дальнейшему изучению по причине быстро изменяющихся процессов, а использование специализированного самописца невозможно по финансовым затруднениям, т.к подобные системы имеют стоимость от 40 000 рублей.

В результате проделанной работы были отобраны 2 системы для использования в нашей установки:

1. МК со встроенным АЦП
2. МК с подключенной к нему специализированной ИМС – АЦП

Краткая классификация преобразователей

Встроенные в МК АЦП

На сегодняшний день подавляющее количество микроконтроллеров имеют уже встроенный АЦП. Типичные примеры Attiny 15L, и в нашем случае, Atmega16 фирмы Atmel. Чаще всего в МК интегрированы АЦП последовательного приближения, поскольку они обеспечивают лучшее соотношение между скоростью и размерами, занимаемыми в кристалле ИС. МК семейства Atmega xx содержат 10 – битный АЦП последовательного приближения с аналоговым мультиплексором. За счет мультиплексирования обеспечивается до 8 или 10 (как правило, в TQFP корпусах) каналов ввода.

К достоинствам можно отнести относительную простоту, невысокую стоимость и быструю разработку и калибровку. К недостаткам можно отнести маленькую частоту семплирования, невысокую входную чувствительность.

МК с применением специальных ИМС

Существуют специализированные интегральные микросхемы АЦП с параллельными и последовательными интерфейсами. С применением подобных ИМС в измерительных системах происходит качественное улучшение частоты семплирования, точности и количестве возможно передаваемых данных. Различают 2 основных типа ИМС: С параллельным интерфейсом и последовательным интерфейсом выходных данных. В параллельных моделях передача информаций осуществляется с помощью N-разрядного порта вывода. Пример изображен на рис. 3 В АЦП с последовательным интерфейсом выходных данных происходит передача информаций побайтно. В нашем случае реализован именно этот вариант.

Принцип работы изображен на рис. 4.

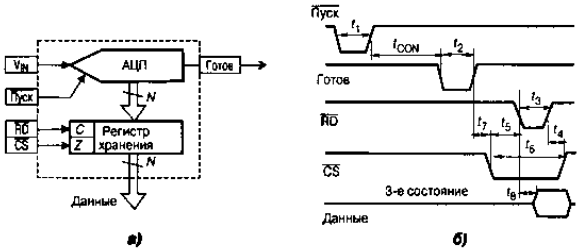


Рис. 3

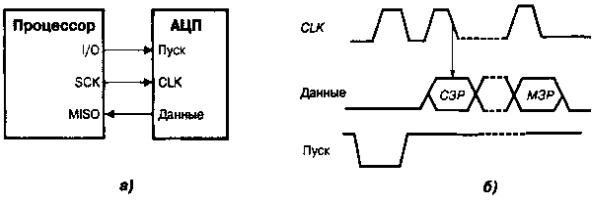


Рис. 4

Линия связи представляет собой защищенную от помех и физического воздействия экранированную шину, подключаемую к всем устройствам.

Преобразователь TTL логики необходим для синхронизаций уровня управляющего сигнала МК с ПК согласно стандарту RS-232.

Полученные микропрограммы позволили обрабатывать экспериментальные данные, полученные с установки.

Список литературы

1. Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования.
2. Практическое руководство / П.В. Агуров. – СПБ.: «БХВ-Петербург», 2004. – 496 с.
3. Магда Ю.С. Программирование последовательных интерфейсов: метод. разработка / Ю.С. Магда- СПБ.: БХВ – Петербург, 2009. – 304 с.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА UART

Мещеряков Я.Е.

Научный руководитель: Сыркин И.С., к.т.н., Измайлова Е.И.

Кузбасский государственный технический университет, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: Yoruk91@gmail.com

В современный век цифровых технологий, с появлением новых классов микроконтроллеров становится актуальной проблема взаимодействия устройств на базе МК и компьютера для управления, программирования, сбора данных, двунаправленной передачи информаций.

Задача этого проекта заключалась в создании узкоспециализированной программы-терминала для управления установки сбора данных исследований разрушений, разрабатываемой для доцента кафедры физики Мальшина А.А.

Описание стандарта RS-232

Интерфейс RS-232 использовался, как правило, для подключения к компьютеру стандартных внешних устройств (принтера, сканера, модема), а так же для связи компьютеров между собой на относительно небольшие расстояния. Широкое применение интерфейс RS-232 находит при настройке и диагностике различного телекоммуникационного и компьютерного оборудования. Все современные системы выпускаются с интерфейсами последовательного порта и прошитым программным обеспечением, которое позволяет настраивать такое оборудования с помощью простых команд.

Передача данных по интерфейсу RS-232 осуществляется побайтно, причем начало и конец передачи синхронизируются стартовым и стоповым битами. Сам процесс передачи данных можно контролировать как программными, так и аппаратными средствами. Данные между устройствами могут передаваться как в одном (полудуплексный режим), так и в обоих направлениях (дуплексный режим). Физическая линия подсоединяется к интерфейсу RS-232 посредством стандартного 25 контактного разъема или 9 контактного разъема.

Основные характеристики интерфейса RS-232:

Скорость передачи – до 115 Кбит\с;

Расстояние передачи – до 15 м;

Тип сигнала – несимметричный по напряжению, один передатчик и один приемник.

Тип соединения- полный дуплекс, точечное соединение.

Программирование RS-232 в ОС Windows.

Последовательный порт компьютерной системы относится к коммуникационным ресурсам физическим или логическим устройствам, обеспечивающих обмен данными посредствам отдельного двунаправленного асинхронного потока данных.

Программная постановка асинхронного режима опирается на привлечение нескольких программных технологий (использование потоков, ввода-вывода с перекрытием). Функционирование этих протоколов не касается базовых принципов данных, они позволяют синхронизировать устройства, имеющие различные функций работы.

В практическом плане последовательный порт персонального компьютера может использоваться либо для обмена данных между различными устройствами, либо для управления и контроля другими устройствами.

Для операционной системы Windows обмен данными по последовательному порту осуществляется посредством стандартных функций WinApi (С точки зрения системы, последовательный порт это фаил) CreateFile, ReadFile, WriteFile, и тд. используемые при работе с файлами. Коммуникационные устройства в ОС обрабатываются теми же функциями, что и обычные файлы, пр этом они имеют специальные имена, например «Com1» присвоено первому последовательному порту.

Программирование в МК AVR

В МК AVR существует несколько специальных регистров для управления системой.

Это регистр управления UCR (Адрес в области ввода\вывода), адрес SRAM – предназначенный для управления функциями приемопередатчика, регистр состояния UCR и регистр данных UDR

UDR – UART Data Register (в некоторых моделях контроллерах он может называться UDR0 или похоже). На самом деле это два разных регистра, имеющих один адрес. Запись попадает в один (регистр передатчика), а на чтение берет из другого (регистр приемника).

По приходу байта в регистр UDR мы зафиксируем прерывание, которое вызывается сразу же, как приемник примет информацию (обычно 8, но может быть и 9, в зависимости от настройки)

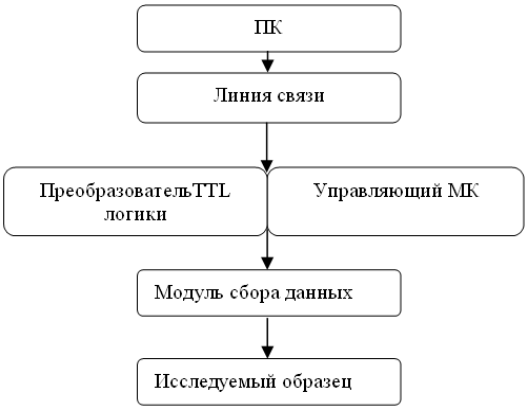


Рис.1 Блок схема установки на базе МК

Образец может быть измерен с помощью системы сбора данных, изображенной на рис. 1

Высокую степень точности при измерениях можел дать система, изображенная на рис. 2

Специально разработанная программа управления последовательным портом персонального компьютера дает возможность напрямую взаимодействовать с системой сбора данных и при незначительной модернизации управлять различными цифровыми системами.

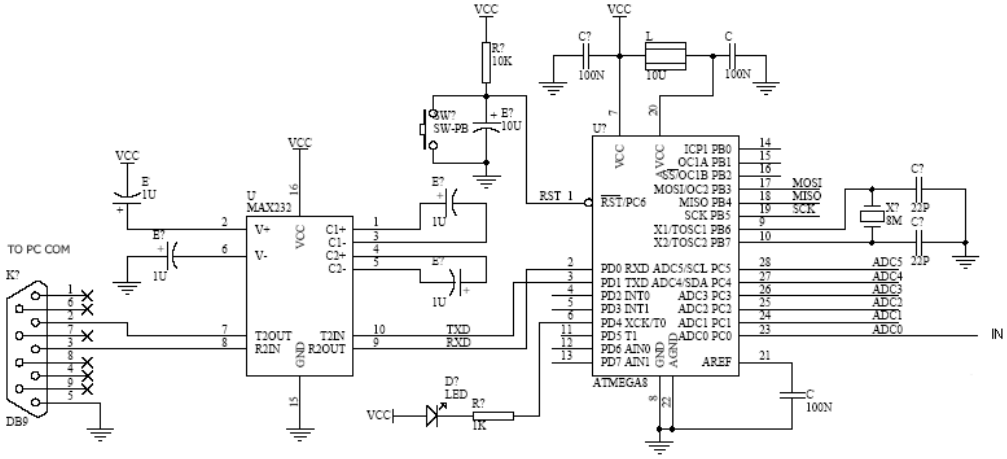


Рис. 2. Принципиальная схема модуля сбора данных, без усилителя

Список литературы

1. Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. Практическое руководство / П.В. Агуров. – СПБ.: «БХВ-Петербург», 2004ю -496 с.
3. Магда Ю.С. Программирование последовательных интерфейсов. : метод. разработка/Ю.С. Магда- СПБ.: БХВ – Петербург, 2009. – 304 с.
4. Шилд, Г. Полный справочник по C++. : Справочник/ Г. Шилдт. –М.: Издательский дом «Вильямс», 2010. – 800с.
5. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров: учебное пособие\ Ю.А. Шпак. – СПБ.: Корона – век, 2011. – 544с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРХНЕЙ ПЛАТЫ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Микурова А.С., Гормаков А.Н.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: anastasiya_ac@mail.ru

Силоизмерительная платформа (рис.1) – это измерительный комплекс, состоящий из следующих устройств: верхняя плата силоизмерительной платформы 2 с тензо- или пьезодатчиками 1, преобразующими механические деформации в электрические сигналы; соединительные кабели 3, блок электрических усилителей 4; регистрирующая аппаратура. Датчики силы 1 устанавливаются на нижнюю плату.

Датчики силы определяют измерительный диапазон платформы, ее массогабаритные свойства, а так же срок службы, стойкость к перегрузкам

и помеховосприимчивость. Обычно в силоизмерительных платформах применяют три-четыре датчика одинаковой чувствительности [2]. Сигналы с датчиков силы по соединительным кабелям 3 поступает на усилитель заряда 4, преобразующий сигнал с выхода датчиков в пропорциональное напряжение, которое служит входной величиной для аналитических и управляющих систем.

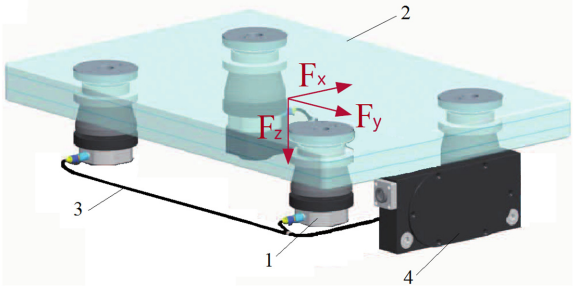


Рис. 1. Принципиальная схема силоизмерительной платформы

В настоящее время в качестве регистрирующей аппаратуры используется компьютер, на мониторе можно видеть: графики составляющих силы; динамику точки приложения результирующего вектора силы; реакцию опоры в пространстве в процессе контакта. Все графики можно оцифровать и определить импульс силы за выбранный промежуток времени.

Применение силоизмерительных платформ

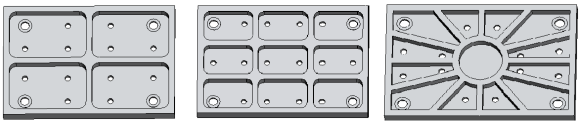
Силоизмерительные платформы применяются для измерения сил и моментов, передаваемых техническими устройствами на корпус прибора; с целью повышения эффективности производства и качества продукции, для обеспечения техники безопасности и защиты дорогостоящих агрегатов; для исследования и анализа макро и микро движений человека с целью диагностики двигательной патологии, планирования и осуществления процесса реабилитации [1]; в спорте – для увеличения результативности и анализа мышечной нагрузки.

Анализ напряженно-деформированного состояния верхней платы силоизмерительной платформы

Конструкция верхней платы воспринимает силы и моменты, передаваемые на силоизмерительную платформу со стороны исследуемого объекта. Для обеспечения прочности и минимизации массогабаритных характеристик проведён статический прочностной анализ. Основная цель данного анализа заключается в оценке напряжённого состояния конструкции, находящейся под действием не изменяющихся во времени (статических) силовых воздействий.

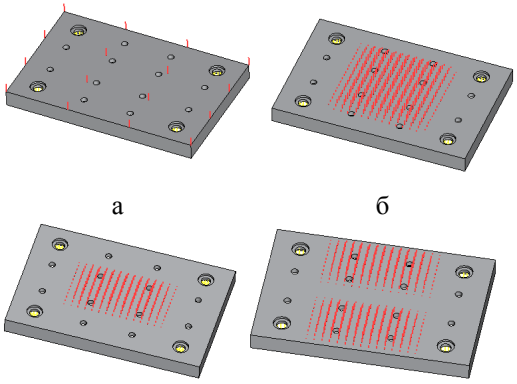
При проведении статического прочностного анализа верхней платы силоизмерительной платформы, в программном продукте T-FLEX, средствами модуля «Анализ» на 3D модель платы прикладывались нагрузки величиной 3кН, распределённые на заданной площади.

Анализ проводился для верхней платы с тремя вариантами расположения ребер жесткости (рис. 2). Толщина стенки h верхней платы изменялась в пределах от 15 до 40 мм. Минимальное значение толщины стенки рассчитано в соответствии с габаритами выбранных датчиков. Толщина рёбер выбрана равной толщине стенки.



а б в

Рис. 2. Верхняя плата с различными вариантами расположения ребер жесткости: а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3



а б в г

Рис. 3. Верхняя плата с различными вариантами распределенной нагрузки: а – нагрузка распределенная равномерно по всей поверхности; б – нагрузка в центре в виде квадрата; в – нагрузка в центре в виде прямоугольника; г – нагрузка в виде двух областей

Таблица 1

Результаты анализа верхней платы

h, мм	Деформации эквивалентные	Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям	Напряжения эквивалентные, Н/м^2	Модуль перемещения, м
Нагрузка распределенная равномерно по всей поверхности (рис. 3, а)				
15	$1.7\cdot10^{-7} – 1.3\cdot10^{-4}$	$34 – 2.3\cdot10^{4}$	$1.4\cdot10^{4} – 1.11\cdot10^{7}$	$0 – 2.40\cdot10^{-5}$
20	$1.9\cdot10^{-7} – 1.2\cdot10^{-4}$	$36 – 2.1\cdot10^{4}$	$1.5\cdot10^{4} – 9.64\cdot10^{6}$	$0 – 1.69\cdot10^{-5}$
30	$1.4\cdot10^{-7} – 1\cdot10^{-4}$	$41 – 2.8\cdot10^{4}$	$1.1\cdot10^{4} – 8.36\cdot10^{6}$	$0 – 8.86\cdot10^{-6}$
40	$8.3\cdot10^{-8} – 7.9\cdot10^{-5}$	$56 – 4.7\cdot10^{4}$	$6.87\cdot10^{3} – 6.5\cdot10^{6}$	$0 – 5.18\cdot10^{-6}$
Нагрузка в центре в виде квадрата (рис. 3, б)				
15	$2.2\cdot10^{-7} – 2.1\cdot10^{-4}$	$18 – 1.7\cdot10^{4}$	$1.8\cdot10^{4} – 1.73\cdot10^{7}$	$0 – 4.6\cdot10^{-5}$
20	$2.5\cdot10^{-7} – 1.9\cdot10^{-4}$	$20.66 – 1.6\cdot10^{4}$	$2\cdot10^{4} – 1.5\cdot10^{7}$	$0 – 3.31\cdot10^{-5}$
30	$2.6\cdot10^{-7} – 1.9\cdot10^{-4}$	$20.68 – 1.5\cdot10^{4}$	$2.1\cdot10^{4} – 1.55\cdot10^{7}$	$0 – 3.3\cdot10^{-5}$
40	$1.1\cdot10^{-7} – 1.3\cdot10^{-4}$	$30.27 – 3.6\cdot10^{4}$	$8.97\cdot10^{3} – 1.1\cdot10^{7}$	$0 – 1\cdot10^{-5}$

Окончание табл. 1

h, мм	Деформации эквивалентные	Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям	Напряжения эквивалентные, Н/м^2	Модуль перемещения, м
Нагрузка в центре в виде прямоугольника (рис. 3, в)				
15	$3.7\cdot10^{-7} – 2.1\cdot10^{-4}$	$17.84 – 1.06\cdot10^{4}$	$3\cdot10^{4} – 1.79\cdot10^{7}$	$0 – 4.84\cdot10^{-5}$
20	$2.8\cdot10^{-7} – 1.9\cdot10^{-4}$	$20.19 – 1.39\cdot10^{4}$	$2.3\cdot10^{4} – 1.6\cdot10^{7}$	$0 – 3.4\cdot10^{-5}$
30	$1.6\cdot10^{-7} – 1.7\cdot10^{-4}$	$22.49 – 2.4\cdot10^{4}$	$1.35\cdot10^{4} – 1.42\cdot10^{7}$	$0 – 1.85\cdot10^{-5}$
40	$1.1\cdot10^{-7} – 1.3\cdot10^{-4}$	$29.69 – 3.5\cdot10^{4}$	$9.1\cdot10^{3} – 1.07\cdot10^{7}$	$0 – 1.06\cdot10^{-5}$
Нагрузка в виде 2 областей (рис. 3, г)				
15	$1.7\cdot10^{-7} – 1.9\cdot10^{-4}$	$20.91 – 2.3\cdot10^{4}$	$1.4\cdot10^{4} – 1.53\cdot10^{7}$	$0 – 3.79\cdot10^{-5}$
20	$2.5\cdot10^{-7} – 2\cdot10^{-4}$	$19.42 – 1.6\cdot10^{4}$	$2\cdot10^{4} – 1.6\cdot10^{7}$	$0 – 2.9\cdot10^{-5}$
30	$1.6\cdot10^{-7} – 1.7\cdot10^{-4}$	$23 – 2.4\cdot10^{4}$	$1.3\cdot10^{4} – 1.39\cdot10^{7}$	$0 – 1.48\cdot10^{-5}$
40	$1.2\cdot10^{-7} – 1.3\cdot10^{-4}$	$29.95 – 3.3\cdot10^{4}$	$9.6\cdot10^{3} – 1.1\cdot10^{-7}$	$0 – 8.7\cdot10^{-5}$

В таблице 1 представлены результаты проведенного анализа, при распределенных нагрузках для варианта 1 (рис. 2, а). Видно, что полученные коэффициенты запаса для различных вариантов верхней платы больше единицы, следовательно, соблюдается условие прочности конструкции. Из полученных значений эквивалентных напряжений следует, что используемый материал при проведении анализа позволяет конструкции выдерживать максимально-возможные нагрузки и при этом остается большой запас прочности. Деформация конструкции при максимальной нагрузке незначительна и не повлияет на ее работоспособность.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что конструкция верхней платы удовлетворяет техническим требованиям. Поэтому из соображения экономии материала, облегчения конструкции и простоты изготовления производится выбор в пользу варианта верхней платы с толщиной стенки 15 мм обладающей наименьшей массой (рис. 2, а).

Список литературы

1. Денисова А.А. Многокомпонентная биометрическая силоизмерительная платформа // XVI международная научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник трудов. Том 2. – Томск, НИТПУ, 2010, с. 25 – 27
2. http://www.kistler.com

ДВУХРЕЖИМНОЕ МОМЕНТНО-ДЕМПФИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, ПРИМЕНЯЕМОЕ В ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Морозов Д.А.

Научный руководитель: Дмитриев В. С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: m_diman@mail.ru

Большое разнообразие конкретных технических задач, возникающих перед разработчиками систем ориентации космических аппаратов (КА), привело к созданию множества типов этих систем, а, следовательно, и их функциональных узлов, в том числе и исполнительных органов (ИО). Данная работа посвящена разработке моментно-демпфирующего устройства (МДУ) которое может быть использовано в ИО, функциональная схема которого представленного на рис. 1.

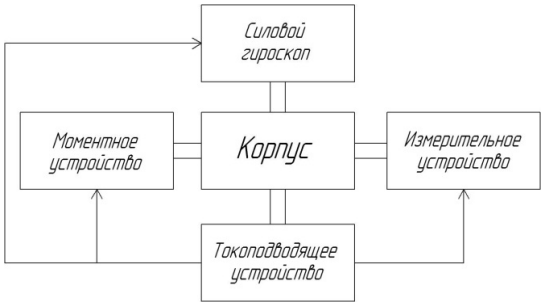


Рис. 1. Структурная схема ИО:
– электрическая связь; = механическая связь

Применение определенного типа ИО зависит от задач, которые решаются системой ориентации. По способу формирования управляющего момента их можно разделить на два больших класса: активные и пассивные [1].

У ИО активного типа управляющий момент формируется регулированием угловой скорости гиромаховика или изменением углов рамок карданова подвеса с помощью активных моментных устройств, т.е. для программного изменения углового положения КА требуется затрата определенного количества энергии.

У ИО пассивного типа моментные устройства развивают стабилизирующий момент за счет их естественной реакции на угловое движение КА. Поэтому расход энергии у данного типа исполнительного органа минимальный и связан только с поддержанием постоянной угловой скорости гиромаховика.

Каждый из этих типов исполнительных органов обладает своими достоинствами и недостатками. Активные – менее экономичны, но зато они

более гибки в управлении, так как здесь имеется возможность прямого регулирования и управления, т.е. они обладают большими функциональными возможностями и могут использоваться в многорежимных системах ориентации. В то же время кинематика и конструкция ИО активного типа значительно сложнее.

В состав ИО на базе силовых гироскопов также входят датчики углов, измеряющие углы отклонения вектора Н относительно выбранной системы координат.

Принцип создания управляющих моментов в исполнительных органах основан на законах, рассматриваемых в прикладной теории гироскопов [2].

В зависимости от выполняемых функций, которые определяются типом системы ориентации, входящие в ИО узлы имеют различное назначение и соответствующую структурную схему (рис. 1).

Измерительное устройство является датчиком угла любого типа, а токоподводящее устройство представляет собой токоподводы, которые служат для подвода электрической энергии ко всем функциональным узлам ИО.

Силовой гироскоп, представляющий собой электродвигатель с маховой массой, является основным функциональным узлом исполнительного органа и определяет во многом его технические характеристики.

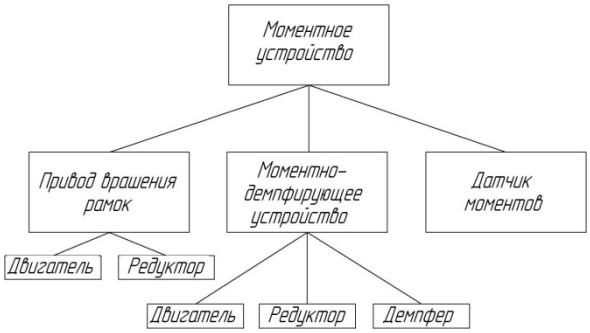


Рис. 2. Структурная схема моментного устройства

Моментное устройство может быть либо датчиком моментов, либо приводом вращения рамок, состоящим из электродвигателя и редуктора, либо МДУ (рис. 2). Привод вращения рамок позволяет создавать вектор угловой скорости, моментное устройство задает вектор момента, а МДУ представляет собой моментное устройство на оси подвеса которого дополнительно устанавливается демпфирующее устройство, и по этой оси возможно создавать управляющий момент [3]. Кроме того МДУ является двухрежимным функциональным устройством, которое может работать как датчик момента так и в качестве демпфера.

В настоящей диссертационной работе рассматривается МДУ (рис. 3), которое может работать в двух режимах: в первом – при работе электродвигателя на выходе выдаётся управляющий момент, во-втором – при отключенном электродвигателе МДУ работает как демпфирующее устройство.

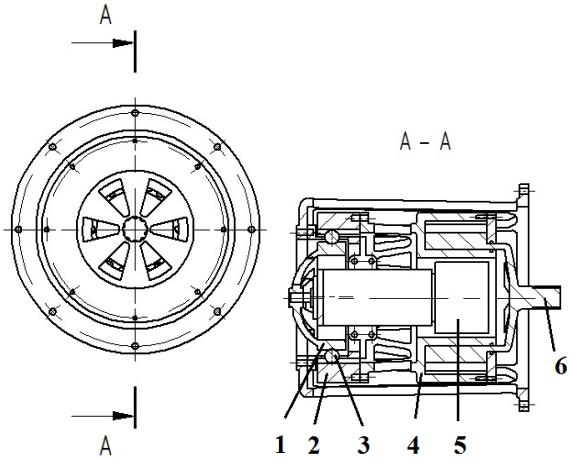


Рис. 3. МДУ – 2D чертеж: 1 – эксцентрик; 2 – зубчатое колесо; 3 – шарики; 4 – корпус демпфера; 5 – электродвигатель; 6 – выходной вал

Разрабатываемое оригинальное МДУ состоит из таких функциональных узлов как: электродвигатель, волновой редуктор с промежуточными телами качения и демпфера вязкого трения (рис. 4).

Выбранный двигатель ДПР-3 с регулятором скорости РС-4-08 развивает номинальный момент равный 2,94 мН·м, и скорость до 3000 оборотов в минуту.

Спроектированный редуктор обеспечивает передаточное число равное 100.

В демпфере вязкого трения используется демпфирующая жидкость ПМС-1000 обладающая вязкостью 950–1000 сСт и плотностью 0,91–0,98 г/ см^3.

Тем самым разработанное МДУ при коэффициенте демпфирования равным 0,295 Н·м·с обеспечивает момент на выходном валу в пределах 0,0005–0,5 Н·м.

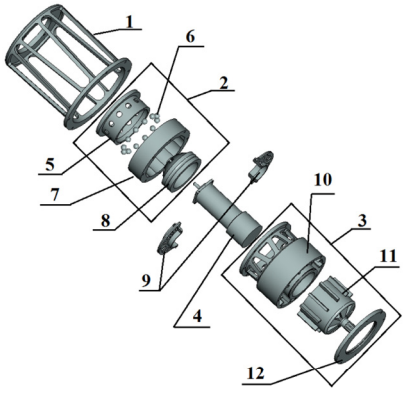


Рис.4. МДУ – 3D модель в разобранном виде: 1 – корпус; 2 – редуктор; 3 – демпфер; 4 – электродвигатель; 5 – обойма; 6 – шарики; 7 – зубчатое колесо; 8 – эксцентрик; 9 – крепеж; 10 – корпус; 11 – выходной вал; 12 – крышка

Список литературы

1. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск, 2000.
2. Никитин Е.А. Гироскопические системы ч.III. Элементы гироскопических приборов. / Под ред. Д.С. Пельпора. – М.: Высш. шк., 1972.
3. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Станько Э.Д. и др. Электромеханический исполнительный орган с моментно-демпфирующим устройством// Системы электроснабжения автономных объектов. – Томск, 1986.

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ФАЗОВЫЙ СПОСОБ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Никонов В.А.

Научный руководитель Никонов А.В., д.т.н., профессор

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: bazil83@mail.ru

При дефектоскопии применяются детерминисткие или статистические алгоритмы восстановления пространственно-временной информации, использующие различные критерии качества восстановления. Применяются подсистемы интерпретации результатов восстановления, по сути представляющая собой подсистему идентификации или распознавания объектов.

При формировании радиоизображения объекта создаются электродинамические модели в пространственно-временной или пространственно-частотной области. Рассматривая подсистему интерпретации результатов восстановления, нужно указать на необходимость рассмотрения того, как в модели отражается изменение некоторого контрольного параметра зондирующего сигнала в среде; как в модели отражается процесс изменения контрольного параметра при рассеивании зондирующего сигнала объектом; как в модели отражается процесс передачи контрольного параметра при распространении рассеянного электромагнитного поля к точке его приёма.

Несмотря на достижения в области зондирования недоступных объектов в нашей стране и за рубежом, существуют проблемы, подлежащие решению. Радарное изображение не отличается точностью и чёткостью. Известные способы не обеспечивают требования к погрешности не более 5–10 % (от глубины зондирования) в определении геометрических параметров объекта и параметров его электрофизических характеристик. Использование импульсного зондирования для решения широкого круга задач дефектоскопии (контроля) сдерживается недостаточной достоверностью обнаружения и диагностики объектов, низкой точностью определения их параметров.

Существует необходимость разработки нового способа, алгоритма и программного обеспечения для решения задачи реконструкции и оценки значений геометрических и электрофизических характеристик сред и объектов по результатам сверхширокополосного (СШП) зондирования.

Эксперимент и моделирование показывают, что сдвиг фазы отражённого сигнала зависит от формы объекта и значений его электрофизических характеристик. Используя фазовый сдвиг отражённого сигнала в качестве информативного параметра, можно проводить как распознавание объекта, так и определять его геометрические размеры и другие параметры.

Оценивая изменение фазы отражённого сигнала, можно создать алгоритм оценки параметров объекта и последующего его распознавания с очень высокой чувствительностью и по геометрическим координатам, и по изменениям формы, и по физическим и химическим свойствам. Особенно, если этот алгоритм будет использовать работу по приращениям.

Известно, что при наличии нескольких источников отражённых электромагнитных волн картина создаваемого результирующего поля существенно усложняется. Эта проблема может решаться именно относительным способом, когда на первом этапе зондирования устанавливается начальное значение радиосцены СШП-локации. На втором этапе вводится приращение в контрольный параметр зондирующего сигнала, и затем оценивается изменение этой добавки в отражённом сигнале.

Такой способ позволяет учесть систематическую составляющую влияния среды и объекта на зондирующий сигнал. Чувствительность объекта к контрольному параметру зондирующего сигнала проявится на приёмной стороне. Крутизна влияния конкретного параметра объекта на контрольный сигнал определит значение информативного атрибута в точке приёма и позволит оценить те или иные характеристики объекта.

Проведённые оценки показали, что нейросети прямого распространения являются универсальным средством аппроксимации функций, что позволяет их использовать в решении задач классификации. Это наиболее эффективный способ классификации в связи с генерацией большого количества регрессионных моделей, которые используются в решении задач классификации.

Реализация предлагаемого способа опирается на следующее утверждение. Если зондирование происходит периодической последовательностью импульсов с большой частотой следования (период стремится к нулю) и с малой длительностью фронта (имеющей очень широкий спектр – большое, стремящееся к бесконечности число гармоник), то можно заключить, что размер зоны Френеля стремится к нулю и амплитуда поля в точке наблюдения будет изменяться при малейшем изменении размеров, формы и физико-химических параметров объекта. Любое изменение характеристик объекта обязательно отражается на амплитуде и фазе гармоник (особенно высших) импульсного зондирующего сигнала.

Указанные изменения возможно оценить, фиксируя значение напряжённости электрического поля в точке наблюдения. При плоском фронте волны модуль напряжённости электрического поля в точке наблюдения определится известной интерференционной формулой: поле в точке приёма является результатом интерференции полей прямой волны и волны, отражённой от объекта.

Но при неровной и неоднородной отражающей поверхности законы геометрической оптики не дают достоверной картины: вычисленная амплитуда напряжённости электрического поля в точке наблюдения несёт в себе погрешность, так как длины пути от двух точек переизлучения до точки наблюдения не одинаковы.

Тем более, при вычислении фазы φ поля в точке наблюдения, допущение геометрической оптики делать нельзя, т. к. $\varphi = (2\pi/\lambda)l$: различная длина пути l приводит к нарушению синфазности двух волн в точке наблюдения (несоблюдение принципа первой зоны Френеля).

В качестве прототипа для предлгаемого способа принят относительный метод: после фиксации отклика от первого зондирующего воздействия, вводится калиброванное изменение параметра в зондирующем сигнале при втором зондировании, и затем, после приёма сигнала второго зондирования, оцениваются изменения, привнесённые объектом в калиброванное изменение параметра зондирующего сигнала. В этих изменениях проявятся свойства объекта. Влияние свойств среды и методических погрешностей алгоритма зондирования будут минимизированы.

Целесообразность такого способа подтверждается уходом от громоздкости и сложности процесса получения радиоизображения, описанного в [1]. В то же время, простые методы, применяемые при решении обратных задач, рассматривают объекты как идеально проводящие тела в свободном пространстве. Но по [2], строгое решение обратной задачи даже для идеально проводящего тела базируется на расчёте суммарного поля внутри некоторой области и отыскание таких точек, в которых суммарное поле обращается в ноль. Для этого требуется очень большой объём вычислений, и при наличии шумов в отражённом поле резко увеличивается погрешность определения свойств объектов. Расчётные выражения для теневой области являются приближёнными. Формулы ведут к простым алгоритмам только для тел, обладающих осью симметрии и облучаемых вдоль этой оси. Для тел, у которых ось симметрии отсутствует, алгоритмы восстановления существенно усложняются, а сами формулы справедливы, если объект находится в свободном пространстве и является идеально проводящим телом.

Задачи восстановления формы и свойств тел с потерями и диэлектрических тел в средах с потерями существенно усложняются.

Теоретическое обоснование способа базируется на том, что выражение для поверхностных токов на замкнутой проводящей поверхности даёт решение интегрального уравнения для магнитного поля, в котором имеется слагаемое, отражающее влияние токов в других точках поверхности на ток в точке наблюдения. Поскольку влияние других токов на ток в точке наблюдения запаздывает на время R/c (R – отклонение радиус-вектора точки наблюдения от радиус-вектора текущей точки интегрирования), это позволяет утверждать о влиянии на фазу отражённого сигнала как формы, так и физико-химических свойств объекта. Взаимодействие излучения с веществом сводится к совокупности процессов рассеяния, поглощения и генерации электромагнитного излучения. Тогда при импульсном зондировании спектр падающего сигнала изменится, так как некоторая полоса частот в его спектре при прохождении через слой вещества ослабится из-за поглощения и рассеяния.

Поэтому алгоритм определения значения интегральной импульсной характеристики зондируемой среды $h_{ИНТЗСР}$, состоит из двух этапов. Первый этап: формируется импульсный СШП сигнал с регулируемыми параметрами, и амплитуда и фаза n-й гармоники импульсного сигнала с установленными параметрами фиксируется в радаре. Указанные параметры сформированного сигнала могут быть просто рассчитаны без привлечения средств измерений. Среда зондируется импульсом с установленными параметрами.

Второй этап: формируется СШП сигнал с регулируемыми параметрами, сдвинутый во времени относительно импульса в первом этапе на интервал времени Δt. То есть, n-я гармоник получила сдвиг $n\Delta\varphi$. По полученным изменениям амплитуды и фазы n-й гармоники принятого сигнала рассчитывается конкретное значение интегральной импульсной характеристики зондируемой среды $h_{ИНТЗСР}$. Среда вносит изменения в параметры рассеянного сигнала относительно излучённого, что ведёт к проявлению её импульсной характеристики в указанных изменениях.

Такой способ не требует калибровки по эталонной цели, а параметры зондирующего сигнала задаются в формирователе импульсов. Меняя фазовый сдвиг, можно подробно исследовать обнаруженный объект. Так как оценка импульсной характеристики среды проводится по изменениям параметров высших гармоник, то необходимо задавать значение $\Delta\varphi$ в диапазоне десятых–сотых долей градуса. Анализ результатов теоретических исследований и практических разработок в области задания фазового сдвига подтверждают возможность решения поставленных задач путём применения систем ФАПЧ: при тактовой частоте 1 ГГц практически задаётся фазовый сдвиг с погрешностью не более $0{,}1^{O}$ (временной сдвиг задаётся с погрешностью не более 280 фс).

Список литературы

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред А.Ю. Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
2. Joung J.D. Target imaging multiple frequency radar returns. – IEEE Trans., 1976, v. AP-24, № 3, p.p. 276–278.

РЕАЛИЗАЦИЯ SAFT-АЛГОРИТМА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ

Носков Н.Н., Шестаков В.В.

Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор

ИНК ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: noskov.nikolay@mail.ru

Наиболее чувствительное акустико-оптическое изображение основывается на точечном пьезоэлектрическом сканировании изображаемого распределения звукового давления и последующем электронном формировании изображения [1]. Техника синтетической фокусировки апертуры (Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) относится к методам визуализации изображения внутренних структур при проведении контроля по средствам сканирования ультразвуковыми импульсами. Она применяется для получения изображения внутренней структуры объекта контроля по эхосигналам, полученным при перемещении пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) по доступной для ввода ультразвука поверхности.

В данной работе предлагается реализация SAFT-алгоритма для проведения лабораторных исследований и дальнейшей модернизации алгоритма для практического применения. Для этого применяются: ультразвуковой тракт «ТРАК», прямой ультразвуковой преобразователь и программный модуль для получения данных с УЗ тракта, разработанный в среде разработки Borland Delphi. Так же рассмотрены некоторые варианты локализации и определения пространственного положения отражателей (дефектов).

Контролируемый объект сканируется искателем с широко раскрытым звуковым пучком (например, с траекторией перемещения в форме меандра). Высокочастотные эхо-импульсы преобразуются в цифровую форму и запоминаются в виде трехмерного массива из значений амплитуд полученных сигналов A(x,y,z). Для подобного сканирования необходимо организовать координатную привязку сканирующего луча[2]. В нашем случае подобная привязка будет организована нанесением координатной сетки с шагом Δl на сканируемую поверхность.

После окончания сканирования цифровые эхо-импульсы перерабатываются следующим образом. Объем контролируемого изделия разбивается при помощи ЭВМ на элементарные объемы $P_m(x_i,y_j,z_k)$ (Voxels). Затем один элементарный объем за другим рассматривается как местонахождение отражателя, т. е. эхо-импульсы, измеренные при различных положениях искателя, корректируются различным сдвигом фаз $\Delta\varphi$ в зависимости от неодинакового расстояния до кубика, рассматриваемого в данный момент, и накладываются один на другой, т.е. проводится преобразование массива акустического изображения A(x, y, z) в массив значений отражательных способностей элементов объема $P_2(x_i,y_j,z_k)$:

$$\Sigma_{i=0}^{n} A_i(x,y,z) \rightarrow P(x_i,y_j,z_k).$$

Таким путем можно получить большие результирующие эхо-импульсы только для истинных мест нахождении отражателя вследствие усиливающей интерференции, а в других местах вследствие разрушающей (гасящей) интерференции этого не будет наблюдаться. В результате будет установлено соответствие определенного значения амплитуды для каждого кубика. Отсюда конструируется изображение. Объем контролируемого изделия изображается в трех измерениях. Процесс сканирования и вычислений имитирует при усиливающей интерференции преобразователь такого же размера, как и площадь сканирования с фокусирующей линзой, соответствующей глубине положения отражателя. Следовательно, апертура преобразователя (она пропорциональна его диаметру) и линза синтезируются самим процессом сканирования; отсюда и взято название– техника синтетической фокусировки апертуры (SAFT).

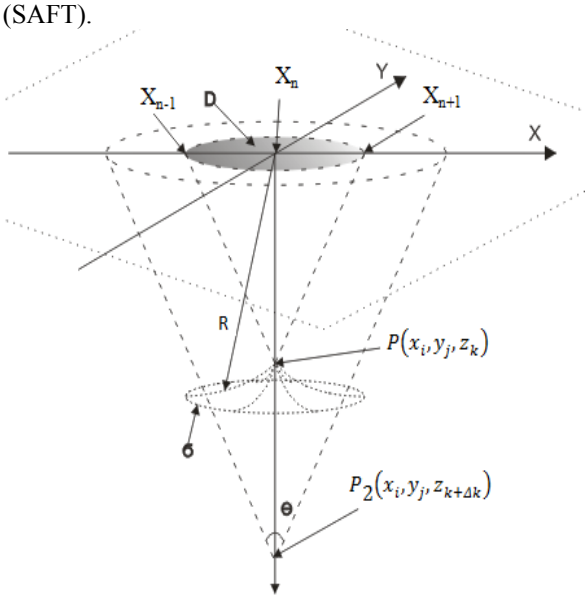


Рис. 1. Принцип предлагаемой реализации.

Разрешающая способность соответствует длине волны примененного ультразвука. Благода-

ря усреднению сигнала достигается большое отношение сигнал – шум. Недостатком является большое время вычислений, а так же продолжительность сканирования.

Фактически алгоритм работает с дискретными элементами пространства, однако обрисовки математической модели преобразования приведу интегральную форму преобразования массивов. Процесс «свертки» области акустического изображения в элемент $P(x_i,y_j,z_k)$ (Рисунок 1), представляющий собой значение относительной отражательной способности воксела заключается в интегрировании значений A(x,y,z), принадлежащих поверхности (σ):

$$P(x_i, y_j, z_k) = \iint\limits_{(\sigma)} A(x,y,z)d\sigma = \iint\limits_{(D)} A_1\big(x,y,z_k - \Delta\varphi(x,y)\big)dxdy,$$

где $(D): \left\{(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2 \le (z_k \cdot tg(\frac{\theta}{2}))^2\right\}$

Область интегрирования (D) изменяется в зависимости от глубины залегания z_k условного отражателя. Так же из рисунка 1 легко можно определить корректирующий сдвиг фаз Δφ в зависимости от различного расстояния до отражателя:

$$\Delta\varphi(x,y) = \sqrt{(x-x_i)^2 + \big(y-y_j\big)^2 + z_k^2} - z_k$$

Более полно формула SAFT-преобразования будет выглядеть с учетом затухания ультразвука в среде следующим образом:

$$P(x_i,y_j,z_k) = \left[\iint_{(D)} A_1(x,y,2\cdot z_k - \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_j)^2+z_k^2})dxdy\right] e^{\delta\cdot z_k} \quad (1)$$

Формула (1) является основной рабочей формулой для реализации данной работы. Большой сложностью для реализации данного алгоритма является отсутствие преобразователя с широкой диаграммой направленности. Решением может послужить применение рассеивающих линз, либо работа на больших глубинах в дальней зоне [3]. Так же проблемно отсутствие четкой аппаратно реализованной координатной привязки. Реализация одного из вариантов подобного устройства на основе оптического преобразователя будет рассмотрена в другой статье.

Рассмотрим некоторые варианты расположения дефектов, которые являются проблематичными для обнаружения при работе, например, с прямым совмещенным преобразователем:

1. Дефекты расположены друг под другом, как на рисунке 1. Точки P и P_2 являются маленькими одинаково отражающими во все стороны дефектами. В этом случае при нахождении ПЭПа над дефектом, отражатель, находящийся глубже, не индицируется на диаграмме, однако при наложении сигналов, результирующая достаточно четко определяет локацию дефекта.

На рисунке 2 представлены эхо-импульсы с различных положений преобразователя (для простоты изображено только три точки и только по одной оси).

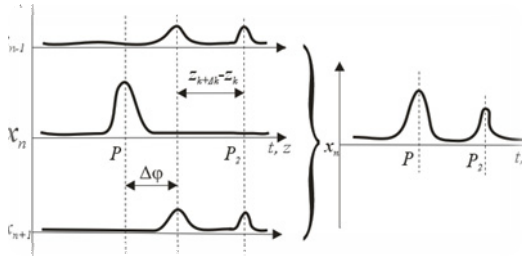


Рис. 2. Эхо-импульсы от дефектов расположенных друг под другом

Естественно существует предельно расстояние между отражателями при котором они перестают различаться. Это расстояние определяется в основном углом раскрытия звукового поля искается θ.

2. Ситуация такая же как и в первом случае только нижний дефект представляе собой протяженную трещину ориентированную вдоль направления УЗ импульса из точки x_{n+1}

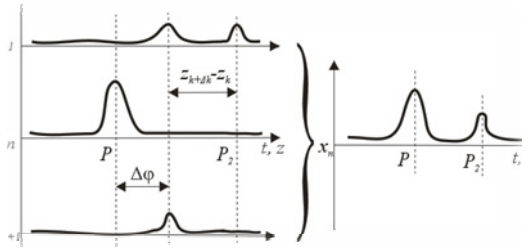


Рис. 3. Эхо-импульсы от дефектов расположенных друг под другом. Один из дефектов- трещина ориентированная вдоль УЗ луча из одной из позоций преобразователя

Данная работа показывает, что всвязи с минимизацией габаритов вычислительных устройств и увеличение доступных объемой памяти в сосвременных микроконтроллерах рассмотренный алгоритм после определенной модернизацииможе быть аппаратно реализован в переносных УЗ дефектоскопах.

Список литературы

1. Dussik, K. Th. : Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostische Hilfsmittel zu verwerten. Z. ges. Neur. Psych. 174 (1942) 153–168.
2. Крауткремер, Йозеф. Ультразвуковой контроль материалов : Справочник; пер. с нем. / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – М. : Металлургия, 1991. – 750 с.
3. Капранов Б.И., Коротков М.М. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ УЗ ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСОРА

Носков Н.Н., Шестаков В.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Капранов Б.И

Институт неразрушающего контроля Томского политехнического университета
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: noskov.nikolay@mail.ru

Существует большое количество методов визуализации акустических изображений, таких как SAFT, SAFT-C (SAFT with Combination), метод проекции в спектральном пространстве, метод временных доменов, метод частотных доменов и т.д. [1]. Однако для построения томографического изображения (секущая поверхность или объемная модель) требуется координатная привязка УЗ преобразователя. Существуют образцы, основанные на применении механических сканеров, а также аппаратура, представляющая собой приставки к обычным дефектоскопам и предполагающая одновременное использование двух или более электронных блоков, так же системы акустической локации [2]. Однако они имеют ряд недостатков: сложность монтажа, эксплуатации или же как в случае с акустической локацией нестабильная работа – для нарушения акустического контакта достаточно легкого сквозняка.

В данной статье рассматривается возможность создания подобной системы на основе сенсора, применяемого в оптических компьютерных мышках. А именно применение сенсоров с маркировками ADNS-3060 и ADNS-2610. Само устройство представляет собой сенсор соразмерный с УЗ преобразователем, прикрепляемый к последнему. Обмен данными о перемещении с вычислительным блоком осуществляется через USB интерфейс, где при помощи программного модуля, разработанного для реализации SAFT-алгоритма, приводится в соответствие данных с положением УЗ преобразователя на сканируемой поверхности.

С помощью светодиода, и системы фокусирующих его свет линз, под мышью подсвечивается участок поверхности. Отраженный от этой поверхности свет, в свою очередь, собирается другой линзой и попадает на приемный сенсор микросхемы – процессора обработки изображений. Этот чип, в свою очередь, делает снимки поверхности под мышью с высокой частотой (кГц). Причем микросхема (назовем ее оптический сенсор) не только делает снимки, но сама же их и обрабатывает, так как содержит две ключевых части: систему получения изображения Image Acquisition System (IAS) и интегрированный DSP процессор обработки снимков.

На основании анализа череды последовательных снимков (представляющих собой квадратную матрицу из пикселей разной яркости), интегрированный DSP процессор высчитывает результирующие показатели, свидетельствующие о направлении перемещения мыши вдоль осей X и Y, и передает результаты своей работы вовне по последовательному порту.

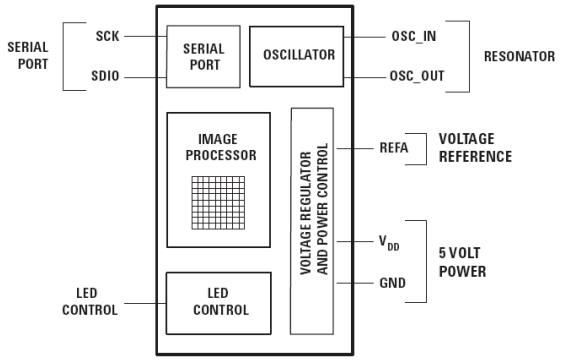


Рис. 1. Блок-схема сенсора оптической мыши ADNS-2610

В технической документации на сенсоры представлена принципиальная схема устройства оптической мыши на ADNS-2610 и ADNS-3060. Разрабатываемое устройство слежения не принципиально не отличается от оптической мыши- удалены за ненадобностью кнопки и колесо прокрутки.

При проведении УЗ контроля должен обеспечиваться необходимый акустический контакт, т.е. поверхность должна иметь шероховатость не хуже Rz 40. Значит устройству позиционирования прийдется работать на поверхностях вплоть до зеркальных. Оптические мыши с подсветкой светодиода не обеспечивают стабильного слежения перемещений на подобных поверхностях. Однако мышки с источниками когерентного излучения способны дать изображение достаточной резкости (рис. 2) и могут работать на подобных поверхностях без проблем.

Основные параметры оптического сенсора ADNS-3060: допустимая максимальная скорость перемещения манипулятора (40 дюймов/с), допустимое ускорение (почти 150 м/с^2), частота осуществления снимков (6400 кадров/с), «Разрешение» оптического сенсора может составлять 400 или 800 cpi. Этих значений более чем достаточно для

применения этого сенсора в решении обозначенной задачи.

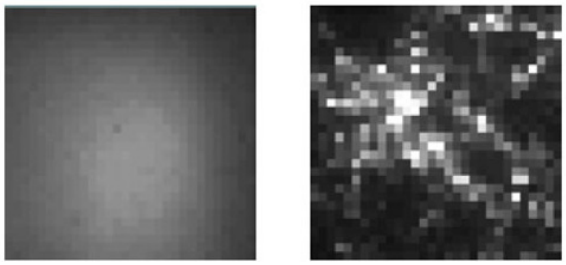


Рис. 2. Изображения полученные с разными оптическим системами (слева- LED, справа- лазер)

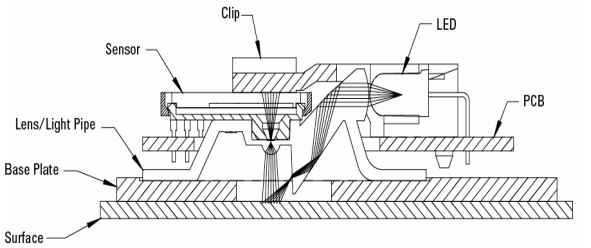


Рис. 3. Устройство оптической системы на основе ADNS-6030

Конструктивно координатный датчик может выполняться в одном корпусе с УЗ преобразователем, либо как съемный элемент. Однако в обоих случая необходимо выдерживать расстояние от элемента Lens до отражающей поверхности под датчиком, которое должно попадать в диапазон от 2,3 до 2,5 мм.

Программно общение возможно при использовании драйверов для оптических мышей, либо специально написанного программного модуля, в котором ставится в соответствие вычисленное в микросхеме перемещение с реальным изменением положения в мм.

Следует проверить способность сенсоров четко отслеживать координату на металлических поверхностях с различными значениями шероховатости.

Возможно возникновение скачкообразных изменений координаты из-за различных дефектов поверхности. Это можно видеть из рисунка 4, на котором приведено изображение герба 50-ти рублевой купюры, полученное сканированием оптической системы на основе датчика ADNS- 2051.

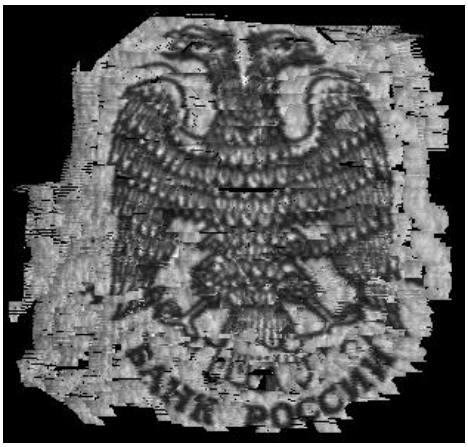


Рис. 4. Изображение полученное сканированием оптической мышью

Эту проблемы возможно решить при помощи подключения второго оптического сенсора немного развернутого в сканируемой плоскости. Это позволит снизить вероятность подобных скачков как минимум вдвое, однако увеличит габариты самого устройства, что можно исправить перекомпоновкой структурных элементов устройства, а именно источников подсвечивающего излучения. Применение источников когерентного излучения для подсвечивания сканируемой поверхности так же снизит количество подобных ошибок.

Таким образом при определенных доработках подобная оптическая система может стать вспомогательным устройством для формирования различных изображений при проведении УЗ контроля материалов.

Список литературы

1. Давыдов Е.А., Радько В.П. Компьютеризированная технология НК для определения размеров несплошностей сварных соединений ответственных конструкция методом синтезировано фокусирующей апертуры// Техническая диагностика и неразрушающий контроль 2003. №2 с. 32-35.
2. Пасси Г.С. Современная аппаратура для ультразвукового контроля металлоконструкций// В мире неразрушающего контроля 2003г, №1
3. Data subject to change. Copyright © 2007 Avago Technologies Pte. All rights reserved. Obsoletes 5989-3421EN AV02-0117EN – January , 2007
4. Data subject to change. Copyright © 2001 Agilent Technologies, Inc. May 29, 2001 Obsoletes 5968-6591E 5988-3136EN

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Овчинников П.Г., Силушкин С.В.

Научный руководитель: Муравьев С.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ovchinnikov.p.g@mail.ru

Введение

Начиная со второй половины 20-го века, когда были предложены индикаторы, изменяющие цвет в зависимости от присутствия того или иного вещества (например, индикаторы концентрации водородных ионов или индикаторы металлов), началось использование цветометрической информации в химическом анализе. Это уникальное свойство индикаторов – изменять цвет при взаимодействии с определенным химическим элементом, – нашло применение в количественном анализе.

В последнее десятилетие активно развиваются методы количественного цифрового цветометрического анализа (ЦЦА), в которых в качестве индикаторов используют оптические сенсоры на бумажной основе или другие непрозрачные сенсоры [1].

Для разрабатываемого метода ЦЦА [2] были использованы оптические датчики (оптоды) на основе оптически прозрачных полимеров [3], что дает преимущество по отношению к непрозрачным сенсорам: позволяет достигать большей чувствительности; обеспечивает эффективность цветометрических измерений во всем динамическом диапазоне.

Постановка задачи

Измерение микроколичеств веществ при твердофазной спектрометрии с использованием оптодов требует полноценного анализа полученных результатов. Для проведения достаточно быстрых по времени процедур измерения и обработки большого количества данных необходимо соответствующее программное обеспечение (ПО).

Как правило, компании производящее ПО для определения цветовых координат используют стандартные алгоритмы, которые не позволяют автоматизировать процесс измерения. При этом возникает потребность в дополнительных программных продуктах для достижения поставленной цели – нахождения концентрации вещества.

Решение этих проблем сводится к созданию единого программного комплекса с необходимыми приложениями.

Используемое оборудование и ПО

Для измерения цветовых координат оптодов использована оценочная плата с RGB-датчиком MCS3AS фирмы MAZeT (Германия).

Разработка программного обеспечения проводится в графической среде программирования компании National Instruments «LabVIEW v. 2009». Используются специализированные приложения VISION и MathScript.

Описание решения

Для определения микроколичеств веществ в жидких средах (питьевая и минеральная вода, лекарственные препараты и пр.) используется разработанный ЦЦА [4]. Данная методика требует не только аппаратного решения [5], но и комплекс ПО с возможностью анализа цветометрического сигнала от оптода.

В колориметрии цвет может быть представлен в моделях: *RGB*, *HSL*, *CIE Lab*, *XYZ* [6] и др.

Проведенные исследования и математические расчеты показали, что для ЦЦА информацию о цвете имеет смысл представлять в *RGB*-пространстве [1, 7].

Разработанный виртуальный прибор (ВП) «Digital Color Analyzer» (Цифровой анализатор цвета) представлен на рис. 1.

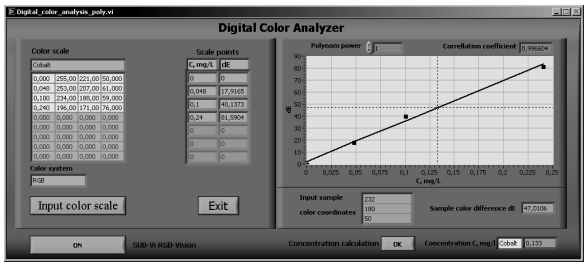


Рис. 1. ВП «Digital Color Analyzer»

Анализатор позволяет не только рассчитывать цветовую разницу, но и выбирать метод аппроксимации (линейная или полиномиальная), для этого необходимо указать коэффициент полинома в окошке «Polynom power». Работа ВП:

1. Из файла загружаются опорные точки цветовой шкалы. Координаты шкалы пересчитываются в цветовую разницу и отображаются в виде точек кривой на экране осциллографа. Пользователь выбирает варианты аппроксимации, ориентируясь

на значение коэффициента корреляции – «Correlation coefficient».

2. Вводя данные для определяемого элемента в поле «Input sample color coordinates», автоматически рассчитывается цветовая разница (окно «Sample color difference, dE»). Для нахождения концентрации элемента необходимо нажать кнопку «Concentration calculation». Дополнительные данные можно получить, вызвав программу обработки изображения (рис. 1) – кнопка «Sub-VI RGB-Vision».

Для проверки алгоритмов использовались экспериментально полученные данные из [4].

С помощью анализатора была проведена оцифровка оптодов, построены градуировочные кривые для определения концентраций кобальта (Co).

В разработанной программе реализуется предложенный метод определения микроколичеств веществ по цветовой разнице (*dE*) [8]. ВП использует алгоритм нахождения концентрации (*C*) с построением градуировочной кривой *C=f*(*dE*) и аппроксимацией этой зависимости, рис. 2.

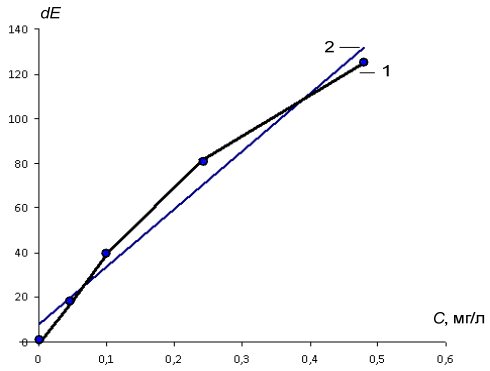


Рис. 2. Калибровочная кривая для определения Co:
1 – кривая по экспериментальным данным;
2 – линейная аппроксимация этой кривой

Результаты

Анализатор позволяет (рис. 1):

- отобразить шкалу и градуировочную характеристику;
- представить цветовую характеристику исследуемого оптода;
- сравнить объект со шкалой и вычислить цветовую разницу между ними;
- провести необходимую математическую обработку;
- определить концентрацию вещества в исследуемом объекте.

Заключение

Использование полимерных оптодов и предложенного метода ЦЦА дает следующие преимущества:

- цветометрической сигнал появляется после непродолжительного контакта полимерного оптода с анализируемым объектом и сохраняется длительное время;
- повышение чувствительности и селективности определения концентрации веществ за счет использования всей спектральной информации, а не единичного сигнала при определенной длине волны;
- получение цветометрической информации от сенсора обеспечивает эффективную компьютерную реализацию методик анализа состава веществ, глубокую математическую обработку и визуализацию результатов измерений.

ВП может быть дополнен необходимыми приложениями, что позволяет увеличивать его функциональные возможности с учетом требований заказчиков (химическая промышленность, медицина и др.). При таком подходе получаем комплекс ПО, который позволит избавиться от дополнительных, порой сложных в применении, программных продуктов (Adobe Photoshop, Statistica и др.) прочих производителей.

Список литературы

1. Амелин В. Г., Николаев Ю. Н., Ломоносов И. А., Алешин Н. С. Твердофазно-спектрофотометрический анализ природных вод с одновременной пробоподготовкой и динамическим концентрированием определяемых компонентов на реагентных целлюлозных матрицах. // Журнал Аналитической химии, 2010, том 65, № 5, с. 460–469.
2. Muravyov S.V., Gavrilenko N.A., Spiridonova A.S., Silushkin S.V. Digital color analysis for chemical measurements based on transparent polymeric optodes // ISMTII-2009: Proceedings of the 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments – Saint-Petersburg, Russia, 29 June-2 July 2009. – Saint-Petersburg: IMEKO, 2009. – с. 138-142.
3. Патент РФ 2272284 2004 от 16.09.2005. Индикаторный чувствительный материал для определения микроколичеств веществ (Гавриленко Н.А., Мокроусов Г.М.).
4. Muravyov S.V., Gavrilenko N.A., Spiridonova A.S., Silushkin S.V., Ovchinnikov P.G. Colorimetric scales for chemical analysis on the basis of transparent polymeric sensors. // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 238, No. 1, p. 012051, July 2010.
5. Силушкин С.В., Овчинников П.Г., Спиридонова А.С. Система цифрового цветометрического анализа // XVI-я Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ`2010». 12 – 16 апреля 2010 г. – Томск: ТПУ, 2010г., Том 1, стр. 243-244.
6. Джадд Д. и др. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978.
7. Байдичева О.В. Определение биологически активных веществ и контроль качества продукции методами, основанными на цифровом видеосигнале: Автореф. дис….канд. хим. наук. – Воронеж, 2009. – 18 с.
8. Sharma Ged 2003 Digital Color Imaging Handbook (Boca Raton: CRC Press).

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Охорзина. А. В, Китаева М. В., Суматохина К. В.,

Научный руководитель Юрченко А. В, д.т.н, профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ameba_89@mail.ru

В современном мире уделяется большое внимание использованию возобновляемых источников энергии. Одним из таких источников является солнечная энергия, которая характеризуется максимальной простотой использования, наибольшими ресурсами, экологической чистотой и повсеместным распространением.

Основным недостатком солнечной энергетики является высокая стоимость энергетических систем на его основе[1].

Снижение стоимости производства электроэнергии такими системами возможно за счет снижения стоимости фотоэлектрических моделей (ФМ) или повышения КПД.

Достаточно простым способом удешевления солнечных систем является повышение ее КПД с помощью системы слежения за солнцем. Такая система позволяет значительно увеличить эффективность и обеспечивает более равномерное генерирование электричества с восхода до захода солнца.

Для повышения КПД солнечных систем был разработан фотоэлектрический датчик (ФЭД), который использует принцип активных систем слежения за солнцем [2].

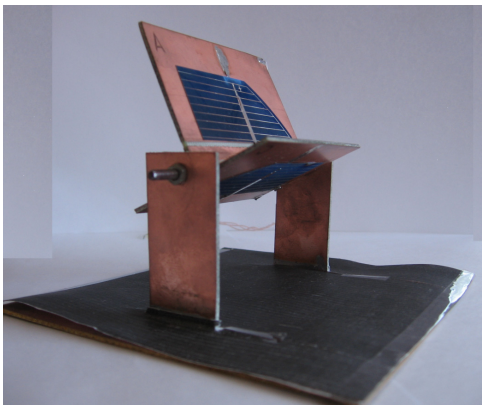


Рис. 1. Макет фотоэлектрического датчика наведения на Солнце

В качестве фоточувствительных элементов выбран кремниевый фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), это обусловлено сферой использования данного датчика – слежение за Солнцем для кремниевых ФМ, поэтому датчик получил название фотоэлектрический датчик (ФЭД).

В основе датчика: два лицевых элемента для определения положения Солнца, третий тыловой элемент (С) – для исключения влияния рассеянного излучения. Элементы А и В установлены на разные стороны перегородки, что позволяет скомпенсировать влияние разности температур. Также перегородка служит токопроводящим элементом.

Для анализа чувствительности ФЭД были построены диаграммы направленности (рис 2) для ФМ и для двух ФЭП (элементы А и В ФЭД), наглядно демонстрирующие, что для получения максимального тока короткого замыкания, а, следовательно, и мощности ФМ, необходимо расположить датчик таким образом, чтобы сигналы с элементов А и В были равны и минимальны. Также видно, что наибольшее изменение тока элементов датчика лежит в диапазоне изменения угла падения солнечных лучей к нормали плоскости ФМ от 0^o до 30^o, т.е. на в этом периоде чувствительность датчика максимальна. Следовательно, этот период и будет порогом срабатывания датчика.

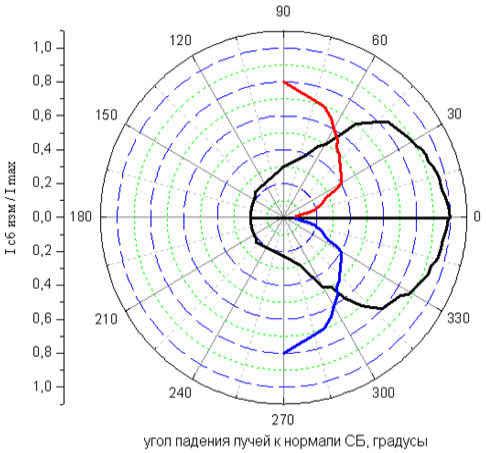


Рис. 2. Диаграммы направленности для ФМ и датчиков А, В

Структурная схема системы ориентирования на Солнце представлена на рис. 3.

В данной системе сигналы поступающие от элементов А и В уменьшаются на уровень сигнала с элемента С в устройстве сравнения и выработки управляющего сигнала, результаты сравниваются и вырабатывается управляющий сигнал для двигателя (положительный или отрицательный) для наведения ФМ.



Рис. 3. Структурная схема системы ориентирования на Солнце

На базе солнечного энергетического комплекса мощностью 240 Вт, размещенного на крыше 10 корпуса ТПУ, был апробирован макетный образец системы слежения за Солнцем на основе фотоэлектрического датчика.

На основе данных полученных в ходе макетного эксперимента были построены диаграммы направленности элементов А и В при различных углах между А и В. Для повышения чувствительности провели оптимизацию углах между элементами А и В датчика.

Для этого провели измерение сигнала с датчика при различных фиксированных углах между А и В в течение дня. Измерения проводились в ясную погоду.

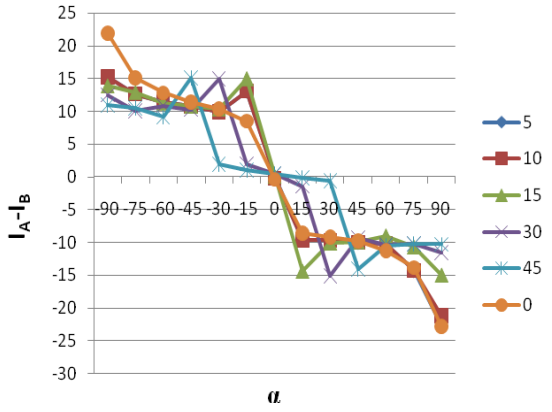


Рис. 4. Зависимость разностного сигнала с элементов А и В при фиксированном угле между ними в течение дня

При анализе полученных результатов было учтено, что максимальный сбор мощности лежит в диапазоне изменения угла падения солнечных лучей к нормали плоскости ФМ от 0^o до 30^o, таким образом оптимальный угол между элементами А и В необходимо выбирать ориентируясь на максимальную чувствительность в этом диапазоне. Поэтому оптимизацию датчика по чувствительности производили на отклонении солнечных лучей от нормали равном 15º, так как при меньших углах сбор мощности практически не изменяется.

По графику на рис. 5 видно, что наибольшая чувствительность датчика при угле между А и В равном 20º.

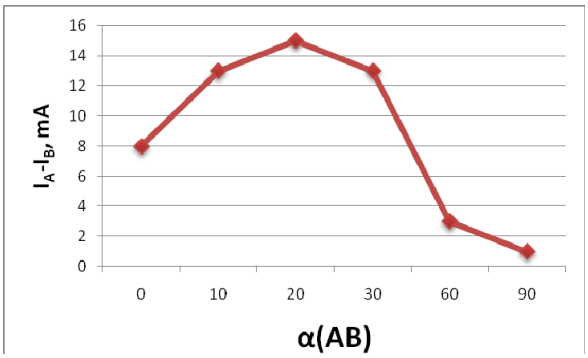


Рис. 5. Зависимость разностного сигнала между датчиками А и В от угла между ними

Выводы

1. Была разработана конструкция и создан макетный образец ФЭД.
2. Была проведена оптимизация ФЭД по чувствительности для энергетического комплекса мощностью 240 Вт.

Список литературы

1. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя //Известия Томского политехнического университета, 2009 – т. 314, – № 3. – с. 43-46
1. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов //Известия Томского политехнического университета, 2009 – т. 314, – № 4. – с. 142-148

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ БОЛЬШИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Пустовойт А.В., Миляев Д.В.

Научный руководитель: Миляев Д.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sashatpu@sibmail.com

Для измерения больших сопротивлений разработано значительное количество способов и схем. Конкретный выбор схемы определяется, исходя из различных соображений: характер измеряемого сопротивления, предполагаемая его величина и другие. Каждый из вариантов имеет свои особенности. В данной статье представлен краткий обзор основных методов измерения больших сопротивлений, их достоинства и недостатки.

Методы измерения больших сопротивлений можно разделить на две основные группы: методы непосредственной оценки и методы сравнения.

Измерительные схемы омметров на основе методов непосредственной оценки содержат преобразователи измеряемого сопротивления в пропорциональное значение промежуточной величины, более удобной для измерения (напряжение, ток, интервал времени и т. д.).

В методе преобразования сопротивления в ток используется источник образцового напряжения, в цепь которого включено измеряемое сопротивление. Напряжение Uo, приложенное к измеряемому сопротивлению Rx, вызывает в цепи ток Ix, обратно пропорциональный измеряемому сопротивлению: $Ix = Uo / Rx$.

В отличие от метода амперметра-вольтметра (в данной статье не рассматривается), в котором необходимо измерение двух различных величин, здесь, из-за использования образцового источника напряжения, отпала необходимость в измерении напряжения, но проблема измерения тока, величиной порядка несколько пикоампер осталась.

Обратный рассмотренному выше – метод преобразования сопротивления в напряжение, в котором используется источник образцового тока с очень большим входным сопротивлением, в цепь которого включается измеряемое сопротивление. Напряжение на резисторе прямо пропорционально измеряемому сопротивлению. Следует отметить, что даже при токе в 1мА и измеряемом сопротивлении 1ТОм напряжение будет 1ГВ, следовательно – необходимо использовать источник тока очень маленькой величины (порядка пикоампер).

Рассмотрим несколько известных схем, использующий данный метод. К ним относится схема с линейной шкалой, изображенной на рис. 1, в которой измеряемое сопротивление включается в цепь обратной связи операционного усилителя. Принцип работы заключается в следующем: ток Io создается источником образцового напряжения Uo и равен Uo / Ro. При входном сопротивлении усилителя много большем измеряемого, он практически весь протекает через измеряемое сопротивление Rx, а напряжение на выходе усилителя будет пропорционально измеряемому сопротивлению: $Ux = Uo \cdot Rx / Ro$, следовательно, $Rx = Ro \cdot Ux / Uo$.

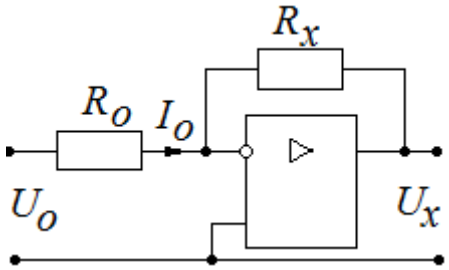


Рис. 1. Принципиальная схема метода преобразования сопротивления в ток

К недостаткам относят потребность усилителя с очень большим входным сопротивлением, низкую чувствительность, ну а основным считается зависимость времени измерения от паразитной емкости объекта измерения (например, длинного кабеля). Преимуществами схемы являются прямая зависимость выходного напряжения от измеряемого сопротивления и простота реализации.

В схеме с обратной шкалой, построенной на основании этого же метода, образцовое Ro и измеряемое сопротивление Rx меняют местами. Работа схемы аналогична описанной выше. Уравнение преобразования в данном случае выглядит следующим образом: $Rx = Ro \cdot Uo / Ux$.

Достоинством данной схемы перед предыдущей является куда более низкая (а в идеале вообще – нулевая) зависимость скорости измерения от паразитной емкости объекта измерения.

Недостатком можно считать необходимость в образцовом источнике напряжения малой величины (порядка 10 пВ при измерении сопротивления 10 ТОм).

Также значение сопротивления находится через напряжение методом делителя. Также как и в случае с использованием операционного усилителя, измеряемое сопротивление может быть включено в два участка схемы. В данном случае – на

вход или на выход делителя. Рассмотрим оба варианта подключения.

Если напряжение снимается с измеряемого сопротивления, как изображено на рис. 2, то необходимо иметь образцовое сопротивление много большей величины, причем большой точности.

Уравнение преобразования: $Ux = Uo \cdot \frac{Rx}{Rx + Ro}$.

При условии, что образцовое сопротивление много больше измеряемого, делается упрощение уравнения (при этом вносится дополнительная погрешность): $Ux = Uo \cdot Rx / Ro$, следовательно, $Rx = Ro \cdot Ux / Uo$.

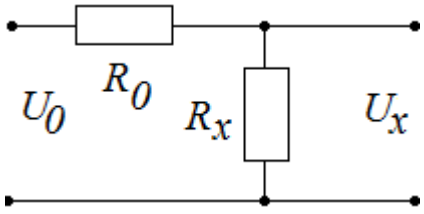


Рис. 2. Принципиальная схема метода делителя

При снятии напряжения с образцового резистора принцип работы не отличается от описанного выше. Различно лишь расположение аргументов уравнения: $Rx = Ro \cdot Uo / Ux$.

Единственным отличием является то, что здесь измеряемое сопротивление должно значительно превышать значение образцового резистора, следовательно, в данной схеме отпадает необходимость в использовании высокоомного образцового резистора, что является основным достоинством перед предыдущей схемой. Недостатком схемы является обратная зависимость напряжения от измеряемого сопротивления.

Достоинством метода делителя в целом является простота реализации схем.

Измерительные схемы омметров на основе методов сравнения не содержат промежуточных преобразователей и позволяют осуществить сравнение измеряемой величины с образцовой мерой.

Одним из таких методов является метод, в котором используется мостовая схема. Схема изображена на рис. 3.

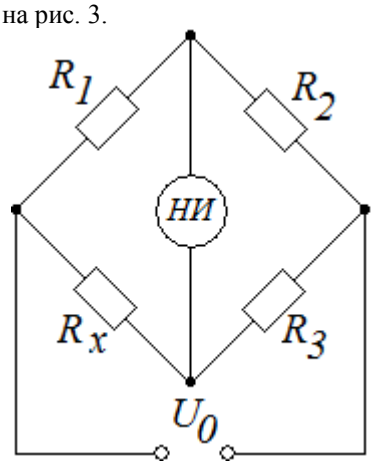


Рис. 3. Принципиальная схема мостового метода

Принцип измерения основан на взаимной компенсации сопротивлений двух звеньев, одно из которых включает измеряемое сопротивление.

Нахождение величины измеряемого сопротивления определяется путем изменения соотношения R_1 / R_2 и сопротивления R_3 добиваются равновесия, определяемого отсутствием тока в цепи нуль-индикатора НИ. При этом результат измерения определяют по значениям R_1 / R_2 и сопротивления R_3.

Условие равновесия моста: $R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$. Исходя из этого, уравнение нахождения измеряемого сопротивления: $R_x = R_1 \cdot R_3 / R_2$.

К преимуществам данного метода относят большую точность и высокую чувствительность измерения, но при этом проявляется потребность в высокоомных образцовых мерах. Также к недостаткам относят громоздкость схемы и сложность автоматизации измерений.

Еще один метод сравнения – компенсационный, схема которого представлена на рис. 4.

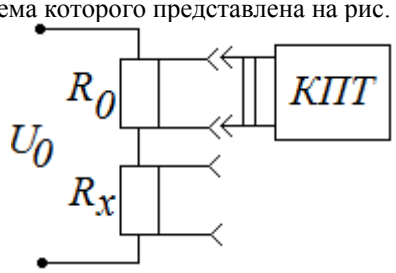


Рис. 4. Принципиальная схема компенсационного метода

Здесь с помощью компенсатора постоянного тока КПТ последовательно измеряется напряжение на измеряемом сопротивлении Ux и на образцовом сопротивлении Uo. Ток в цепи должен быть постоянным, он равен Uo / Ro и равен Ux / Rx. Исходя из этого: $Uo / Ro = Ux / Rx$, следовательно, $Rx = Ro \cdot Ux / Uo$.

Преимущества заключаются в высокой точности измерения и не высокие требования к источнику питания.

Недостатками метода принято считать сложность измерения, а также потребность в компенсаторе постоянного тока с высоким входным сопротивлением.

Все рассмотренные методы имеют свои достоинства и недостатки, но главная проблема всех методов заключается в следующем: получение высокой чувствительности при высокой точности прибора и уменьшение времени измерения. Следует отметить, что пока что решения данной проблемы не найдено.

Список литературы

1. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат., 1988. – 304 с.
2. Электрические измерения: Учебник для вузов; Под редакцией Фремке А.В. и Душина Е.М. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КОНТАКТА ЭЛЕКТРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ

Рябушкин А.П.

Научный руководитель: Воробьева Г.С. к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nibelong@tpu.ru

Во многих отраслях науки и техники для получения данных и управления используются контактные электроды (термопары). Качество съема информации зависит от степени контакта электрода с поверхностью. При хорошем контакте электрода переменная составляющая стремится к нулю и наоборот, чем хуже контакт, тем больше амплитуда основной гармоники (50Гц). На основную гармонику накладываются шумы, которые вносят дополнительную погрешность. Задачей данной работы является измерение амплитуды основной гармоники, что в конечном итоге будет определять степень контакта электрода с поверхностью.

Структурная схема устройства изображена на рис. 1

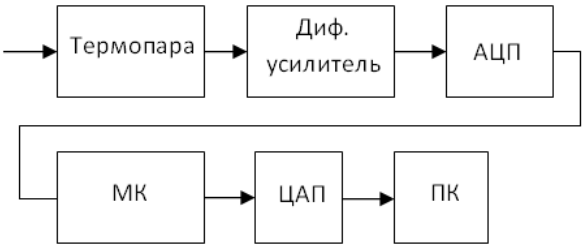


Рис 1. Структурная схема устройства

Возникает необходимость в фильтрации сигнала. Есть два пути решения данной задачи: аналоговая и цифровая фильтрация. По сравнению с аналоговыми фильтрами цифровые фильтры (ЦФ) имеют ряд преимуществ:

- цифровые фильтры могут иметь характеристики, получить которые на аналоговых фильтрах невозможно, например, действительно линейную фазовую характеристику;
- производительность ЦФ не зависит от изменений среды, например, от колебаний температуры. Таким образом, цифровые фильтры не требуют периодической калибровки;
- если фильтр построен с использованием программируемого процессора, его частотная характеристика может настраиваться автоматически (поэтому такие процессоры широко применяются в адаптивных фильтрах);
- один ЦФ может обрабатывать несколько входных сигналов или каналов без дублирования аппаратных блоков;
- данные, как на входе так и на выходе ЦФ, можно сохранить для последующего использования.

Цифровые фильтры разделены на два обширных класса: фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры) и фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры). Для реализации данного устройства был рассчитан КИХ-фильтр. Это обусловлено простотой реализации программного кода и быстродействием. Быстродействие заключается в том, что при реализации КИХ-фильтра наеобходимо будет перемножить входные выборки на коэффициенты и сложить, а при реализации БИХ-фильра, потребуется каскадное перемножение, что увеличит время получения выходного сигнала с ЦАП [1].

Расчет фильтра

Для расчета фильтра использовалась программная среда MATHLAB (пакет расширения Filter Design & Analysis Tool) [2]. Основные параметры фильтра: частоты дискретизации-1000Гц, нижняя граница полосы пропускания 20Гц, верхняя граница-100Гц, восьмиразрядные коэффициенты с фиксированной точкой. АЧХ полосового фильтра изображена на рис. 2

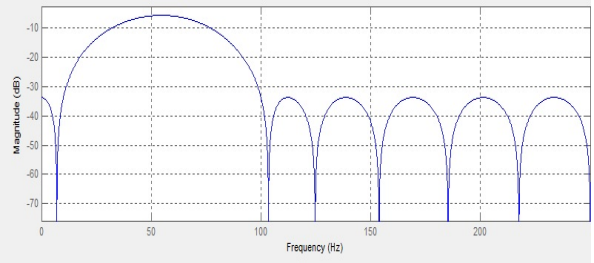


Рис 2. АЧХ полосового фильтра

Полученный полосовой фильтр получился 6 порядка со следующими коэффициентами:

-0.09375, -0.19921875, -0.09375, 0.375, -0.09375,

-0.19921875, -0.09375

Принцип работы ЦФ

Для реализации цифрового фильтра был выбран микроконтроллер фирмы Silicon Laboratories C8051F060 [3]. Микроконтроллер представляет полностью интегрированную на одном кристалле систему для обработки смешанных (аналоговых и цифровых) сигналов, что позволяет построить на одной микросхеме цифровой фильтр, что упро-

стит разработку программного обеспечения, снизит затраты на элементную базу.

Основной процедурой фильтра является подпрограмма обработки прерывания АЦП, запускаемого таймером с требуемой частотой выборок. Граф-схема алгоритма этой процедуры приведена на рис. 3. Кроме оператора очистки флага прерывания (1) алгоритм включает оператор инициализации (2), считывания входной выборки и сохранения ее в циклическом буфере (3), цикл фильтрации в котором вычисляется значение выходной выборки Y, и вывод его в виде уровня аналогового сигнала на выход ЦАП(8).

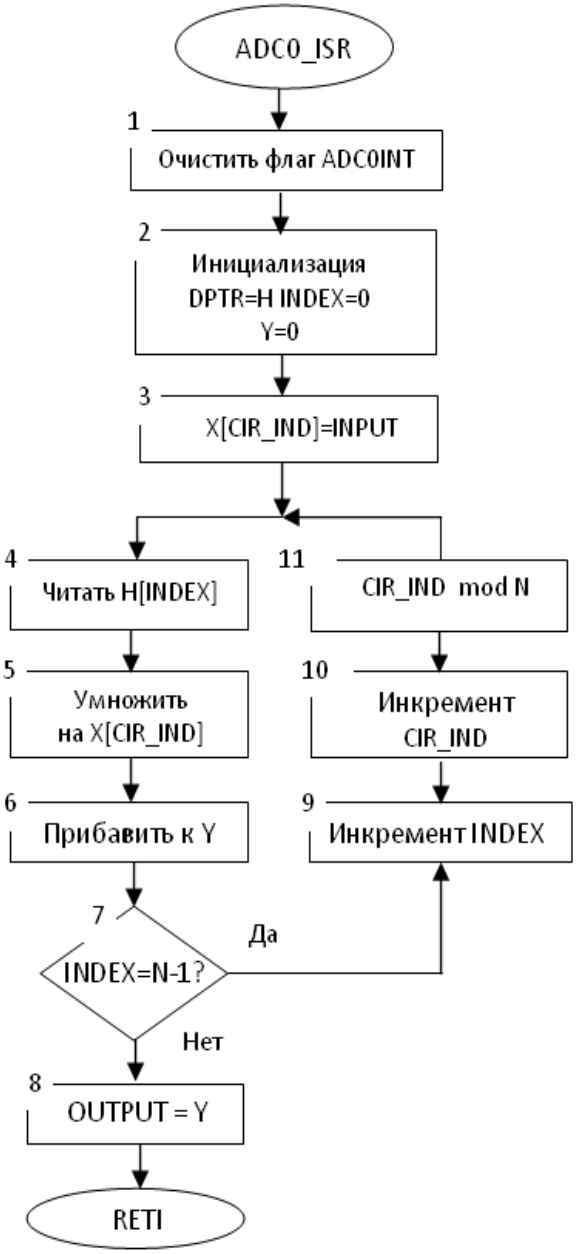


Рис 3. Граф-схема цифрового фильтра

Цикл фильтрации реализует выражение (1)

$$y_n = \sum_{i=0}^{i=N-1} h_i * x_{n-i} \qquad (1)$$

и включает оператор считывания коэффициента из таблицы (4), умножения на входную выборку из циклического буфера (5), сложения произведения с Y (6) и проверку необходимости продолжения вычислений (7). Если необходимо продолжить, то производится инкремент индекса таблицы (9) и циклический инкремент индекса циклического буфера (10, 11).

Испытания проводились с помощью генератора Г3-36А. На вход АЦП подавались прямоугольные импульсы частотой 50 Гц (рис. 4а). На выходе ЦАП микроконтроллера получили синусоидальный сигнал (рис. 4б), что свидетельствует о правильной работе цифрового фильтра.

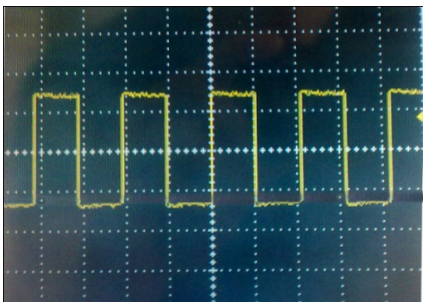


Рис 4а. Входной сигнал

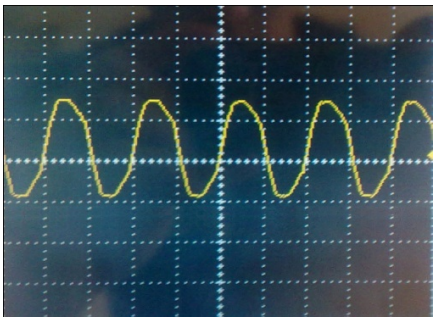


Рис. 4б. Выходной сигнал

Вывод

Таким образом, было разработано устройство для определения степени контакта термопары с объектом, показавшая хорошую работоспособность.

Список литературы

1. Айфичер Э., Джерфис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильяме", 2004. – 992 с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 7. */R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с.
3. Документация к микроконтроллерам C8051F06x

ИЗМЕРЕНИЕ СТЕНКИ ТРУБЫ В ИЗОЛЯЦИОННОМ ПОКРЫТИИ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ РАДИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОСФОРНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ ПЛАСТИН

Санникова Е.А.

Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email:elf25@sibmail.com

Для выявления коррозии обычно используется ультразвуковой метод контроля, который требует непосредственного контакта с металлом, поэтому возникает необходимость снимать защитное покрытие с трубы. Подчас такой контроль требует немало времени и финансов. Более быстрым и простым методом контроля, который не требует операции удаления защитного покрытия является радиографический метод.

В работе исследовалась зависимость точности измерения толщины от толщины и диаметра исследуемого трубопровода. Результаты проиллюстрированы примером цифровой радиографии стальной трубы в теплоизоляционном покрытии с использованием запоминающих фосфорных пластин и источника гамма-излучения Ir-192.

Возможность применения радиографии для толщинометрии поперечного сечения трубопроводов основана на особенности изменения толщины Z материала трубы (лучевая длина) в направлении просвечивания. Эта особенность состоит в том, что на координате, соответствующей толщине стенки S трубы, функция Z имеет острую точку излома (перегиба) и максимальна при

$$Z_{\max} = 2\sqrt{S(Dн - S)}$$

где $D_н$ – наружный диаметр трубы.

Такое резкое изменение толщины материала в направлении просвечивания фиксируется на радиографическом снимке в виде значительного изменения плотности почернения (рис. 1).

После экспонирования пластины с последующей её фотообработкой на снимке получают увеличенное изображение профиля стенки трубопровода $S^{/}$ – хорошо различимую на снимке светлую полосу с изменяющейся оптической плотностью почернения от максимума на границе профиля стенки со стороны наружной поверхности трубопровода до минимума, который соответствует границе внутренней поверхности трубы. Эта светлая полоска четко оттенена на снимке с обеих сторон областями со значительными плотностями почернения [1].

Схема просвечивания профильной толщинометрии, в отличие от схем просвечивания при радиографической дефектоскопии, состоит в том, что источник излучения (гамма-дефектоскоп, рентгеновский аппарат) и прямая плоская кассета с пластиной должны располагаться относительно контролируемого трубопровода таким образом, чтобы центральный луч рабочего пучка излучения был направлен перпендикулярно профилю стенки на контролируемом участке трубопровода (приблизительно по касательной к наружной поверхности трубы), как показано на рисунке 2.

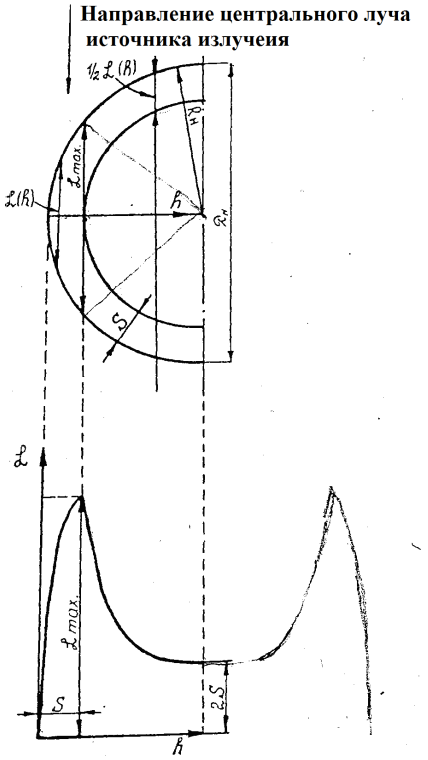


Рис. 1. Функциональная зависимость толщины материала трубопровода в направлении просвечивания Z от величины стрелки h

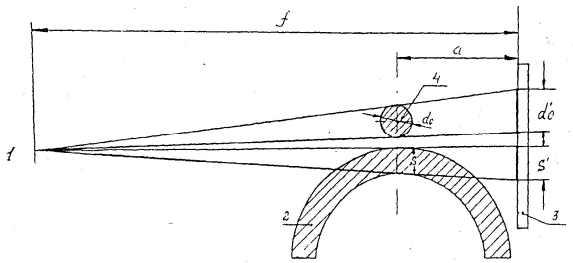


Рис. 2 Схема просвечивания при профильной радиографичекой толщинометрии трубопровода с использованием образца для сравнения, где 1 – источник излучения, 2 – контролируемый трубопровод, 3 – кассета с запоминающей пластиной, 4 – контрольный образец

Для того, чтобы перейти к относительным измерениям, целесообразно применять контрольный образец для сравнения геометрии. Уход от абсолютных измерений позволяет снизить влияние нерезкости, на точность измерения.

Образец представляет собой стальной шарик диаметром d_0 примерно в 2-3 раза больше проектной толщины стенки контролируемой трубы. Образец располагают параллельно оси трубы над контролируемым участком стенки. После просвечивания и фотообработки пленки на снимке вместе с увеличенным изображением стенки трубы $S^{/}$ получается увеличенное изображение диаметра шарика $d_0^{/}$.

Реальная толщина стенки трубы определяется из выражения

$$S = \frac{d_0}{d_0'} \cdot S'$$

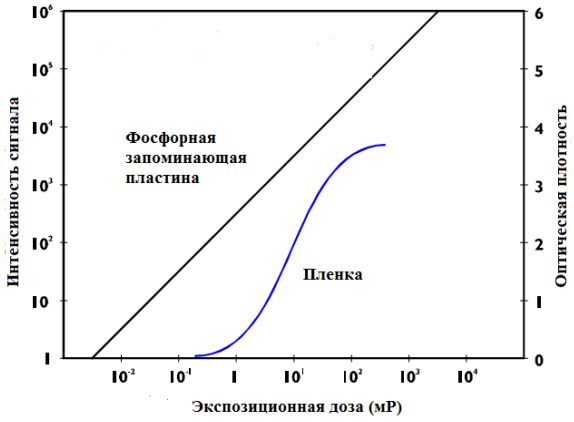


Рис. 3 Динамический диапазон фосфорной пластины и рентгеновской пленки

Так как измерение необходимо произвести с высокой точностью, то необходимо предъявить следующие требования к детектору:

• широкий динамический диапазон (у пленок аналогичный параметр называется фотографической широтой). Динамический диапазон по стали показывает разницу минимальной и максимальной толщин исследуемого объекта, которые одновременно видны на результирующем снимке. Чем этот диапазон больше, тем выше перепад толщин, на которых можно обеспечить одинаковую дефектоскопическую чувствительность на одном снимке;

• высокое пространственное разрешение получаемого в результате изображения. Таким образом, в качестве детектора была выбрана фосфорная запоминающая пластина. Динамический диапазон этого детектора намного шире, чем у пленки (рис. 3).

Радиографическая система с фосфорной пластиной может обеспечить изображение разрешением до 10 пар линий на мм. При этом процесс получения изображения значительно упрощается: исключаются стадии промывки, проявки, сушки пленки и уходит необходимость в использовании специальной темной комнаты. Кроме того, запоминающие пластины можно использовать до 10000 раз, что также делает предлагаемый метод ещё более экономичным[2].

Погрешность оценки толщины S стенки трубы при использовании контрольного образца удовлетворяет выражению:

$$\Delta S = S \cdot \left(\frac{\Delta S'}{S'} + \frac{\Delta d_0'}{d_0'} + \frac{\Delta d_0}{d_0}\right)$$

где Δd_0 – точность (цена деления) мерительного инструмента (штангенциркуля), при определении диаметра прутка – образца сравнения;

$\Delta d_0^{/}$, $\Delta S^{/}$ – точность (цена деления) мерительного инструмента (измерительной лупы, микрофотометра) при измерении на снимке $d_0^{/}$ и $S^{/}$.

Результаты измерения представлены в виде таблицы, отражающей зависимость точности измерения толщины от толщины и диаметра исследуемого трубопровода.

Список литературы

1. РДИ 38.18.001-83 Инструкция по радиографической профильной толщинометрии технологических трубопроводов. – Волгоград: РИО Упрполиграфиздата, 1983. – 47 с.
2. Ditabis Image Plate Technology for all Applications in Transmission Electron Microscopy. (Germany) – Pforzheim, 2009. – p. 14

ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

Сейфи Н.А.

Научный руководитель: А.К. Дмитриев, д.ф.-м. н, професор

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
natalia_nsk@inbox.ru

Способность видеть и наблюдать является основной функцией зрения человека. Издавна человек наблюдал окружающие объекты, замечал изменения, происходящие с ними, на основе наблюдений принимал то или иное решение. Задача наблюдения всегда была актуальной, например, в целях обеспечения безопасности и охраны различных объектов, во время вождения автомобиля в ночное время и в условиях ограниченной видимости, при выполнении поисковых спасательных операций [1–4].

В нормальных условиях процесс обнаружения объектов облегчается за счет высокого уровня освещенности и полного использования функциональных возможностей зрения, в том числе и цветоразличения. Ночью эти возможности ограничены настолько, что человек даже на открытой местности способен наблюдать только крупногабаритные объекты.

В условиях ограниченной освещенности проблема наблюдения решается с помощью высокочувствительных видеокамер и приборов ночного видения, а также с помощью использования дополнительного освещения – подсветки.

Но ограничение видимости может быть связано не только с недостаточной освещенностью, но и с такими факторами, как встречная засветка (яркое солнце, встречные автомобильные фары), неоднородность атмосферы, например, из-за погодных условий (дождь, снег, туман, град). Повышение чувствительности прибора наблюдения проблему не решает, т.к. в случае дождя, пыли, тумана, дыма наблюдаемый объект загорожен от наблюдателя мелкими частицами, и в прибор становится лучше видно частицы, а не загороженный ими объект, а условиях встречной засветки еще возникает проблема обнаружения темного объекта на фоне яркого источника света (рис. 1).

При этом если наблюдаемый объект (в данном случае машину) подсветить, то его часть становится лучше видно из-за компенсации встречной засветки (на рис. 2 видно, что плиты на парковке стали лучше видны, чем в случае без подсветки), но из-за частиц в воздухе свет прожектора рассеивается, и сам становится помехой.



Рис. 1. Изображение с видеокамеры в условиях запыленности и встречной засветки без использования подсветки



Рис. 2. Изображение с видеокамеры в условиях запыленности и встречной засветки с использованием подсветки

При использовании подсветки в условиях тумана и запыленности тоже возникает проблема. Свет от прожектора отражается не только от подсвечиваемого объекта, но также от каждой частицы, находящейся в атмосфере между наблюдаемым объектом и прожектором (рис. 3).

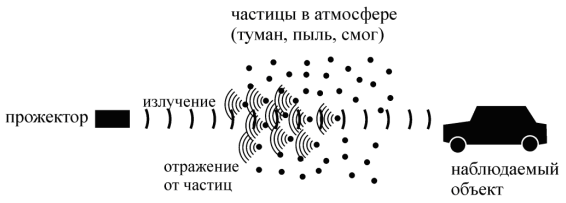


Рис. 3. Отражение излучения подсветки от частиц в атмосфере

При этом независимо от мощности прожектора интенсивность света, отраженного от объекта, меньше интенсивности света, отраженного от частиц, т.к. объект находится дальше, а интенсив-

ность света падает пропорционально расстоянию, которое свет проходит.

В качестве решения данной проблемы возникла идея использования не непрерывной подсветки и непрерывного наблюдения с помощью видеокамеры, а использования комплекса «подсветка-фотоприемник» в импульсном режиме.

Как известно, свет в атмосфере распространяется не мгновенно, а с некоторой скоростью. Поэтому пока излучение от прожектора достигнет наблюдаемого объекта, отразится от него и дойдет до фотоприемника, пройдет некоторое время t. То же самое происходит при отражении света от частиц – от них до видеокамеры отраженный свет придет за время $t_{\text{частиц}}$, а так как частицы находятся на ближнем расстоянии, то отраженный от них свет приходит на фотоприменик быстрее. Отсюда следует простое решение проблемы: если подсвечивать объект не непрерывно, а импульсно, то на фотоприемное устройство по очереди будет приходить отраженный свет, сначала от частиц, затем от объекта, затем от частиц, находящихся позади объекта. Если включать фотоприемник только в моменты возвращения света от объекта, тогда свет от частиц попадать на фотоприемник не будет, и изображение не будет зашумлено. Причем время прохождения света от прожектора до объекта и обратно меньше, чем время восприятия одного кадра глазом, поэтому простаивание в выключенном состоянии фотоприемного устройства глазом не заметно.



Рис. 4. Изображение с видеокамеры в условиях запыленности и встречной засветки в импульсном режиме работы

Идея была опробована, и проведенные эксперименты подтвердили возможность использования такой системы для решения проблемы ограниченной видимости в условиях неоднородности атмосферы.

Результат виден на рис. 4. Несмотря на наличие встречной засветки и запыленности, в темное время суток возможно даже прочитать буквы на номере автомобиля. Расстояние от установки до автомобиля составляет примерно 100 м.

Экспериментальная установка состоит из промышленных ИК-прожектора, телевизионной камеры и видеомонитора, а также самостоятельно разработанной платы управления, которая определяет время включения/выключения прожектора и электронной шторки видеокамеры. На плате находится микропроцессор, источники питания и две кнопки, с помощью которых регулируется время задержки включения фары и шторки. Регулировка времени задержки предусмотрена из-за того, что заранее не известно расстояние до наблюдаемого объекта. После включения установки наблюдатель с помощью кнопок плавно меняет время задержки до тех пор, пока не будет «хорошо видно». В качестве шторки используется электронно-оптический преобразователь, взятый из разобранного прибора ночного видения.

Перспективы использования прибора:

1. в поисковых и спасательных операциях в условиях снегопада или задымленности;
2. в качестве устройства наблюдения и контроля на производстве в условиях запыленности;
3. в качестве автомобильной видеокамеры;
4. в качестве прибора наблюдения в охранной деятельности

Список литературы

1. Никитин В.В., Цыцулин А.К. Телевидение в системах физической защиты. – СПб.: ЛЭТИ, 2001.-134с.
2. Гедзберг Ю.М. Введение в охранное телевидение. – М.: Горячая линия-Телеком», 2005.-312с.
3. Ефимов М., Никитин В. Перспективы развития волоконнооптических средств передачи видеоинформации // Алгоритм безопасности.- 2005.-№ 4
4. 4. Королев В. С. Некоторые аспекты построения интегрированных систем безопасности. Архитектура автоматизированных систем. // Специальная техника.-2007.-№4
5. В. Г. Волков, Активно-импульсные приборы ночного видения // Специальная техника.-2002.-№3.

ИЗМЕРИТЕЛЬ СООТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ

Силантьев А.А.

Научный руководитель: Патюков В.Г., д.т.н., профессор

Железногорский филиал СФУ, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова 12а
E-mail: artyom183@mail.ru

Шумы представляют собой важную проблему в науке и технике поскольку они определяют нижние пределы, как в отношении точности любых измерений, так и в отношении величины сигналов, которые могут быть обработаны средствами электроники.

Отношение сигнал/шум (англ. SNR, Signal-to-Noise Ratio) – безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума.

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right)^2,$$

где P – средняя мощность, а A – среднеквадратичное значение амплитуды. Оба сигнала измеряются в полосе пропускания системы.

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах. Чем больше это отношение, тем меньше шум влияет на характеристики системы.

$$SNR(dB) = 10Log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{signal}}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right).$$

Высокое отношение сигнал/шум на выходе приемника означает высокое качество связи аналоговых систем и низкую вероятность ошибки цифровых систем. В исследуемых устройствах используются очень сложные процессы по нахождению амплитуды, шума или сигнала, что сказывается на точности измерений. Поэтому задача разработки прибора, который непосредственно измеряет, а не вычисляет отношение сигнал/шум, является актуальной.

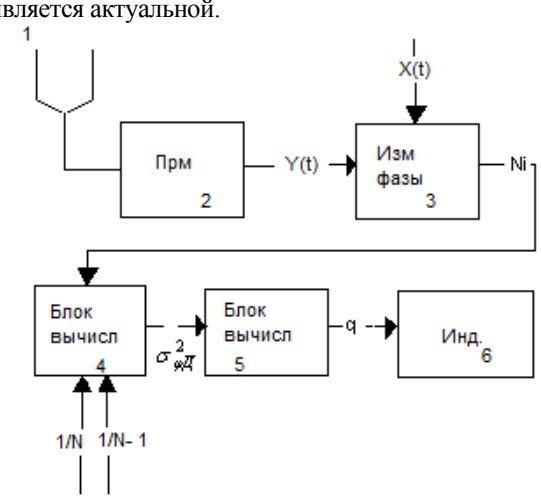


Рис. 1. Структурная схема устройства

Устройство определения отношения сигнал/шум содержит последовательно включенные антенну приемник, измеритель фазы, блок вычисления дисперсии фазы, блок вычисления отношения сигнал/шум, индикатор.

Устройство измерения отношения сигнал/шум работает следующим образом. Аддитивная смесь полезного сигнала и узкополосного шума формируется антенной приемником и поступает на измеритель фазы, где производится преобразование фазового сдвига между сигналами y(t) и x(t) во временной интервал, который заполняется счетными импульсами. Результат измерения фазы представляет собой числа Ni, которые подвергаются статистической обработке для определения дисперсии фазы

При технической реализации антенна, приемник и измеритель фазы выполняются как типовые элементы радиосистем. Приемник содержит усилители высокой частоты, преобразователи частоты и усилители промежуточной частоты. В качестве измерителя фазы целесообразно использовать измеритель, который содержит преобразователь фазового сдвига между сравниваемыми сигналами y(t) и x(t) во временной интервал, который заполняется счетными импульсами. Квадраторы, умножители и накапливающие сумматоры являются известными и достаточно подробно описываются в справочниках по интегральным микросхемам. В качестве блока вычитания возможно использовать сумматор, на второй вход которого полученное среднее значение фазы поступает в дополнительном коде. Блок вычисления отношения сигнал / шум может быть выполнен в виде дешифратора или перепрограммируемого постоянного запоминающего устройства. Индикатор может быть выполнен как цифровой индикатор.

В результате использования такой схемы устройства удалось добиться повышенной точности определения отношения сигнал/шум.

Из известных устройств оценки отношения сигнал/шум наибольшее распространение получил прибор, обеспечивающий оценку дисперсии фазы путем сравнения с генерируемыми опорными функциями фазы. Результирующие значения отношения сигнал/шум получаются в результате преобразования полученной дисперсии фазы в блоке вычисления отношения сигнал/шум. Это устройство включает в свой состав последова-

тельно соединенные антенну, приемник, измеритель фазы, блок памяти, блок вычитания, блок вычисления дисперсии фазы, блок вычисления отношения сигнал/шум и индикатор, в состав устройства также входят блоки, которые обеспечивают сравнение значений фазы сигнала и шума с опорными функциями, блоки генерирования опорных функций и блоки обнаружения сигнала. Однако это устройство имеет существенные недостатки: сложность исполнения и низкие точностные характеристики.

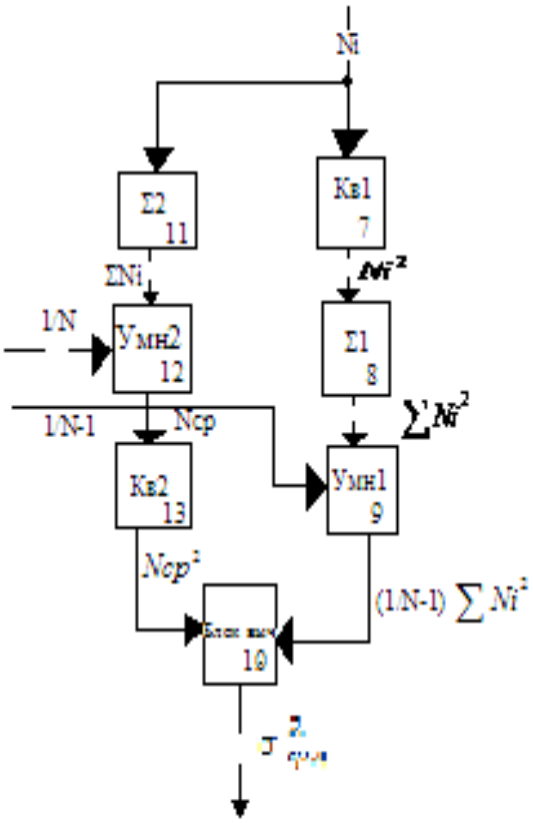


Рис. 2. Схема блока вычисления дисперсии фазы Ni

Дисперсия фазы вычисляется при статистической обработке результата *N* фазовых измерений *Ni* по формуле, обеспечивающей несмещенную оценку.

$$\sigma^2_{\varphi д} = \frac{1}{N-1} * \sum_{i=1}^{N} (N_i - N_{ср})^2,$$

где *Ni* – цифровые отсчеты фазы, *N* – количество усредняемых отсчетов.

Чтобы реализовать вычисление значений дисперсий фазы используются квадраторы, накапливающие сумматоры, умножители и блок вычитания. Поступившие на вход блока вычисления дисперсии фазы цифровые отсчеты *Ni* возводятся в квадрат в первом квадраторе, суммируются в накапливающем сумматоре и умножаются на константу в умножителе.

Зависимость значений среднеквадратичного отклонения от сложившегося отношения сигнал/шум выглядит следующим образом:

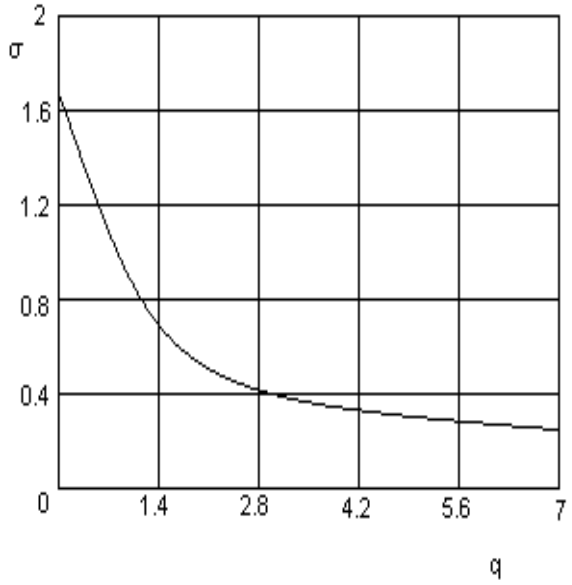


Рис. 3. График зависимости среднеквадратичного отклонения от отношения сигнал/ шум

где $q = Um/\sigma$ – отношение амплитуды сигнала к среднеквадратическому значению шума. Из рис.3 видно, что вычислив дисперсию фазы, мы можем сразу определить искомое отношение сигнал/шум.

Выводы

1) Вычисление соотношения сигнал/шум – очень важный критерий в системах электросвязи, так как современные приемные устройства радиолокационных станций, аппаратуры связи, навигации должны обнаруживать и обрабатывать слабые радиосигналы.

2) Изобретение относится к радиотехнике и может использоваться в радиолокации, радионавигации и системах связи для измерения отношения сигнал/шум, повышения точности и достоверности получаемой информации или контроля качества канала связи.

В основу изобретения положена задача повышения точности измерения отношения сигнал/шум при одновременном упрощении устройства.

Список литературы

1. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы 2003 г.
2. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, Г. И. Волович 1998 г.
3. Алмазов, К.И. Коэффициент шума и его измерение на СВЧ, Научный мир, – 2000.
4. Чмых М.К. Цифровая фотометрия. – М., 1993.
5. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. – М., 1968.
6. Справочник по интегральным микросхемам Под ред. Б.В. Тарабрина. – М., 1981.

РАЗВИТИЕ MEMS ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ДВИГАТЕЛЕ АВТОМОБИЛЯ

Скрипка О.А.

Научный руководитель Винокуров Б.Б., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 041151@sibmail.com

Экономичность, экологичность, многофункциональность – основные принципы для создания современной техники и разработки новых технологий. В настоящее время в нашей стране остро стоит вопрос о создании автомобилей, которые соответствовали бы последним требованиям и стандартам. Основным элементом в автомобиле является двигатель и главная задача инженеров – повышение эффективности способов и характеристик управления и оптимизация работы двигателя. [1]

Значительную часть автоэлектроники составляют датчики, необходимые для контроля корректного и согласованного функционирования автомобильных систем. Системы управления двигателем и трансмиссией, включая датчики, микроконтроллеры, ИС контроля питания, составляют приблизительно треть всей электроники автомобиля. В настоящее время увеличивается число эффектов, которые ложатся в основу разработок таких датчиков, совершенствование которых является актуальным вопросом. На данный момент быстро развиваются технологии микроэлектромеханических систем. Это объясняется тем, что их ключевые преимущества, которыми являются миниатюрность, функциональность, надёжность, малое энергопотребление, простота интегрирования, востребованы сегодня практически всеми рынками электроники. Концепция MEMS построена на интеграции микромеханических структур датчиков (сенсорной, измерительной части) и актюаторов (исполнительной, управляющей части) с электроникой, выполняющей функции сбора, анализа, контроля, формирования управляющих сигналов на общей подложке посредством технологий микропроизводства [2]. Интегральные MEMS устройства обеспечивают высокий уровень функциональности, надёжности, низкую цену, что и предполагает широкое использование MEMS- компонентов.

В MEMS датчиках давления и движения производится моделирование процессов, параметры которых измеряются, микромеханической структурой. Эти устройства не имеют движущихся частей, связанных с объектом, поэтому они классифицируются как бесконтактные устройства. Подвижная структура тщательно спроектирована и полностью защищена корпусом датчика, миниатюрные датчики высоконадежны и могут обеспечивать функциональные характеристики в условиях различных сред и фазовых состояний, перепадов температур, вибрации и т.п. Надёжная и точная работа обеспечивается в динамических условиях, характеризующихся быстрыми, скачкообразными, периодическими, апериодическими изменениями параметров. Концепция MEMS включает интеграцию на кремниевой основе ИС механических элементов и электроники обработки и формирования сигнала ASIC (Application Specific IC) – преобразователя в законченные микросистемы. С данным принципом системности, микросистемы выполняют сенсорные, вычислительные, логические, исполнительные, коммуникационные функции, а также функции обеспечения самопитания и безопасности. Это означает, что многие рынки – и массовые, и рынки уникальных продуктов смогут использовать преимущества MEMS технологии оптимальным образом, в том числе и при работе компонентов в жёстких условиях эксплуатации.

В настоящее время уже входят в эксплуатацию созданные на основе MEMS технологий датчики концентрации кислорода, контролирующие ТВС двигателя по содержанию O2 в отработавших газах В качестве примера можно привести интеллектуальный датчик с многослойным сенсорным элементом ZrO2. Датчик допускает как прямое измерение NOx, так и соотношения воздух/топливо. Интеллектуальный датчик включает газовый сенсорный элемент и электронный блок, генерирующий три сигнала: NOx, двоичный, линейный. Данные передаются к ECU двигателя посредством шины CAN. Датчик характеризуется независимостью от системных поставщиков и системы управления двигателем. Актуальны и микромеханические MEMS-расходомеры массы воздуха, включающие тонкопленочные нагреваемые и управляющие электронные элементы, размещенные на одной подложке. Нагреваемые и измерительные резисторы выполняются в виде тонких платиновых слоев, депонированных на поверхность кристалла кремния, который устанавливается на утонченную подложку. Датчик помогает вычислять количество необходимого в процессе инжекции топлива, способствуя уменьшению эмиссии, а также увеличивать мощность двигателя и снижать потребление топлива. Рабочий принцип основан на измерении деформации головки цилиндра, наводимой давлением в цилиндре (косвенный метод). К MEMS технологиям можно отнести также и платиновые тонкопленоч-

ные RTD , которые предлагаются для автомобильных высокотемпературных применений. Платина является прецизионным металлом с очень стабильной и близкой к линейной зависимостью сопротивления от температуры. Несмотря на несколько меньшую крутизну характеристики преобразования по сравнению с термосопротивлениями на основе других металлов (рис. 1), платиновые терморезистивные датчики обладают высокой линейностью преобразования, стабильностью, точностью и повторяемостью; химической стабильностью; биологической инертностью; способностью выдерживать высокие темературные нагрузки; малыми габаритами; долговечностью [3].

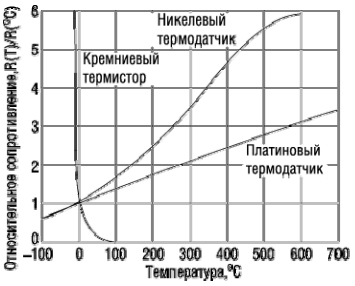


Рис. 1. Сравнительные характеристики преобразования термодатчиков различных типов

Другие типичные материалы RTD -- медь и сплавы никель/железо. В типичном платиновом RTD керамическая подложка поддерживает структурированный платиновый слой, покрытый стеклом. Эти устройства характеризуются высокой точностью, повторяемостью, линейностью (возможностью прямого подключения выхода к АЦП), долговременной стабильностью, но небольшим положительным температурным коэффициентом, меньшей чувствительностью к изменению температуры и меньшим базовым сопротивлением, чем термисторы, а также более высокой ценой[2]. К таким датчикам относятся и новые платиновые датчики Honeywell (рис. 2)

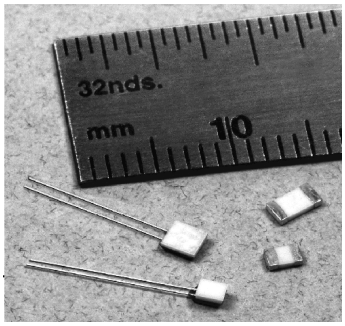


Рис. 2. Новые платиновые датчики Honeywell

Помимо вышеприведенных примеров существуют и другие датчики, также отличающиеся своей долговечностью, функциональностью и хорошими эксплуатационными характеристиками. Таким образом, области применений MEMS ранжированы от самых массовых рынков до рынков сложных приборов специального назначения. Сегодня ежегодные объёмы продаж ИС превышают уровень в $200 млрд. долларов, MEMS – $10 млрд. Ожидается, что в 2012 году общий рынок MEMS составит порядка $15 млрд.[2]. Требования к MEMS, которые разрабатываются для автомобильных, промышленных применений, медицинских приборов, также являются достаточно высокими, и повышаются с каждым годом. Важна надёжность и отказоустойчивость устройств, ответственных за жизнеобеспечение пациента, автомобильную или промышленную безопасность. Разрабатывается радиационно-стойкая и высоконадёжная электроника для атомной промышленности. Для достижения максимального соответствия требованиям различных отраслей разрабатываются стандарты MEMS. Стандартизации подлежит корпусирование, тестовые методы, квалификационные планы, или Pin-out требования для всех MEMS устройств. Специальное внимание уделяется, например, тестовым методам для закорпусированных устройств. Суть методов тестирования функциональности устройства состоит в проверке его характеристик. Они могут включать электрическое, оптическое, механическое тестирование, и результатом является выборка пригодных и отбраковка непригодных изделий.[2] SEMI, являющаяся глобальной ассоциацией производителей микро- и наноэлектроники, также занимается поддержкой MEMS. С 2006 года SEMI Standards разрабатывает стандарты для корпусирования MEMS. В перспективе – квалификация устройств для данной отрасли (примерами являются AEC Q100, ISO/TS949 для автомобильной отрасли).

Таким образом, можно с уверенность сказать, что MEMS технологии – это технологии будущего и применение данных устройств целесообразно. Выше перечисленные характеристики и примеры еще раз подтверждают надежность MEMS технологий и их актуальность. Переход к использованию более совершенных технологий позволит сделать резкий скачек вперед в области автомобилестроения, что в настоящее время и необходимо российскому автопрому.

1. Датчики управления двигателем автомобиля. . [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://revolution.allbest.ru/transport/00081503_0.html, свободный. – Загл. с экрана.
2. MEMS – технологии – простое и доступное решение сложных системных задач. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.sovtest.ru/ru/publication/mems-tekhnologii-—-prostoe-i-dostupnoe , свободный. – Загл. с экрана.
3. Новые платиновые датчики температуры. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://299792458.3dn.ru/publ/1-1-0-380 , свободный. – Загл. с экрана.

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНОЙ ДВУСТОРОННЕЙ ПЕЙДЖИНГОВОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДИОВЫЗОВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПАССИВНОЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ (RFID-ТЕХНОЛОГИИ)

Смуров А.А., Сорокин А.А.

Научный руководитель: Печаткин А.В., к.т.н.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина,53, г. Рыбинск, тел./факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Современная жизнь немыслима без оперативной динамической информационной поддержки как в бытовой, так в профессиональной сферах деятельности. С этой целью созданы и используются различные сети мобильных телекоммуникаций, такие как сотовая, транковая и пейджинговая связь, технологии SMS, WAP, WiMAX. В этом ряду пейджинговые системы связи или, иначе, системы персонального радиовызова стоят особняком, являясь радиальными системами с односторонней связью, в которых радиосообщения передаются мобильному абоненту в виде коротких формализованных команд с помощью мощного передатчика и пейджиногового терминала, обслуживаемого сетевыми или ведомственными операторами. В настоящее время сотовая связь охватила самые широкие слои населения и практически вытеснила пейджинг, т.к. принимать и посылать короткие текстовые сообщения стало возможно при помощи мобильного телефона, а доступ к Интернет-порталам и получение большого объема данных обеспечили WAP, Wi-Fi и WiMAX платформы. Вместе с тем, пейджинговые услуги остаются крайне востребованными там, где мобильная передача или регистрация информации без использования абонентской оплаты и привлечения внешней сетевой и очень сложной инфраструктуры является необходимым условием деятельности. Это относится к различным учебным и медицинским заведениям, профилакториям, туристическим и сервисным центрам, малым предприятиям, транспортным службам и другим аналогичным сферам деятельности.

Для решения задачи оперативной информационной поддержки этих организаций целесообразно разработать локальную пейджинговую систему, способную образовывать функциональные масштабируемые популяции или сети на основе имеющихся в организациях персональных компьютеров и локальных сетей, формировать индивидуальные информационные каналы, которые обновляются несколько раз за день, обеспечивать конфиденциальность и доступность для пользователей непосредственно в локальной зоне профессиональной деятельности или временного расположения. Неоспоримым достоинством пейджинговых систем является т.н. называемый «групповой вызов», когда одно и то же сообщение или пакет информации одновременно посылается многим людям, что удобно для корпоративных пользователей.

Отличительными особенностями предлагаемой локальной пейджинговой системы являются: полное отсутствие абонентской платы; низкая стоимость, малые габариты, масса и энергопотребление индивидуального и сетевого оборудования; наличие маломощного передатчика – менее 100 мВт (20 дБм) – для организации двусторонней связи; регистрация абонента и запись меток доступа к информации или закладок при отключенном питании приемника (транспондера); возможность групповой или индивидуальной передачи больших объемов данных; централизованный доступ к информационным ресурсам и децентрализованное управление локальными телекоммуникационными ячейками (микросотами); возможность функционального расширения для обеспечения демонстрации сообщений на экранах внешних терминалов, например, с целью организации новостных лент), а также для синтеза речи; относительно небольшая емкость телекоммуникационной системы с возможностью ее оперативного увеличения.

В настоящее время рынок локальных пейджинговых систем крайне мал и локализован, в основном, стандартом POCSAG 512,1200 (16 каналов, 25 Вт, 146-174 МГц), типичным для городских сетей персонального радиовызова, ориентированным на адресную передачу сообщений и не имеющим обратной связи передатчика базовой станции и абонентского приемника. Вместе с тем, для построения локальных сетей, полностью отвечающих указанным выше задачам и требованиям, целесообразно использовать активно развивающуюся технологию RFID, т.е. метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых

транспондерах, или RFID-метках (англ. *Radio Frequency Identification* – радиочастотная идентификация). Пейджинговая система, построенная по данной технологии, позволит переопределить RFID-транспондеры как пейджинговые терминалы, обеспечивая как передачу информации, так и считывание персональных данных, т.е. регистрацию RFID-метки. Последнее обстоятельство позволяет эффективно решать вопросы логистики в учреждениях по отношению к имеющимся человеческим ресурсам и связанным с ними процессам. В качестве основы для построения пейджера наиболее целесообразно использовать полупассивные метки ближнего диапазона 863÷868 МГц (открытого для свободного использования в Российской Федерации), позволяющие, во-первых, при подключении питания обеспечить дальность до 10 метров и более, во-вторых, в отсутствии питания осуществить полноценную регистрацию абонента за счет стационарного или мобильного сканера на основе индуцирования в антенне пейджера электромагнитного поля, обеспечивающего достаточную мощность для функционирования размещённого в метке (RFID-пейджере) кремниевого CMOS-чипа, и передачи ответного сообщения методом модуляции отражённого сигнала несущей частоты – модуляции обратного рассеяния – рис. 1.

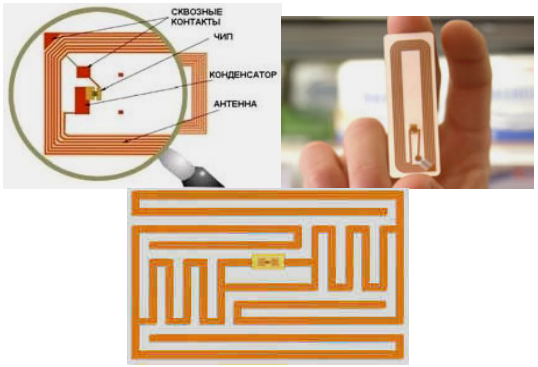


Рис. 1. Образцы пассивных RFID-меток

При подключении источника питания полупассивный приемник превращается в активный, обеспечивая высокую точность считывания на максимальном расстоянии при жизни батареи питания до 10 лет. Дальнейшим развитием технологии локального RFID-пейджера является встраивание сенсоров, например, для мониторинга и регистрации толчков/вибраций, радиации, температуры и газов в атмосфере (например, этилена) с целью повышения защищенности абонента, что крайне важно в местах большого количества незащищенных людей, например, в дошкольных, учебных и медицинских заведениях, санаториях, конференциях и т.п.

В отношении функционирования RFID-пейджинговой сети может быть употреблена терминология «*update in situ*» – модификация на месте, т.е. в локальной области нахождения абонента при его непосредственной регистрации (обнаружения), а также оперативное исправление, коррекция имеющейся информации и ее модификация без создания новой версии данных.

Использование доступных RFID-технологий, а именно, технологии «кремний-на-изоляторе», позволяет создать исключительно тонкий приемник размерами 0,15×0,15 мм (не включая антенну) толщиной 7,5 мкм. В целом, размеры приемника будут диктоваться такими узлами, как дисплей, органы управления, антенна, которые по размерам превосходят чип во много раз.

С целью дальнейшего уменьшения массогабаритных и стоимостных показателей в качестве основной элементной базы пейджеров и терминалов (базовых станций) RFID-системы с учетом сигнальной и функциональной загрузок радиоканала возможно использование динамически реконфигурируемых процессоров аналоговой обработки сигналов – dpASP Anadigm, осуществляющих обработку сигналов в реальном времени – рис. 2.

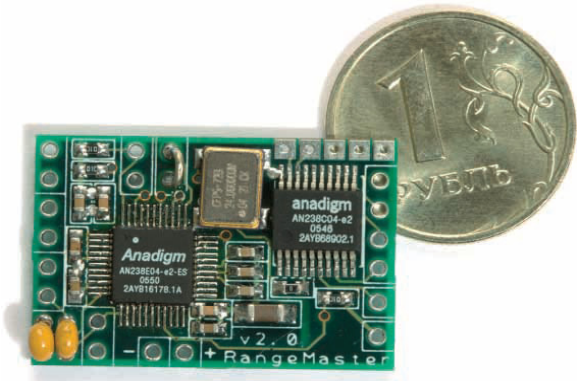


Рис. 2. RFID-терминал на базе аналогового процессора dpASP Anadigm и ПАИС Anadigm

Подобное решение позволит добиться более высоких тактико-технических показателей, чем использование типичных цифровых приемников. Снижению стоимости и уменьшению массы и габаритов послужит и использование бюджетного дисплея из так называемой электронной бумаги (e-paper) – рис. 3.



Рис. 3. Пример «бумажного» дисплея

Функционирование системы в разрешенном частотном диапазоне на основе использования типичного для мобильных телекоммуникаций принципа повторного использования частот с низким уровнем излучения репитеров и пейджеров позволит развернуть ее на локальной территории без существенного ухудшения общего электромагнитного фона. Предполагается, что работы по созданию опытного образца и макетированию при существующем уровне доступных технологий займут не более 2-х лет.

СТАНЦИЯ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Суматохина К.В., Китаева М. В., Охорзина. А. В.

Научный руководитель Юрченко А. В, д.т.н, профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:ameba_89@mail.ru

В условиях уменьшения мировых запасов природного топлива (невозобновляемых ресурсов), большое внимание уделяется использованию солнечной энергии путем прямого преобразования в электрическую. Для этой цели применяются кремниевые солнечные элементы (СЭ). Они являются главным источником электроэнергии в космических аппаратах. Однако широкое использование СЭ на Земле сдерживается их значительной стоимостью. Снижение стоимости кремниевых солнечных элементов в основном ведется за счет уменьшения стоимости монокристаллического кремния и создания дешевых пленочных элементов на основе аморфного кремния. В обоих случаях важны деградационные и энергетические характеристики СЭ и соответственно солнечных батарей (СБ) изготавливаемых на их основе.

При преобразовании солнечного излучения (особенно при высоких уровнях солнечной радиации) в СБ выделяется некоторое количество тепла, и рабочая поверхность может нагреваться до 80-100 °С. Это приводит к повышенному износу параметров СЭ и снижению энергетических характеристик СБ при их использовании. Концентрация дефектов, определяющая степень деградации параметров элемента, будет зависеть не только от плотности интегрального потока солнечной радиации, но и от рабочей температуры СБ [1]. Поэтому необходимо изучение влияния температуры и освещенности на фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых СЭ работающих в натурных условиях.

До этого момента такая процедура производилась на мобильной станции мониторинга (рис. 1).

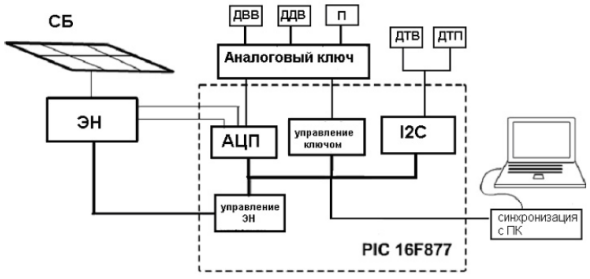


Рис. 1. Блок – схема станции мониторинга

Станция работает следующим образом. Измерения начинаются в начале каждого часа. Затем, однократно с интервалом в одну минуту, регистрируется вольт – амперная характеристика (ВАХ) СБ, ее температура, температура воздуха, вычисляется рабочая точка ВАХ. По истечению пятнадцати минут измерения прекращаются до начала следующего часа. В итоге одного цикла для каждого параметра набирается одномерный массив, состоящий из пятнадцати элементов. Далее массив усредняется, и полученный результат сохраняется в файл данных. Причем, результаты измерения, где ток короткого замыкания СБ меньше 0.1 А не сохраняются. Такие значения тока короткого замыкания соответствуют сумеркам или ночной фазе суток и не представляет интереса для исследования [2].

Подобная схема реализации не позволяет измерять ВАХ при низкой освещенности. Количество точек ВАХ при Sr ≤ 300 Вт/м^2 составляет 2-3 точки. Поэтому провели модификацию схемы измерения ВАХ на основе магазина сопротивлений и микроконтроллера OLIMEX-LPC-P2378. Число снимаемых точек достигает 30, что позволяет увеличить точность измерений.

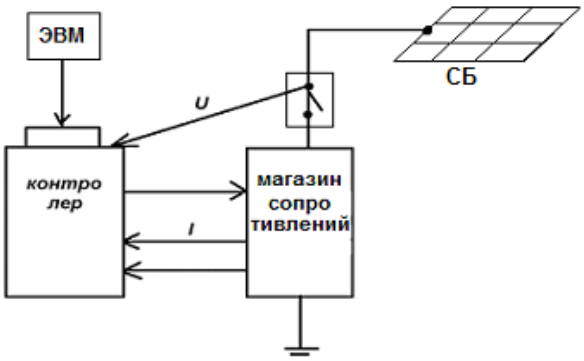


Рис. 2. Структурная схема станции мониторинга

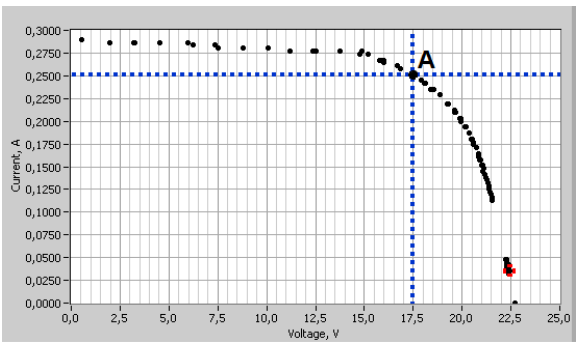


Рис. 3. Измерение ВАХ. А-рабочая точка

При запуске программы подается сигнал на МК, который подает управляющий сигнал на реле, которые подключают нагрузку. Нагрузка представляет собой магазин сопротивлений от 1 Ом до 8 кОм, что позволяет измерить ВАХ с большой точностью и определить рабочую точку (рис. 3).

Управление станцией происходит при помощи программы, созданной на платформе LabVIEW (рис. 4).

В левом нижнем углу окна управления программой представлено 14 переключателей, которые позволяют проводить измерения в ручную, что дает возможность наиболее точно оценивать работу СБ.

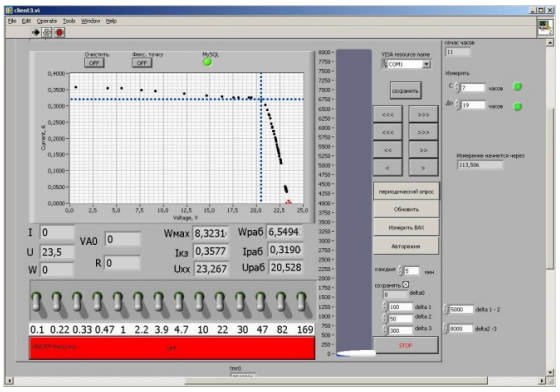


Рис. 4. Окно программы LabVIEW

Разработанная станция мониторинга совместно с TOR-станцией позволяет измерять ВАХ СБ, определять ее параметры и измерять основные параметры климата. Это позволяет определить эффективность работы СБ при различных погодных условиях.

Данная станция установлена на крыше Института Оптики Атмосферы в Академгородке и подключена к СБ мощностью 25 Вт , установленной под углом 45^{o} к горизонту в направлении на юг. Данные измерения автоматически регистрируются и отображаются на сайте lop.iao.ru с января 2011 года (рис. 5).

Выводы

3. Была модифицирована конструкция станции мониторинга и написана программа для измерения ВАХ СБ.

4. Измеренные характеристики СБ мощностью 25 Вт можно наблюдать в on-line-режиме по адресу http://lop.iao.ru/activity/?id=sb

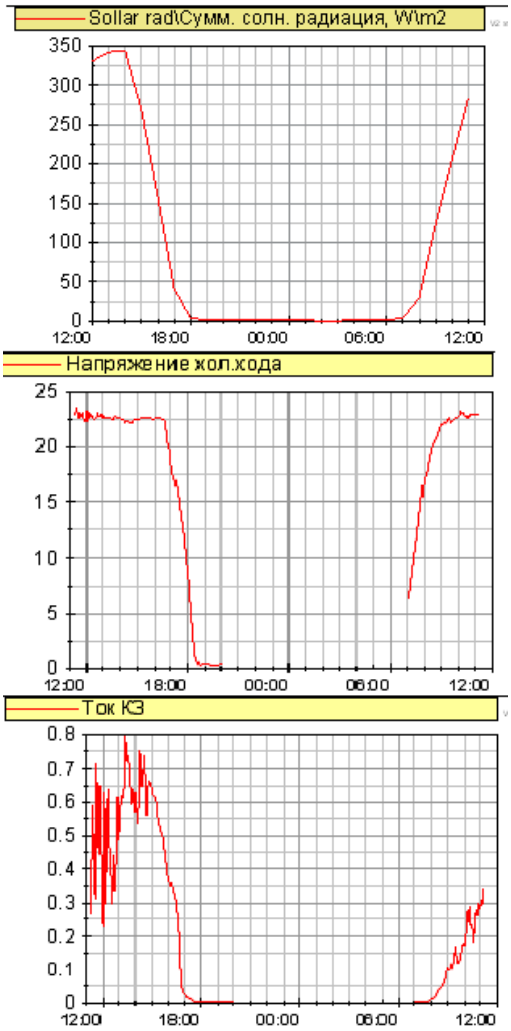


Рис. 5. Измерения станции

Список литературы

1. Бариков М.Я. Фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых солнечных элементов при повышенных освещенностях и температурах. // Физика и техника полупроводников. 1997. т. 31 №5 С. 520 – 522
2. А.В. Юрченко, А.В. Козлов, Мобильная станция мониторинга работы солнечных батарей в натурных условиях.// Датчик и системы, 2006.-№9.-С. 64-67.
3. http://lop.iao.ru/activity/?id=sb

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ МИКРОВОЛНОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

Тарасюк Е.А.

Научный руководитель: Шиян В.П., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tarasukea@mail.ru

Доминирующей причиной аварий на действующих газо- нефтепроводах России является коррозия под напряжением, стресс-коррозия. Для надежной и безопасной работы трубопроводов проводится диагностика их технического состояния.

В настоящее время существует множество методов для диагностики технического состояния газо- и продуктопроводов. Таких как: магнитный метод, вихретоковый, акустический, радиографический, метод инфракрасной термографии.

Среди прочих основных направлений диагностики нефте- и газопроводов, таких как: контроль качества сварных швов, выявление коррозионных повреждений, насущным представляется обнаружение зародившихся и развивающихся сквозных дефектов, приводящих к утечке продукта и крупным катастрофам.

Из практики эксплуатации газо- и продуктопроводов известно, что если сквозной дефект представляет собой трещину, то разрушения трубопроводов обычно имеют большую протяженность, доходящую иногда до нескольких километров, и носят лавинный характер. Это еще раз подтверждает то, насколько важно получение достоверной и своевременной информации о состоянии трубопровода.

В данной работе рассматривается новый перспективный способ обнаружения сквозных дефектов газопроводов радиоволновым методом, защищенный патентом Российской федерации. Представлен микроволновый дефектоскоп, который является одним из вариантов реализации данного запатентованного способа. С его помощью можно осуществлять постоянный контроль герметичности ответственных участков газо- и продуктопроводов [1].

Для экспериментального подтверждения данного метода, изготовлен действующий лабораторный макет микроволнового дефектоскопа, реализующего предложенный способ контроля газопроводов. Структурная схема макета приведена на рис. 1.

Сформированный генератором СВЧ – сигнал через развязывающее устройство (вентиль) 2 и трансформатор типа волны 3 подается в трубу – волновод 4 диаметром 76 мм и длинной 800 мм. Для обеспечения режима бегущей волны труба нагружена на согласованную нагрузку 5. Излученный через сквозной дефект сигнал принимается антенной 6, детектируется, обрабатывается и отображается на экране персонального компьютера.

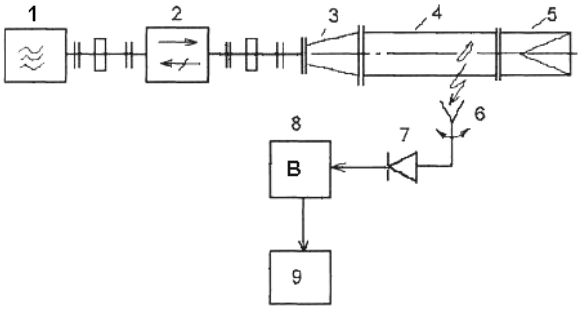


Рис. 1. Структурная схема макета микроволнового дефектоскопа:
1 – генератор СВЧ; 2 – вентиль; 3 – трансформатор типа волн; 4 – трубопровод; 5 – согласованная нагрузка; 6 – антенна; 7 – детектор; 8 – блок обработки; 9 – персональный компьютер

В качестве СВЧ генератора в макете применяется арсенид – галлиевые диоды Ганна с рабочей длинной волны 8 мм и 3 см. На волне 3 см это диод типа АА715Д с выходной мощностью до 300 мВт в непрерывном режиме. Данный тип диода позволяет осуществить перестройку частоты в диапазоне от 8 до 12 ГГц, имеет напряжение питания 9.5 В при рабочем токе до 1.5 А. Данный источник СВЧ – колебаний полностью удовлетворяет предъявляемым критериям по мощности, потреблению энергии при доступной рыночной цене.

Для развязки генератора от СВЧ – тракта и для исключения возможности возникновения стоячих волн в волноводах применен ферритовый вентиль. Данный вентиль, как и генератор, конструктивно выполнен таким образом, чтобы являться частью прямоугольного волновода. Трубопровод же, контролировать который и является задачей разрабатываемого прибора, имеет круглое сечение. Соответственно, для возбуждения колебаний в трубопроводе необходимо трансформировать СВЧ – волну в тип, пригодный для распространения с наименьшим затуханием в волноводе круглого сечения. В качестве трансформатора типа волны (блок № 3 на рисунке 1) в макете микроволнового дефектоскопа применен переход с прямоугольного волновода на круглый со внутренним диаметром $d_1 = 30$ мм [2].

Однако одним из наиболее распространенных типоразмеров для газопровода является диаметр 76 мм. Данным фактом обусловлен выбор диамет-

ра трубы в макете дефектоскопа, для чего потребовалось выполнить конусный согласующий переход с диаметра 30 мм на диаметр 76 мм. Из практического опыта известно, что для передачи СВЧ – волны с наименьшими потерями необходимая длина такого перехода должна составлять восемь длин волн (8λ). При используемых колебаниях сверхвысокой частоты с длиной волны 3 см длина согласующего перехода составила 240 мм. В этом переходе осуществляется постепенная деформация прямоугольного поперечного сечения в круглое, при котором волна типа H_{10} плавно трансформируется в волну типа H_{11} круглого волновода.

В качестве модели газо – или продуктопровода в лабораторном макете используется труба из оцинкованной стали длинной 0.8 м с толщиной стенки 0,8 мм.

В стенке трубы выполнен пропил протяженностью 15 мм и шириной 1 мм, являющийся моделью сквозного дефекта – трещины. Как видно из рисунка 1, к фланцу модели трубопровода прикреплена согласованная нагрузка, представляющая собой заглушенный с одного конца отрезок трубы с находящимся внутри диэлектрическим конусом, покрытым слоем графита. Согласованная нагрузка устраняет возникновение стоячих волн в трубе – волноводе за счет полного поглощения СВЧ – колебания [2].

В макете в качестве приемника использован детектор Д604 СВЧ колебаний с длинной волны 3 см, что соответствует длине волны излучаемых генератором колебаний. Одной из наиболее важных характеристик детектора является чувствительность по току, которая составляет 2,5А/Вт. Д604 преобразует непрерывные колебания сверхвысокой частоты в постоянный ток. При известной чувствительности детектора с помощью простых арифметических операций, зная наибольшую мощность генератора (300 мВт), можно определить ток детектора.

Электромагнитная волна, излучившаяся через дефект в трубе в окружающее пространство, принимается рупорной СВЧ антенной. Антенна конструктивно соединена с детектором Д604 и сканирует всю длину трубы, перемещаясь посредством привода от реверсивного электродвигателя РД – 09 со встроенным редуктором. Электрическая схема включения двигателя в сеть имеет напряжение 127В. В связи с этим РД-09 подключается к сети 220В через понижающий трансформатор.

Аналоговый сигнал от дефекта, проходя через АЦП, преобразуется в дискретный код (цифровой сигнал) и обрабатывается с помощью программируемого контроллера, после чего выводится на экран компьютера. Для выполнения этой задачи служит блок обработки информации, функциональная схема которого представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема блока обработки информации макета дефектоскопа

При проектировании блока 8 схемы, показанной на рисунке 1, используется микроконтроллер ATMEGA16 – AI со встроенным аналого-цифровым преобразователем. Передача информации на персональный компьютер осуществляется через последовательный порт COM с использованием интерфейса RS232. Полученный сигнал отображается на мониторе ПК с помощью симулятора цифрового осциллографа, разработанного в среде Dalphi, системы визуального объектно–ориентированного проектирования.

Список литературы

1. Патент РФ № 2020467 от 03.07.91 г. Способ обнаружения сквозных дефектов в трубопроводах/ А.П. Арзин, В.Л. Жуков, С.Ю. Левин, В.П. Овчинников, А.Ф. Саяпин, Г.О. Фетисов, В.П. Шиян, Ю.Г. Штейн.
2. Техника и приборы СВЧ: Учебник/Лебедев И.В.; Под ред. академика Девяткова Н.Д.-М.: Высшая школа, 1970 – 440 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОГО КАНАЛА НА ПАРАМЕТРЫ ДЕТЕКТОРА

Терехин И.В., Тимофеев В.Н., Сажнев С.В.

Научный руководитель: Тимофеев В.Н., д.т.н., профессор

ООО «Элточприбор», г. Зеленоград, Панфиловский пр-т, 10
E-mail: terehin-gas@yandex.ru

Одна из важнейших задач современной химии и экологии – надежный и точный анализ химических веществ. Без этого невозможно проведение химических, биохимических и медицинских исследований, на этом в значительной степени базируются экологические методы анализа окружающей среды. Одним из методов, позволяющих выявить и количественно определить концентрацию опасных химических веществ, является газовая хроматография[1]. Метод газовой хроматографии – один из самых современных методов многокомпонентного анализа, его отличительные черты – высокая точ-

ность, чувствительность, автоматизация. Метод позволяет решить многие аналитические проблемы. Количественный газовый хроматографический анализ можно рассматривать как самостоятельный аналитический метод, более эффективный при разделении веществ, относящихся к одному и тому же классу (углеводороды, органические кислоты, спирты и т.д.). Этот метод незаменим в нефтехимии (бензины содержат сотни соединений, а керосины и масла – тысячи), его используют при определении пестицидов, удобрений, лекарственных препаратов, витаминов, наркотиков и др.

Газовая хроматография – метод разделения летучих компонентов, при котором подвижной фазой служит инертный газ (газ-носитель), протекающий через неподвижную фазу с большой поверхностью. В качестве подвижной фазы используют водород, гелий, азот, аргон, углекислый газ. Газ-носитель не реагирует с неподвижной фазой и разделяемыми веществами. Разделение основано на различиях в летучести и растворимости (или адсорбируемости) компонентов разделяемой смеси.

В хроматографе анализируемая смесь газов разделяется в колонке на составляющие и поступает в детектор – прибор, преобразующий результаты разделения в форму, удобную для регистрации. Наиболее применяемым в хроматографах детектором является тепловой детектор (ДТП), принцип действия которого основан на измерении теплоемкости газов[2,3].

Наиболее точные и надежные результаты дает применение ДТП, выполненного по МЭМС-технологии. Данная работа посвящена исследованию изменения характеристик такого детектора в зависимости от его конструкции и применяемых материалов.

Исследуемый ДТП представляет собой прямоугольное металлическое основание из нержавеющей стали, в котором просверлены необходимые отверстия для подачи газа в две симметрично расположенные микрополости – сравнительную и измерительную, в которые помещены МЭМС-датчики. Принцип действия детектора заключается в сравнении сигналов датчиков из двух газовых каналов, по одному из которых протекает газ-носитель, а по второму газ-носитель с пробой исследуемого газа, разделенного на компоненты в хроматографической колонке. Сигнал датчика определяется изменением теплопроводности газовой смеси по сравнению с теплопроводностью газа-носителя.

В качестве чувствительных элементов используются датчики на кристаллах кремния, выполненные по МЭМС-технологии и помещенные в эти полости (рис. 1).

Первоначально конструкция детектора подразумевала прохождение всего газового потока каждого канала через соответствующую полость газовой камеры. Но это приводило к нестабильным показаниям датчика, предположительно, из-за возникающих турбулентных потоков.

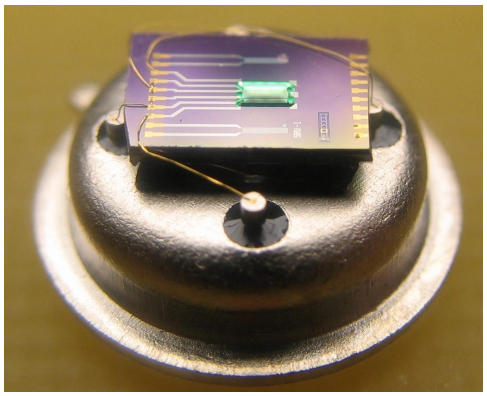


Рис. 1. фотография датчика

Для исключения турбулентного потока газа при обтекании датчика и оптимального режима работы устройства, была применена байпас-технология, заключающаяся в том, что датчик обтекается только частью газового потока (рис. 2). Было проведено компьютерное моделирование газового потока в канале, которое показало, что при применении данной конструкции турбулентные потоки отсутствуют в камерах датчика при рабочей величине расхода газа.

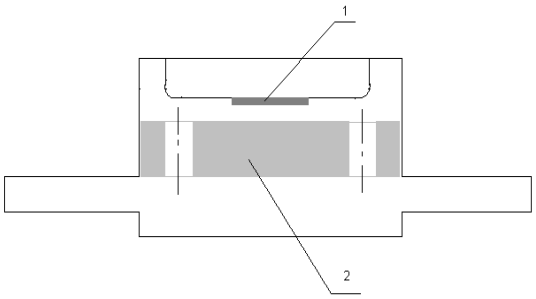


Рис. 2. Схема газовой камеры со вставкой:
1 – датчик; 2 – вставка

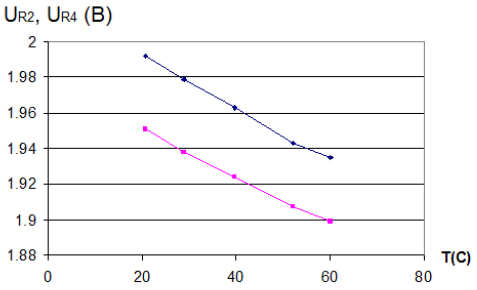


Рис. 3. Зависимость сигналов в плечах моста датчика от температуры

Было реализовано два варианта вставок: из дюралюминия и фторопласта. Для исследования характеристик датчик был подключен к персональному компьютеру через АЦП. Так же в схему были включены датчики температуры. При повышении температуры, сигнал в плечах моста, принадлежащих одному кристаллу, падает одинаково (рис. 3). Это дает возможность ввести термостабилизацию и скомпенсировать влияние внешней температуры для получения более стабильных и точных результатов.

При проведении испытаний выяснилось, что от материала вставки зависит форма сигнала датчика (рис. 4). Металлическая вставка позволила получить большую чувствительность, чем фторопластовая.

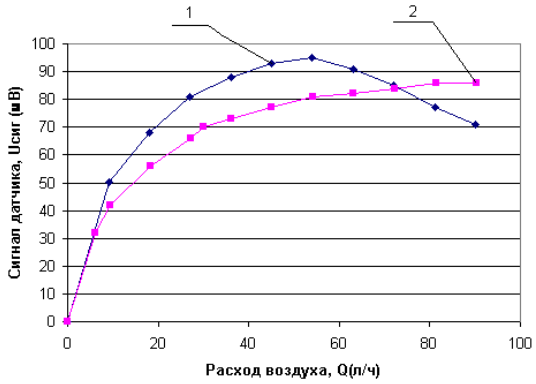


Рис. 4. Зависимость сигнала датчика от расхода воздуха при различных вставках: 1 – металл; 2 – фторопласт

На графике видно, что для варианта с металлической вставкой, насыщение происходит при расходе воздуха равном примерно 60 л/ч. При повышении расхода наблюдается падение сигнала датчика. Данная особенность не является критичной, если учесть, что данное устройство будет работать в хроматографе при меньших расходах.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что предпочтительным материалом для создания газового канала является металл. Применение металла позволяет уменьшить время отклика датчика, увеличивая быстродействие всего прибора. Увеличивается точность и надежность измерений. Созданный на основе МЭМС-технологий детектор по теплопроводности может заменить собой более дорогостоящие ДТП, применяемые в современных хроматографах, не уступая им по характеристикам.

Список литературы

1. Баффингтон Р., Уилсон М. Детекторы для газовой хроматографии: пер. с нем., – М.: Мир, 1993. – 80с.
2. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха, – М.: «Химия», 1981. – 256с.
3. Хайвер К. и др. Высокоэффективная газовая хроматография. – М.: Мир, 1993. – 326с.

ИНТЕРФЕЙС СВЯЗИ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА С ЭВМ

Ткаченко И.Ю.

Научный руководитель: Глотов А.Ф., доцент ТПУ

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tkachenkoivan@sibmail.com, IME@tpu.ru

За последние десятилетия, быстро развивающиеся цифровые методы обработки сигналов были внедрены во многие разделы науки и техники и стали для них прочной теоретической базой. Перспективной областью применения цифровых устройств является обработка биомедицинских сигналов, обработка экспериментальных данных в геодезии, геологии и т. д. непосредственно в процессе их получения.

Цифровая обработка сигналов имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими способами: хорошую стабильность и воспроизводимость параметров; отсутствия воздействия таких дестабилизирующих факторов, присущих аналоговым узлам, как температура и временной дрейф, разброс параметров элементов, воздействие различных помех и т. д.; гибкость; возможность программной реализации алгоритмов обработки измерительной информации и изменения параметров аппаратуры; создание адаптивных систем с перестраиваемой структурой; простоту настройки и повышения метрологических характеристик без использования таких трудоемких и прецизионных операций, как подгонка номиналов компонентов.

В данной работе разрабатывается программно-аппаратный комплекс для изучения методов и средств цифровой обработки, который позволяет работать с сигналами, поступающими через соответствующий интерфейс на ЭВМ от физического объекта либо с сигналами, генерируемыми ЭВМ.

В качестве исходной информации будем использовать сигнал с произвольно выбранного прибора, который с помощью разработанного устройства ввода будет передаваться в ЭВМ (хранится в файле данных).

После передачи ЭВМ приступит к обработке сигнала и выдачи результатов на монитор. С полученным сигналом можно производить любые операции, такие как спектральный анализ, подавление низких или высоких частот и другие.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 1.

Основу устройства составляет микроконтроллер DD5 – DSPIC30F6011A

На него возложены функции измерения напряжения поступающего на вход АЦП (12 разрядов до 200 киловыборок в секунду), дальнейшее накопление выборок в памяти и передачу информации на ПК.

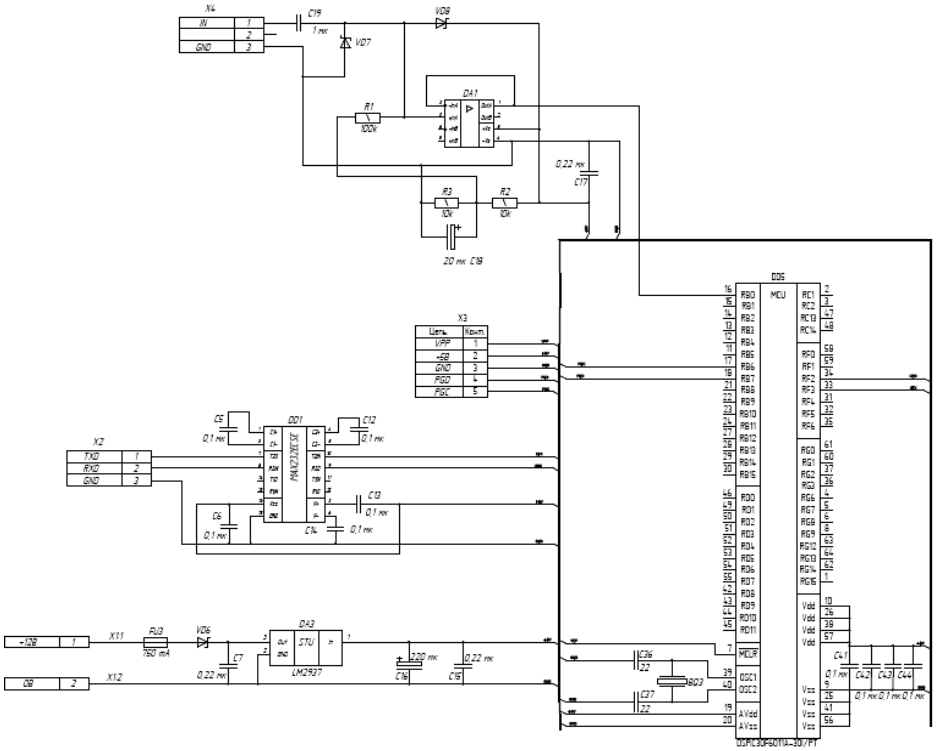


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

Для связи с ПК использован интерфейс RS-232, поэтому необходимо использование микросхемы для согласования уровней с 5В логикой – DD1 MAX232. Питание в данном приборе гальванически отвязано от первичного источника напряжения 12В с помощью DC/DC преобразователя, который в свою очередь формирует на выходе стабилизированное напряжение 5В для питания всей схемы. Микросхема DA1 в свою очередь применена в качестве усилителя с единичным коэффициентом усиления и служит для преобразования входного переменного двухполярного сигнала ±2.5В в однополярный 0-5В для подачи на АЦП. Для защиты на входе стоят диоды VD7,VD8.

Микроконтроллер осуществляет функцию преобразования аналогового напряжения с АЦП в код для дальнейшей обработки. С компьютера возможно менять такой параметр как период выборок и количество выборок (около 3000), которое ограничено ОЗУ микроконтроллера.

На рис. 2. приведен основной алгоритм работы микроконтроллера.

В начале основного алгоритма микроконтроллера происходит настройка всех портов и периферийных устройств. Затем происходит проверка флага преобразования, если он равен 1, то начинается АЦП преобразования. Период их задается с помощью таймера АЦП преобразований. Далее происходит запись результата в ОЗУ. И проверка, на последний результат, если это последний, то флаг завершения преобразования =1. Такие параметры как количество преобразований и период выборки устанавливаются со стороны ПК. Также с ПК можно запускать АЦП преобразование и читать флаг завершения серии выборок.

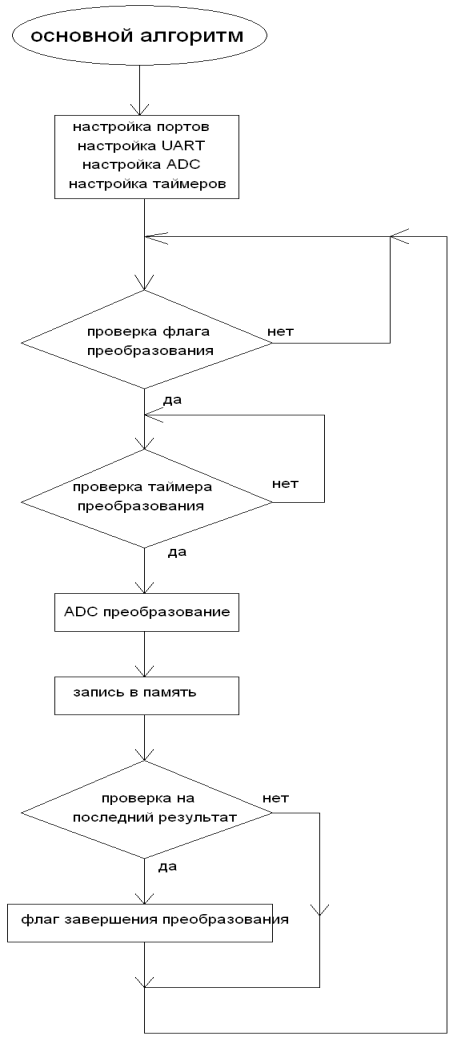


Рис. 2. Основной алгоритм работы микроконтроллера

Степень участия пользователя может ограничиться общение с системой на уровне входных и выходных данных. При достаточной начальной подготовке или в процессе обучения пользователь может разрабатывать и реализовывать сами алгоритмы обработки сигналов, т. к. система открыта для расширения.

Список литературы

1. Карташев В. Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. Школа, 1982.
2. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: учеб. Пособие для вузов/ М. М. Гольденберг, Б.А. Матюшкин, М.Н. Поляк. – 2-изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1990.
3. Введение в цифровую фильтрацию / под ред. Р. Богнера и А. Константинидиса. Пер. с англ., под ред. Л. И. Филиппова. М., Мир, 1976.

ЛАЗЕР НА ПАРАХ МЕДИ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ИОДИДА И ХЛОРИДА МЕДИ

Ткаченко Н.Ю., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А.

Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

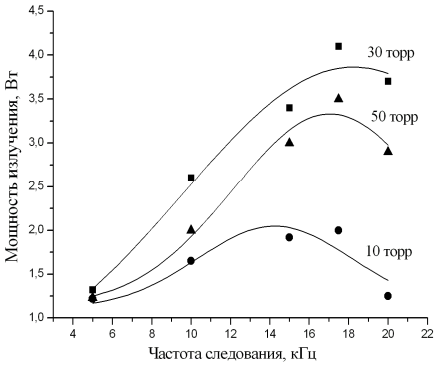
В работе продолжены исследования нового типа лазеров на парах металлов с внутренним реактором галогенида металла. Принцип его работы основан на взаимодействии в разряде галогена в чистом виде (Br_2, Cl_2, I_2) с кусочками металла, расположенными в канале разрядной трубки с дальнейшей диссоциацией галогенида металла и его возбуждением. В отличие от гибридного лазера [1], в котором через активную среду с кусочками металла прокачивается галогеноводород, предлагаемый нами тип лазеров способен работать в отпаянном режиме. В работах [2, 3] изучались характеристики подобных систем в газоразрядных трубках (ГРТ) с малым объемом активной среды (90 $см^3$).

В данной работе исследовались ГРТ диаметром 2 см, длинной 50 см. В качестве металла использовалась медь, а в качестве галогенов йод (для ГРТ с внутренними электродами) и хлор (для ГРТ с внешними электродами). Исследовались зависимости мощности генерации от давления буферного газа Ne, частоты следования импульсов (ЧСИ), мощности накачки, температуры стенки ГРТ и давления йода.

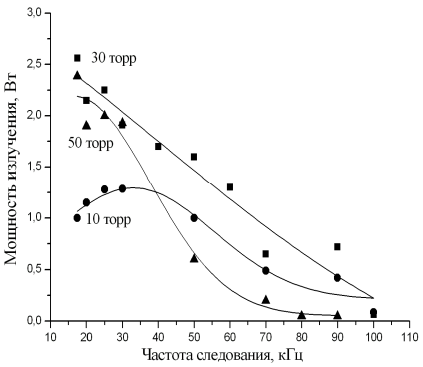
Поведение мощности от ЧСИ изучалось для разных давлений буферного газа при постоянной температуре стенки ГРТ. На рис. 1, *а* представлена частотная зависимость выходной мощности в диапазоне 5–20 кГц при использовании тиратрона в качестве коммутатора, а на рис. 1, *б* с таситроном (15–100 кГц). Для случая (*а*) при увеличении ЧСИ рабочую емкость приходилось уменьшать от 2777 пФ на 5 кГц до 825 пФ на 20 кГц. Для случая (*б*) рабочая емкость уменьшалась от 825 пФ на 15 кГц до 200 пФ на 100 кГц.

Результаты эксперимента показали, что наилучшие характеристики получены с тиратроном, который позволяет формировать импульсы накачки с более крутыми фронтами. Оптимальная область давления буферного газа Ne, как и в гибридных лазерах, составила 30–40 торр. Максимальная мощность генерации 4,1 Вт с КПД 0,4 % соответствует частоте 17,5 кГц. В целом, область оптимальных ЧСИ 17–30 кГц соответствует ЧСИ стандартных лазеров на парах галогенидов металлов (ЛПГМ) и гибридных лазеров.

Определение оптимальной концентрации йода показало, что максимальная мощность излучения лазера при мощность накачки 1000 Вт, емкости 825 пФ, напряжении 5 кВ и температуре стенки $T_{ст}$ 600 °С лежит в области 74–76 °С, что соответствует давлению насыщенного пара йода 10–12 торр.



а



б

Рис. 1. Зависимости мощности генерации от ЧСИ Cu+I_2–лазера. а – коммутатор тиратрон ТГИ1-1000/25, б – коммутатор таситрон ТГУ1-1000/25

едение мощности в зависимости от температуры стенки ГРТ изучалось для двух ЧСИ 17,5 и 50 кГц (рис. 2). Давление буферного газа составляло 20 торр, а потребляемая мощность в обоих случаях поддерживалась на одинаковом уровне. Из приведенных зависимостей видно, что область оптимальных рабочих температур лазера на парах меди с внутренним реактором галогенида йода меньше, чем для CuBr и тем более для CuHyBrID-лазеров (650 °С и выше). Так, например для 17,5 кГц она лежит в пределах 450–600 °С. Скорее всего это связано с тем, что энергия диссоциации молекулы CuI меньше, чем CuBr и CuCl, и при этих температурах CuI достаточно хорошо разлагается термически наряду с электронным ударом.

На рис. 3 показана зависимость выходной мощности от мощности накачки при давлении Ne 20 торр, $T_{ст}$ 600°С и разных ЧСИ. Аналогичная картина наблюдалась ранее и для CuBr- лазера с насыщением мощности.

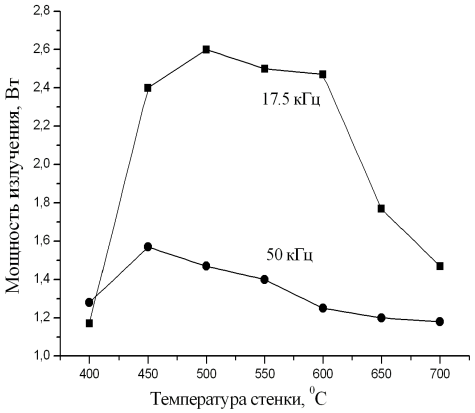


Рис. 2. Зависимости мощности генерации от $T_{ст}$

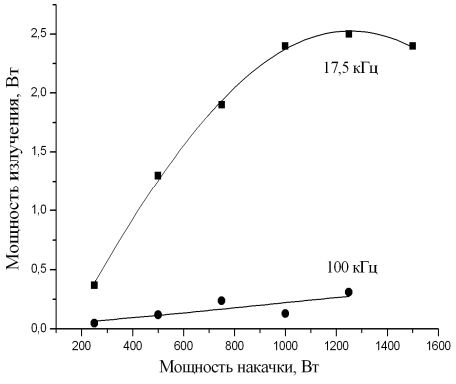


Рис. 3. Зависимость мощности излучения от мощности накачки для разных ЧСИ

С целью выяснения влияния H_2 на энергетику лазера на парах меди с внутренним реактором иодида меди добавки водорода разного давления вводились в активную зону исследуемого лазера. Однако эффект оказался отрицательным. С увеличением давления добавки мощность генерации падала с 2,6 Вт без водорода до 0,3 Вт с добавкой водорода 0,3 торр, несмотря на то, что в электрических импульсах происходили присущие ЛППГМ изменения.

Если учесть, что основную роль в улучшении характеристик играет не сам водород, а молекула галогеноводорода, которая снижает предымпульсную плотность электронов, то HI, по сравнению с HBr и HCl, обладает самой слабой химической связью, и эта молекула очень неустойчива в исследуемом диапазоне температур. То есть концентрация HI в рабочем объеме очень мала.

Таким образом, исследуемый лазер на парах меди с внутренним реактором иодида меди показал неплохие генерационные характеристики. Сравнивая их с характеристиками CuBr-лазера такого же объема, исследуемого нами ранее можно отметить, что без добавок H_2 CuBr-лазер при аналогичных условиях накачки генерировал с мощностью порядка 3 Вт по сравнению с 4 Вт в исследуемом лазере. Однако при использовании добавки его мощность увеличивалась до 8 Вт.

Наряду с этим, описанная выше система с внутренними электродами имеет свои недостатки. В первую очередь это связано с тем, что йод загрязняет электроды, вступая в химическую реакцию с материалами из которых они изготовлены. Поэтому целесообразно использовать внешние электроды, применяя для накачки ГРТ барьерный разряд емкостного типа [4]. В такой ГРТ в качестве галогена использовался хлор. В таблице 1 приведена частотная зависимость мощности излучения $Cu+Cl_2$ лазера. Мощность накачки изменялась от 600 Вт до 1 кВт. Собственные емкости электродов составляли 300–400 пФ.

Данная ГРТ показала стабильную работу в течение длительного времени, т.е. появляется возможность увеличения срока службы ГРТ.

Таблица 1

Зависимость мощности генерации от ЧСИ

f, кГц	$P_г$, Вт
25	1,8
27,5	2,1
27,9	1,97
31,7	2,05

Исходя из полученных результатов можно заключить, что отпаянные активные элементы ЛППМ с внутренним реактором галогенида металла с наработкой солей металлов непосредственно в активной зоне ГРТ во время работы лазера будут обладать следующими преимуществами перед известными аналогами:

- простота и безопасность в получении безводных галогенидов;
- возможность регулирования паров галогена с низкой температурой 70–150 °С, что гораздо ниже температуры контейнеров с галогенидом металла в обычных ЛППГМ 450–550 °С;
- возможность получения любых солей в одной ГРТ;
- более быстрый выход на рабочий режим;
- мобильность благодаря отпаянной конструкции активного элемента.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки, проекты: РНП.2.1.2/1425, РНП.2.1.2/13145.

Список литературы

1. Jones D,R,, Maitland A,, Little C,E, A high-efficiency 200 W average power copper HyBrID laser // IEEE J. Quantum Electron. – 1994. – Vol. 30. – № 10. – P. 2385–2390.
2. Шиянов Д.В., Суханов В.Б. Особенности работы ЛПМ с внутренним реактором галогенида металла // Сборник трудов Симпозиума "Лазеры на парах металлов (ЛПМ – 2010)". – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2010. – С. 96.
3. Губарев Ф.А. Шиянов Д.В. Ткаченко Н.Ю. Частотно-энергетические характеристики лазера на парах бромида меди с внутренним реактором галогенида // Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 184–186.
4. Gubarev F.A., Sukhanov V.B., Evtushenko G.S., Fedorov V.F., Shiyanov D.V. CuBr Laser Excited by a Capacitively Coupled Longitudinal Discharge // IEEE J. Quantum Electron. – 2009. – Vol. 45. – No 2. – P. 171–177.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЯРКОСВЕТЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Губарев Ф.А.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: torgaev@tpu.ru

Одной из перспективных областей применения CuBr-лазеров и усилителей яркости на их основе является построение активных оптических систем, таких как лазерный проекционный микроскоп и лазерный монитор. Достоинством таких систем является возможность наблюдения объектов, экранированных мощной фоновой засветкой, в видимом свете (λ_1=510,6 нм, λ_2=578,2 нм) [1]. В связи с этим представляет интерес проведение оценок максимальных температур, при которых источник засветки не будет вносить искажения в получаемое изображение.

Для оценки максимальной температуры исследуемого объекта или источника внешней засветки, при которой они не вносили бы искажения в получаемое с лазерного монитора изображение, необходимо рассчитать собственный шум усилителя яркости.

Для расчета мощности собственных шумов усилителя необходимо определить значение частотной полосы $\Delta\nu$, в которой происходит усиление. Считается, что основным механизмом уширения линии атома меди является доплеровское уширение [2]. Следовательно, ширина контура линии на полувысоте для CuBr-лазера определяется выражением:

$$\Delta\nu = 7{,}16\cdot10^{-7}\cdot\nu\cdot\sqrt{\frac{T_g}{M}} = 2{,}35\cdot10^{9}\ \frac{1}{c},$$

где ν – частота соответствующая центру линии генерации, которая определяется как c/λ.

Средняя мощность шума на входе усилителя яркости определяется выражением [2]:

$$P_{Ш} = h\cdot\nu\cdot\Delta\nu\cdot\frac{\tau_{ИНВ}}{T}\cdot\left(\frac{d^2}{\lambda\cdot L}\right)^2 \approx 1{,}3 \text{ мкВт},$$

где T = 35,7 мкс – период повторения импульсов, τ = 30 нс – время существования инверсии, которое равно длительности импульса генерации лазера, d и L – диаметр и длина активной зоны, соответственно.

При этом импульсная мощность шумов будет составлять:

$$P_{Ш} = h\cdot\nu\cdot\Delta\nu\cdot\left(\frac{d^2}{\lambda\cdot L}\right)^2 \approx 1{,}12 \text{ мВт}.$$

В дальнейшем будем оперировать с энергиями. Рассчитаем импульсную энергию собственных шумов:

$$E_p = P_{ш\_p}\cdot\tau = 3{,}4\cdot10^{-11} \text{ Дж}.$$

При оценке температуры источника внешней засветки необходимо рассмотреть два случая:

- внешний источник засветки, когда источник засветки расположен между объектом и усилительной средой (рис. 1, а);
- объект с собственной засветкой, т.е. когда сам объект является источником фоновой засветки (рис. 1, б).

Внешний источник засветки

При расчете максимальной температуры объекта по формуле Планка необходимо определить объем области источника засветки, который попадает в область проецируемого на объект пучка. Для этого сделаем допущение, что источник засветки имеет форму параллелепипеда, как показано на рис. 1, а. Из рисунка видно, что искомый

объем представляет собой разность объемов двух конусов. После преобразований получаем:

$$V = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{F^2} \cdot \left(L_1^3 - L_2^3 \right).$$

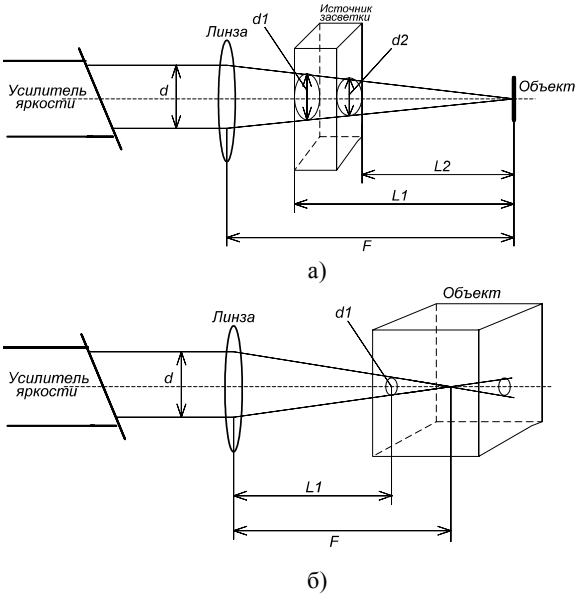


Рис. 1. Оптическая схема лазерного монитора: а – при внешнем источнике засветки; б – в случае, когда объект сам является источником засветки

Выражение для спектральной плотности мощности излучения абсолютно чёрного тела (формула Планком) имеет следующий вид [3]:

$$U(T) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot \nu}{k \cdot T}} - 1},$$

где T – температура источника засветки. Данное выражение описывает спектральную плотность мощности излучения с единицы объема. Для определения энергии излучения на длине волны генерации необходимо умножить спектральную плотность излучения на ширину контура линии $\Delta\nu$. Необходимо также учесть, что данное излучение имеет место со всего выделенного объема. Нежелательным будет являться только та его часть, которая будет попадать в усилитель яркости. Данный эффект можно учесть, умножив полученную энергию излучения на отношение площади окружности с диаметром d_1 к площади всей просвечиваемой области источника засветки (площадь поверхности усеченного конуса). Таким образом, часть энергии излучения источника засветки, которая будет попадать в усилитель яркости, составляет:

$$E(T) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot \nu}{k \cdot T}} - 1} \cdot \Delta\nu \cdot V \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L_1^2}{S_{total} \cdot 4 \cdot F^2}.$$

На рис. 2 приведена зависимость энергии излучения источника засветки от температуры для условий работы [1]. Из приведенной зависимости видно, что минимальной температура, при которой источник засветки будет вносить искажения в получаемое изображение, составляет $T \approx 25000K$.

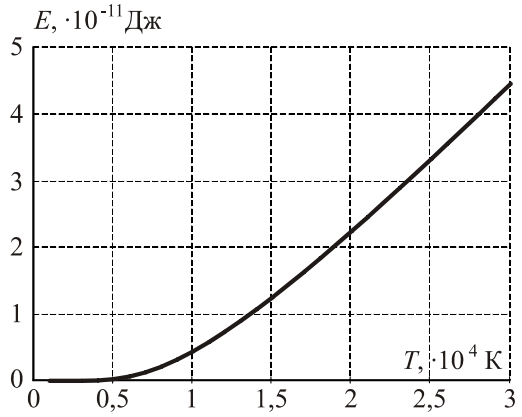


Рис. 2. Зависимость энергии излучения источника засветки от температуры

Объект с собственной засветкой

В данном случае будем вести расчет на худший случай. Излучение от объекта как источника засветки будет формироваться с объема, показанного на рис. 1, б. Это связано с тем, что излучение от остальной части объема не будет попадать в усилитель яркости.

Определим объем, необходимый для вычисления энергии излучения:

$$V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot \frac{d^2 \cdot \left(F - L_1 \right)^3}{F^2}.$$

С учетом отношения площади освещаемой поверхности к площади всего объема, энергия излучения объекта, которая будет попадать в усилитель яркости, составляет:

$$E(T) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot \nu}{k \cdot T}} - 1} \cdot \Delta\nu \cdot V \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \left(F - L_1 \right)^2}{S_{total} \cdot 4 \cdot F^2}.$$

На рис. 3 приведена зависимость энергии излучения объекта, как источника засветки, от температуры. Видно, что в случае, когда объект сам является источником внешней засветки, энергия засветки достаточно мала в широком диапазоне температур и не может вносить искажения в получаемое изображение. Это связано с тем, что при визуализации площадь освещаемой поверхности мала.

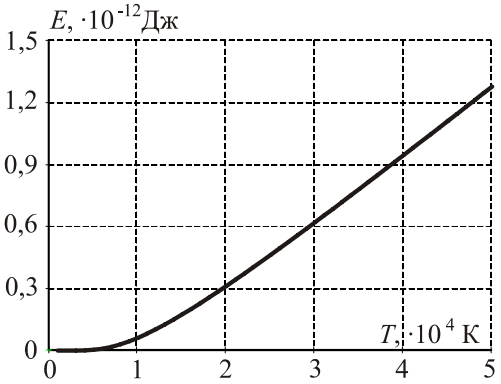


Рис. 3. Зависимость энергии излучения засветки от температуры

Заключение

Проведенные оценки показывают, что источник засветки может вносить искажения в получаемое посредствам лазерного монитора изображение при достаточно высоких температурах (порядка 25000 К). Причем наиболее существенным является влияние внешнего источника засветки.

Из полученных формул следует, что величина минимальной температуры объекта, создающего засветку, сильно зависит от оптической схемы лазерного монит ора.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/13145.

Список литературы

1. Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Торгаев С.Н., Тригуб М.В. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 141–146.
2. Оптические системы с усилителями яркости / Под ред. В.И. Беспалова, Г.А. Пасманика. – Горький: ИПФ АН СССР, 1988. – 173 с.
3. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольтгревена. – М.: Мир, 1971. – 552 с.

ЛАЗЕРНЫЙ МОНИТОР НА ОСНОВЕ CUBR-ЛАЗЕРА С ПОКАДРОВОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Губарев Ф.А.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: trigub@tpu.ru

Визуализация быстропротекающих процессов, в том числе экранированных от наблюдателя мощной фоновой засветкой, является актуальной задачей. Такие процессы протекают в зонах взаимодействия мощных потоков энергии с веществом: лазерная обработка материалов, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), облучение биотканей, процессы в плазме разрядов и т.д. Наблюдение подобных объектов проводят либо с использованием лазерной подсветки, либо с помощью активных оптических систем (АОС) – лазерных мониторов или лазерных проекционных микроскопов на основе высокочастотных лазеров на парах металлов, в частности, CuBr-лазеров [1]. Однако при лазерной подсветке на объекте фокусируется мощное лазерное излучение, которое может вызывать деструктивное воздействие и искажать картину процесса. Известны активные оптические системы на основе лазеров на парах меди, однако, их частотный потенциал, а, следовательно, и временное разрешение, значительно ниже, чем для АОС на основе CuBr-лазеров. На сегодняшний день для CuBr-лазеров достигнута максимальная частота следования импульсов (ЧСИ) генерации 400 кГц [2]. Использование данных лазеров и современных скоростных фоторегистраторов (CCD камеры) дает практическую возможность высокоскоростной съемки (более 10^5 кадров/с) указанных выше процессов при времени экспозиции единицы–десятки наносекунд.

В работе [3] приведены результаты наблюдения катодного пятна с помощью АОС – «лазерного монитора», в качестве оптического усилителя в котором использовался лазер на парах меди, работающий с частотой 16 кГц. Принцип действия лазерного монитора аналогичен работе лазерного проекционного микроскопа, при этом отличительной особенностью является возможность наблюдения (мониторирования) процессов в режиме реального времени [1]. Съемка осуществлялась цифровой камерой с частотой регистрации 5000 кадров в секунду.

Регистрирующая аппаратура и оптический усилитель в работе [3] работали асинхронно, что приводило к снижению временного разрешения системы (т. к. скорость съемки ниже ЧСИ усилителя), и искажению получаемого изображения за счет того, что изображение каждого кадра формируется несколькими импульсами сверхсветимости лазерного усилителя, попадающими в экспозицию.

Для создания лазерного монитора с высоким временным разрешением и минимальными искажениями, который будет востребован в задачах неразрушающего контроля, визуализации биологических объектов и т.д., предпочтительно использовать высокочастотный CuBr-лазер и высокоскоростную регистрирующую аппаратуру, причем их работа должна быть синхронизована, т.е. каждый кадр формировался одиночным импульсом сверхсветимости.

В данной работе представлены результаты разработки системы синхронизации для лазерного монитора и результаты ее использования с различными скоростными видеокамерами.

Осуществить синхронизацию возможно несколькими путями. С одной стороны, можно создать источник накачки лазерного усилителя с

внешним запуском, управление которым осуществлялась бы от высокоскоростной камеры. С другой стороны, управлять камерой от источника накачки лазерного усилителя. Первый вариант является менее предпочтительным, т.к. в этом случае нет возможности осуществлять регулировку частоты съемки в широких пределах, ограничиваемых оптимальными ЧСИ накачки активных элементов CuBr-лазеров. Кроме того, при изменении частоты работы лазера будут изменяться генерационные характеристики усилителя яркости, что потребует подстройку всей системы регистрации. Поэтому был выбран второй вариант – управление затвором камеры от источника накачки оптического усилителя. Структурная схема разработанной системы синхронизации представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема системы синхронизации

В качестве опорного сигнала используется импульс управления источником накачки, который имеет скважность 2 и определяет частоту работы лазерного усилителя. Формирователь импульса представляет собой буфер, выполненный на основе операционного усилителя и согласованный по уровню с оптоволоконным передатчиком HFBR-1522. Формирователь синхроимпульса представляет собой управляемый одновибратор, вырабатывающий синхроимпульс с требуемыми задержками, который поступает на вход внешнего запуска скоростной камеры. В формирователе синхроимпульса предусмотрена регулировка задержек, что позволяет использовать его с разными камерами и оптическими усилителями. Деление частоты позволяет варьировать скорость съемки в широких пределах без изменения частоты работы оптического усилителя.

В работе использовался малогабаритный усилитель яркости на основе CuBr-лазера с полупроводниковым источником накачки, апертурой газоразрядной трубки 1,8 см, при длине активной области 40 см. ЧСИ составляла 28,8 кГц, длительность импульса сверхсветимости 40 нс, энергия импульса 2,7 мкДж. В качестве регистратора использовалась скоростная камера MotionPro X3 фирмы Redlake, способная производить съемку со скоростью до 40000 кадров в секунду. На рис. 2 представлены осциллограммы синхроимпульса, импульсов сверхсветимости и экспозиции при различной скорости съемки. Видно, что при использовании системы синхронизации в каждый импульс экспозиции камеры попадает один импульс сверхсветимости лазерного усилителя длительностью 40 нс.

В качестве тестового объекта наблюдения использовалась металлическая сетка с размером отверстия 0,75 мм. Причем, программно изменяя экспозицию камеры, были получены изображения, формируемые одним и двумя импульсами сверхсветимости. При формировании изображения несколькими импульсами увеличивается контраст картинки, однако присутствуют искажения, связанные с вибрацией оптических элементов схемы и нестабильностью разряда от импульса к импульсу.

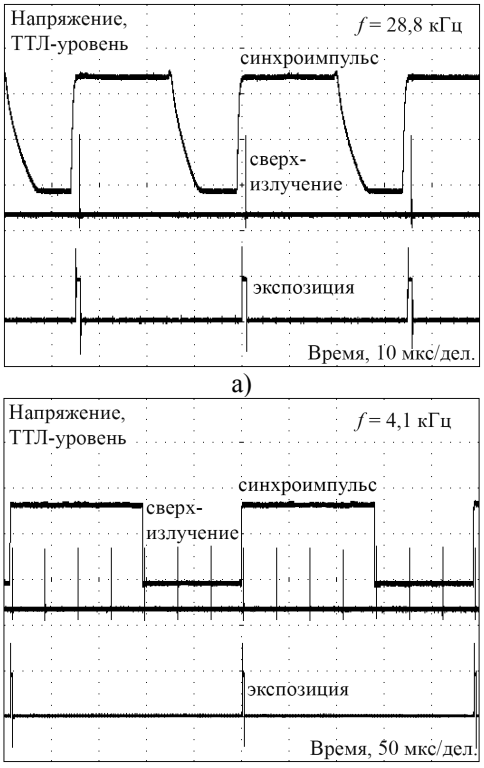


Рис. 2. Осциллограммы работы лазерного монитора при различной частоте съемки

Другим объектом наблюдения являлся процесс СВС. Работа проводилась совместно с отделом структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН. Температура горения порошков при СВС достигает 2100 К. Используя лазерный монитор проведена визуализация процесса и измерена скорость распространения фронта горения. Полученные данные не противоречат результатам исследования СВС другими методами.

Следующим этапом работы стало использование скоростной камеры HiSpec 1 фирмы Fastec Imaging, способной производить съемку до 100000 кадров в секунду. Проведена визуализация различных объектов и процессов. В частности, без использования усилителя яркости проведена скоростная съемка коронного диффузионного разряда при атмосферном давлении. Напряжение на электроде составляло 200 кВ. Работа проводилась совместно с лабораторией оптических излучений ИСЭ СО РАН. Полученные результаты позволили

оценить скорость развития разряда. Дальнейшим этапом станет наблюдение электрода непосредственно в момент разряда, что позволит выявить ряд особенностей его формирования.

Таким образом, показана принципиальная возможность регистрации изображения в лазерном мониторе от одиночного импульса сверхсветимости, что снижает искажения и увеличивает временное разрешение системы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/13145.

Список литературы

1. Тригуб М.В., Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Торгаев С.Н. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 141–146.
2. Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Заикин С.С. Лазер на парах бромида меди с частотой следования импульсов 400 кГц // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 12. – С. 106–107.
3. Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жарёнова С.В., Климовский И.И., Прокошев В.Г., Шаманская Е.Л. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекло- и пироуглерода // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97–101.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ КОНТРОЛЕДОСТУПНОСТЬЮ

Тряпышко М.В.

Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: tryapyshko1b51@mail.ru

В различных отраслях промышленности имеются такие технические устройства в металлоконструкциях, которых присутствуют сварные соединения. С момента изготовления и на протяжении всего срока эксплуатации этих технических устройств, сварные соединения должны быть осмотрены и проверены, поскольку существуют такие факторы негативного воздействия, как влияние окружающей среды, динамические нагрузки, давление и токсичные компоненты.

Основным видом неразрушающего контроля сварных соединений в теплоэнергетике является ультразвуковой контроль. При ультразвуковом контроле сварных соединений металлоконструкций в зависимости от возможности контроля всего объема наплавленного металла и околошовной зоны в его поперечном сечении, сварные соединения подразделяют по степени контроледоступности. Для сварных соединений контролируемых совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) установлены следующие степени контроледоступности в порядке ее снижения:

1ДК – центральный луч УЗ пучка пересекает каждый элемент (точку) контролируемого сечения как минимум с двух направлений.

2ДК – центральный луч УЗ пучка пересекает каждый элемент (точку) контролируемого сечения хотя бы с одного направления.

3 ДК – имеются элементы контролируемого сечения, не пересекаемые центральным лучом УЗ пучка при регламентированной схеме контроля ни по одному из направлений. При этом площадь непрозвучиваемых участков не превышает 20% от общей площади контролируемого сечения и они находятся только в подповерхностной части сварного соединения.

Сварное соединение считают неконтроледоступным, если центральный луч УЗ пучка не пересекает все элементы контролируемого сечения ни по одному из направлений прозвучивания кроме подповерхностного слоя или площадь непрозвучиваемых участков превышает 20% от общей площади контролируемого сечения [2].

При проведении контроля встречаются такие сварные соединения которые не попадают не под одну степень контроледоступности, т.е. они практически неконтроледоступны. Один из видов такового сварного соединения представлен на рис. 1.

Ширина доступной зоны контроля не превышает 40 мм, при толщине сваренного металла 70 мм.

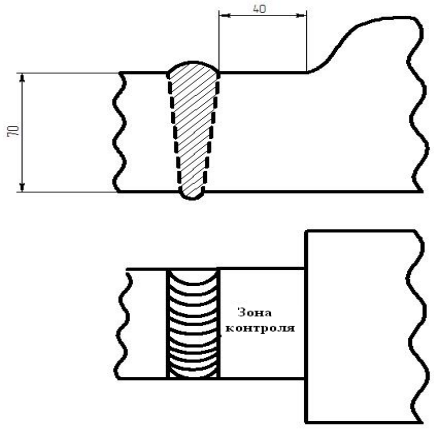


Рис. 1. Объект контроля

На данном объекте контроля можно производить контроль только с одной стороны сварного шва.

Обычная схема контроля представленная на рис. 2 не позволяет в полном объеме проконтролировать такое сварное соединение.

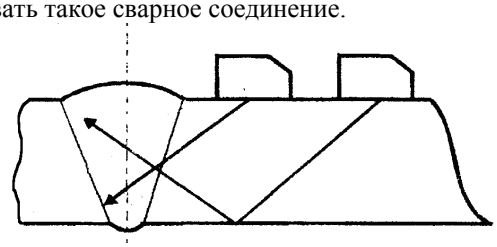


Рис. 2. Схема контроля сварного соединения со вмещенным ПЭП

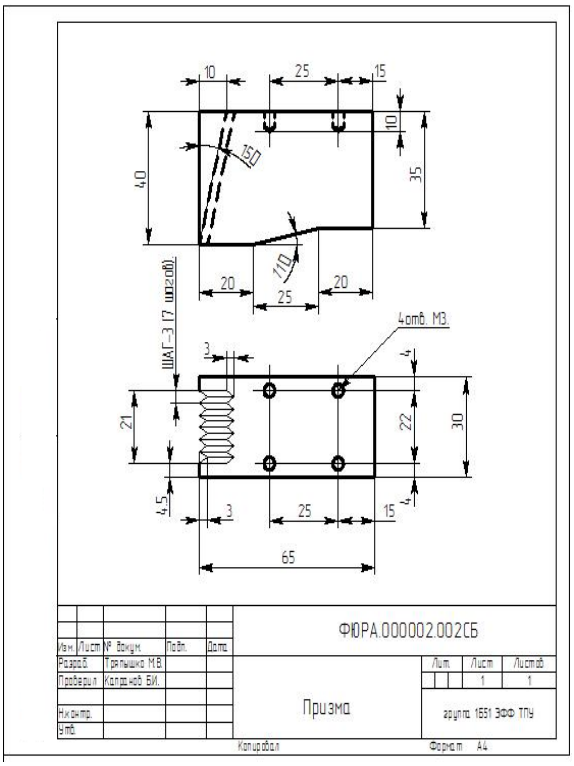


Рис. 3. Чертеж призмы

Поэтому, основной целью работы является разработка технологии ультразвукового контроля сварного соединения с ограниченной контроле доступностью. В технологии контроля применен дефектоскоп OmniScan с фазированной решеткой (ФР). Преобразователь с фазированной решеткой позволяет проводить секторное сканирование (изменение угла ввода) и линейное сканирование с одновременной фокусировкой (перемещение УЗ луча вдоль преобразователя). Каждый элемент фазированной решетки излучает поле с определенной диаграммой направленности. При отклонении поля ФР на некоторый угол от нормали будут суммироваться ослабленные боковые лучи диаграмм направленности элементов. Чем меньше размеры элементов, тем шире их диаграмма направленности, но все же ограниченная ширина диаграммы направленности сохраняется. Считают, что допустимо использовать боковые лучи диаграмм направленности, ослабленные не более чем в 2 раза по отношению к максимуму излучения. С учетом этого для создания наклонного преобразователя с ФР на угол ввода больше 30° и используют преломляющую призму.

Для объекта контроля представленного на рис. 1 была рассчитана призма рис. 3. Размеры рассчитаны исходя из размеров преобразователя, демпфера и ширины зоны контроля.

Для расчета хода лучей в призме, фазированная решетка разбивается на 4 группы по 16 элементов в каждой. Расчет углов производится для ввода их величин в программу контроля дефектоскопа OmniScan.

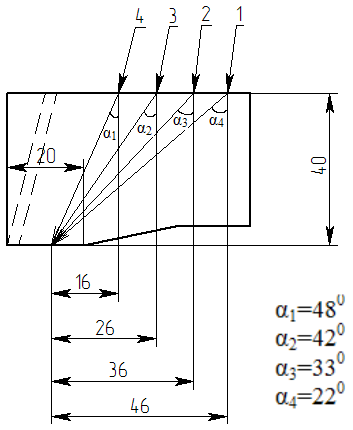


Рис. 4. Расчет хода лучей в призме

Для проведения контроля, преобразователь с призмой устанавливается на объект контроля согласно схеме приведенной на рисунке 5. Для определения объема контроля сварного шва по все высоте сечения шва просверлено шесть отверстий диаметром 2 мм и рассчитано экспериментально, что ход лучей в шве обеспечивает полное перекрытие нижней части шва, это около 60 % полного сечения шва.

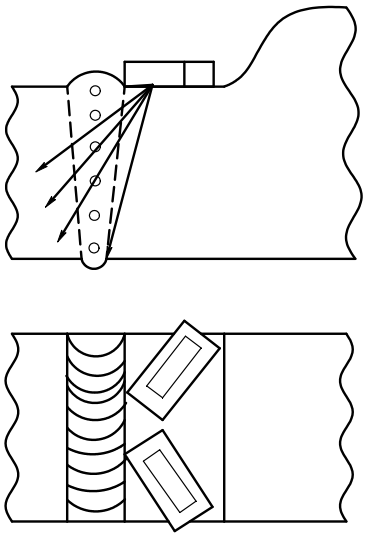


Рис. 5. Схема контроля объекта

Обобщая выше перечисленное, можно сделать выводы, что в данной работе:

• разработана геометрия контроля сварного шва и рассчитаны углы перемещения пучка

• рассчитан ход лучей в призме и в сварном шве обеспечивающий полное перекрытие нижней части шва (около 60 % полного сечения шва)

• разработана и изготовлена конструкция призмы

• экспериментально проверена работоспособность призмы.

Список литературы

1. Капранов Б.И., Коротков М.М. Акустический контроль, 2004.
2. РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД – 97) Котлы паровые и водогрейные.Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения. 1997 г.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. с.448.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ НА РАННЕЙ СТАДИИ

Тупикина Н.Ю., Повернов Е.С., Герасимов Д.В.

Научный руководитель: к.т.н., профессор, Сыпин Е.В.

Бийский технологический институт (филиал)
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Россия, 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27
E-mail tnu@bti.secna.ru

Безопасность горнодобывающих предприятий является актуальной задачей. Основная опасность таких предприятий состоит в наличии в атмосфере пыли и метана, которые в смеси с воздухом могут образовывать взрывчатые системы. Предотвратить аварию можно своевременным обнаружением и ликвидацией очага возгорания.

Принцип построения приборов обнаружения очага возгорания – контроль параметров физических процессов, которые возникают в процессе развития очага возгорания. Для его обнаружения в сложных условиях газодисперсной среды горнодобывающего предприятия перспективным является использование оптико-электронных приборов построенных по методу спектрального отношения [1]. Такие приборы обладают высоким быстродействием (менее 3 мс) и меньшим влиянием оптических свойств промежуточной среды на показания прибора по сравнению с другими типами оптико-электронных приборов.

В настоящее время разработан и эксплуатируются подобный прибор [2]. Основной недостаток указанного прибора – недостаточная помехозащищенность от внешних оптических помех. По имеющимся данным достоверность принятия решения о наличии или отсутствии очага возгорания при отсутствии внешних оптических помех не хуже 0,95; при наличии внешних оптических помех не лучше 0,15. Это не позволяет устанавливать прибор в такое место охраняемого объекта, где присутствуют обслуживающий персонал и возможные источники посторонних засветок. Поэтому была поставлена задача усовершенствования существующего прибора.

На первом этапе решения указанной задачи были рассмотрены возможные источники оптических помех. В качестве источников оптических помех могут выступать источники искусственного освещения шахты и тепловое излучение обслуживающего персонала и нагретых объектов шахты. Анализ возможных источников оптических помех дал следующий результат: их влияние меньше в инфракрасном диапазоне спектра, но фотоприемники, предназначенные для этого диапазона, обладают меньшим быстродействием, чем приемники для видимого диапазона [3]. Это не позволяет уйти при проектировании прибора в инфракрасный диапазон спектра. Поэтому было принято решение с целью повышения информации о контролируемом объекте использовать избыточность при проектировании прибора.

При выполнении блока обработки информации в приборе на микропроцессоре достаточно простой задачей является введение программной избыточности, которая реализуется использованием дополнительных алгоритмов при обработке сигналов. Программная избыточность позволяет провести более качественную обработку информации, но при этом не увеличивается количество исходной информации об объекте контроля. Аппаратная избыточность может быть реализована путем введения в прибор дополнительных каналов для сбора информации об объекте контроля. В соответствии с классификацией пирометрических приборов можно использовать следующие виды дополнительных каналов: радиационный канал, монохроматический канал, несколько каналов, работающих по методу спектрального отношения.

После анализа возможных вариантов использования в приборе дополнительных каналов разного типа, предпочтение было отдано каналам спектрального отношения. Использование пиро-

метра спектрального отношение позволяет исключить зависимость показаний прибора от расстояния до объекта, также значительно минимизируется влияние промежуточной среды.

Было проведено моделирование сигналов на выходе фотоприемников трехканального пирометра спектрального отношения при развитии очага возгорания (росте температуры и увеличении площади) в условиях действия на вход прибора оптических помех (Рис. 1 – 3). На представленных рисунках распределение сигналов соответствует следующим источникам излучения:

1 – при воздействии на вход прибора источника излучения в виде вспышки метана;

2 – при воздействии на вход прибора источника излучения в виде лампы накаливания;

3 – при воздействии на вход прибора источника излучения в виде суммы сигналов от вспышки метана и лампы накаливания.

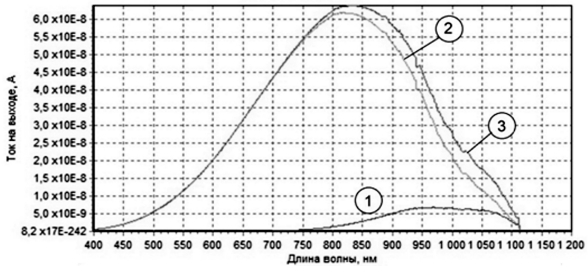


Рис. 1. Распределение сигналов на выходе фотоприемника прибора при площади очага возгорания 1м^2 и температуре 873К

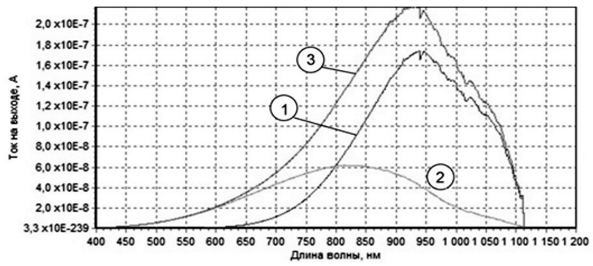


Рис. 2. Распределение сигналов на выходе фотоприемника прибора при площади очага возгорания 1м^2 и температуре 1023К

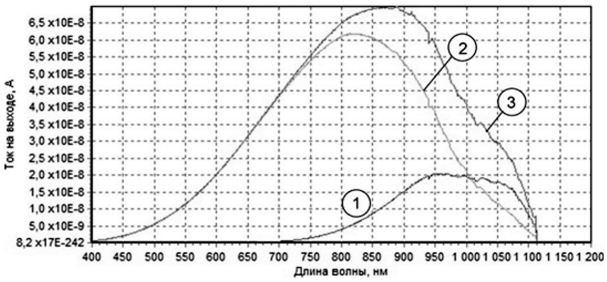


Рис. 3. Распределение сигналов на выходе фотоприемника прибора при площади очага возгорания 3м^2 и температуре 873 К

Поскольку каналы в приборе работают по методу спектрального отношения, о характере сигнала, поступающему на вход прибора можно судить по трем отношениям сигналов, поступающим на каждый из каналов прибора. При этом необходимо контролировать лишь два отношения, контроль третьего является избыточным, так как оно может быть получено из двух. Характер изменения каждого отношения позволяет определить вид сигнала, действующий на вход прибора (полезный сигнал или помеха).

Аппаратная избыточность несет сложности в конструкции прибора и может также является дополнительным источников погрешностей. Поэтому необходимо тщательно подходить к выбору конструкции оптической части прибора. В результате анализа возможных вариантов конструкции оптической системы прибора была предложена оптическая система, представленная на рис. 4.

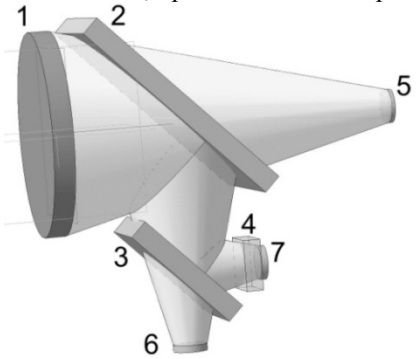


Рис. 4. Оптическая система трехканального датчика обнаружения очага возгорания: 1 – собирающая линза; 2, 3, 4 – интерференционные светофильтры; 5, 6, 7 – фотоприемники

В основе разработанной оптической системы лежит следующее свойство интерференционного фильтра: отражение одной и пропускание другой часть спектра падающего излучения, благодаря явлению многолучевой интерференции в тонких диэлектрических плёнках. Использования интерференционных фильтров позволит увеличить поток излучения, приходящий на фотоприемники (по сравнению с использованием полупрозрачного зеркала в качестве элемента для разделения светового потока взамен интерференционных светофильтров 2 и 3 на Рис 4), а также уменьшить количество элементов схемы. Приемная оптическая схема является единой для всех каналов, т.к. это позволит устранить параллакс, возникающий из-за того, что объекты могут наблюдаться каналами под разными углами.

Использование трех каналов в приборе позволяет применять более сложные алгоритмы обработки входных сигналов. Например, настраивать один из каналов на определение возможных помех.

Список литературы

1. Сыпин Е.В., Леонов Г.В., Кирпичников А.Н., Повернов Е.С. Использование цветового пирометрического метода для построения датчика пожарной сигнализации // Электронный журнал «Исследовано в России». – Режим доступа: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/158.pdf
2. Датчик обнаружения возгорания метана в воздуховоде угольной шахты / Сыпин Е.В., Павлов А.Н., Колпаков В.В., Терентьев С.А. // VII Всероссийская выставка научно-технического творчества молодёжи НТТМ-2008. Всероссийский конкурс научно-технического творчества молодёжи. Сборник материалов. – М.:ОАО «ГАО ВВЦ», 2008. – С. 62-63.
3. Hamamatsu Photonics. [Электронный ресурс] – Режим доступа http://sales.hamamatsu.com.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЙОНОВ СИБИРИ

Уманчук Ю. А., Гушляк А.Г.

Научный руководитель: Гормаков А. Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gormakov@tpu.ru

Введение

Солнце, как известно, является первичным и основным источником энергии для нашей планеты. Если энергию, поставляемую на нашу планету Солнцем за год, перевести в условное топливо, то эта цифра составит около 100 триллионов тонн. Это в десять тысяч раз больше, чем необходимо в настоящий момент человечеству [1].

Сегодня солнечное электричество широко используется. В удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, солнечные батареи используются для электроснабжения отдельных домов, для подъема воды и др. Эти системы зачастую используют аккумуляторные батареи для хранения выработанной днем электроэнергии (рис. 1).



Рис. 1. Схема работы солнечной электростанции

Для районов Сибири количество солнечной энергии, попадающей на Землю много меньше, чем в тропических и субтропических регионах[2].

В результате анализа различных конструкций солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) была выбрана конструкция, которая основана на использовании фотоэлектрических модулей в сочетании с плоскими зеркальными концентраторами, увеличивающими эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую в 1,5 – 2 раза. Следящая система, обеспечивает автоматическое слежение за движением Солнца по небосклону от его восхода и до захода [3].

Принципиальная схема установки

Конструкция установки (рис. 2.) поднята над поверхностью земли. Это обеспечивает защищенность от климатических факторов (заметание снегом в зимнее время года). Опорно-поворотное устройство может вращаться по азимуту на угол от 0 до 360 градусов, а по зениту – в пределах 90 градусов.

За поворот солнечной панели отвечает микропроцессор, который управляет приводами разворота панели установки по азимутальному и зенитному углам.

Мощность проектируемой установки составляет 500 Вт, что достаточно для питания телевизора, холодильника, музыкального центра, компьютера, лампы накаливания, энергосберегающей лампы и т.д. [2].

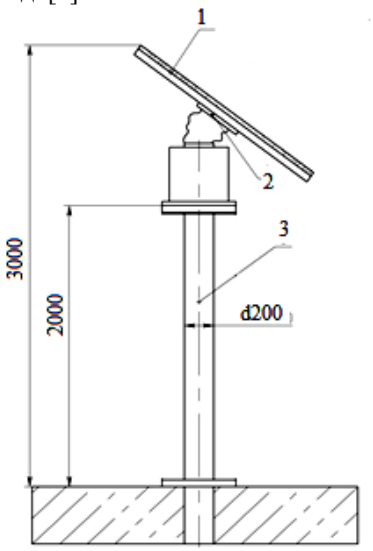


Рис. 2. Принципиальная схема установки: 1 – солнечная панель с концентраторами;2 – опорно-поворотное устройство; 3 – стойка

Определение площади панелей фотоэлементов

При анализе существующих солнечных панелей был выбран фотоэлектрический модуль MSW150/24 (рис. 3).

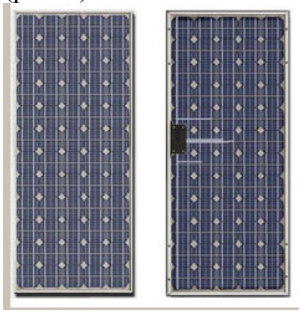


Рис. 3. Фотоэлектрический модуль MSW150/24

Технические характеристики модуля MSW150/24:

- пиковая мощность – 150 Вт ± 4 Вт;
- номинальное напряжение – 24 В;
- напряжение в точке максимальной мощности – 34 В;
- ток в точке максимальной мощности – 4,4 А;
- ток короткого замыкания – 5,3 А;
- напряжение холостого хода – около 42 В;
- вес – 12,5 кг;
- размеры – 665·1485·40 мм;
- цена – 23 500руб.

Две такие панели дадут 300 Вт мощности. Недостающую мощность можно получить благодаря использованию концентраторов, которые увеличивают мощность панели в 1,7–2 раза[4].

Общая цена за 2 панели 47000 руб.

Общая площадь панели с концентраторами (рис. 4) составляет 3,6 м^2, а общая масса панели – 44 кг.

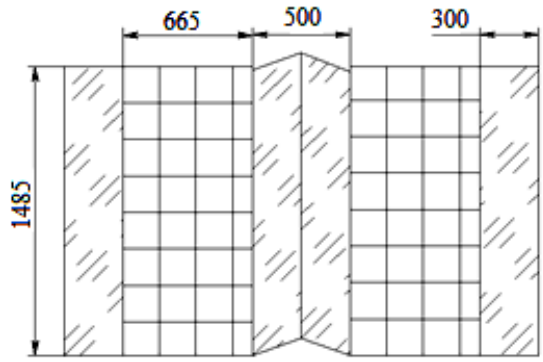


Рис. 4. Панели с концентраторами

Расчёт ветровой нагрузки

Целью расчета ветровой нагрузки на установку является выявление наиболее слабых мест конструкции и нахождение способов усиления сопротивления ветровой нагрузке для предотвращения обрушения или повреждения элементов. Эта нагрузка в дальнейшем будет учитываться при расчете прочности несущих конструкций и расчете мощностей двигателей и параметров привода.

Согласно СНиП 2.01.07-85 п. 6.2 – ветровую нагрузку следует определять как сумму средней и пульсационной составляющих. Так как солнечные панели с концентратором расположены ниже 40 м от земли, то пульсационную составляющую допускается не учитывать [5].

В соответствии с СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» п. 6.3. нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки W (состоит из ветровой нагрузки на заветренной стороне и на наветренной):

$$W = 0{,}373 \text{ кПа } (373 \text{ Н/ м}^2);$$

$$Рв = 373 \text{ Н/м}^2 \cdot 3{,}6 \text{ м}^2 = 1{,}3 \text{ кН};$$

где $S_{общ}$ – площадь сопротивления ветровому потоку (площадь панелей).

Требования к конструкции опорно-поворотного устройства

Поворотное устройство (ОПУ) состоит из механической части и электропривода с редукторами. Блок управления (контроллер) дает возможность автоматического слежения за Солнцем.

ОПУ состоит из наружного и внутреннего блоков. Наружный блок представляет собой устройство поворота/наклона, способное нести солнечные панели с концентратором. Устройство поворота/наклона снабжено двумя электродвигателями постоянного тока на 24 В; диапазон углов вращения по азимуту – 360, по зенитному узлу – 90° [5].

Внутренний блок представляет собой компьютер с блоком питания поворотного устройства. Электроника помещена в металлический корпус с клавишами и небольшим дисплеем на передней панели. На тыльной стороне корпуса имеются клеммы для подключения кабеля управления поворотным устройством.

Длина кабеля между блоком управления и поворотным устройством может быть до 200 м.

Заключение

Выработанная солнечными батареями энергия накапливается в аккумуляторах и может быть снята с них большими мощностями за короткое время. Для Томской области в летний период времени (апрель – сентябрь), среднесуточно они будут вырабатывать указанную мощность (500 Вт) в течение 6 часов ежедневно, т.е. 500 Вт · 6час = 3000Вт. Соответственно, снимать с аккумуляторов можно, примерно, такую же мощность (минус небольшие потери на КПД) за такое же время, или 1 кВт в течение трех часов, или 0,5 кВт в течение 6 часов. В реальных условиях мощные потребители включаются редко. При правильном расчете, запасённая в аккумуляторах солнечная энергия перекрывает потребности пользователя.

Список литературы

1. http://www.avante.com.ua/rus/products/_generators/_solnce/solnce_panel9(дата обращения 26.02.2011).
2. http://rusveter2008.narod.ru/soln_ust.htm(дата обращения 21.02.2011).
3. http://power-kz.narod.ru/SunPower.html(дата обращения 24.02.2011).
4. Икрянщиков Н.П. к.т.н., Свиридов К.Н. д.т.н., Шадрин В.И. Автономные солнечные установки с концентраторами солнечного излучения // Интеграл. – 2010.
5. Гушляк А. Г. Солнечная фотоэлектрическая установка: выпускная квалификационная работа на соискание квалификации бакалавра техники и технологии. – Томск.2010.

К ВЫБОРУ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Уфимцева Е.О.

Научный руководитель: Винокуров Б.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина, 30
e-mail: jane111@sibmail.com

Развитие нефтяной промышленности предъявляет повышенные требования к информационно-измерительной технике, поскольку, контроль за технологическими параметрами необходим на всех этапах подготовки нефти.

Современная измерительная техника должна отвечать требованиям не только точности и качества измерения. Приборы должны быть недорогими, надежными, малогабаритными и др.

На сегодняшний день проблема измерения в системе контроля за технологическим процессом при промысловой подготовки нефти не теряет своей актуальности. Поскольку, промысловая подготовка является промежуточным этапом подготовки нефти, от качества процесса зависит ее дальнейшая транспортировка и переработка.

Нефть и нефтепродукты представляют собой сложные смеси углеводородов и их гетеропроизводных. Анализ таких смесей с выделением индивидуальных соединений требует много времени. Поэтому в технологических расчетах при определении качества сырья, продуктов нефтепереработки и нефтехимии часто пользуются данными технического анализа, который состоит в определении некоторых физических, химических и эксплуатационных свойств нефтепродуктов. С этой целью использую следующие методы, в комплексе дающие возможность охарактеризовать товарные свойства нефтепродуктов в различных условиях эксплуатации, связать их с составом анализируемых продуктов, дать рекомендации для наиболее рационального их применения:

- химические, использующие классические примеры аналитической химии;
- физические – определение плотности, вязкости, температуры плавления, замерзания и кипения, теплоты сгорания, молекулярной массы, а также некоторых условных показателей (пенетрация, дуктильность);
- физико-химические – колориметрия, потенциометрическое титрование, нефелометрия, рефрактометрия, спектроскопия, хроматография.

Нефть, получаемая из скважин, содержит частицы горных пород, воду, а также растворенные в ней соли и газы. Присутствие пластовой воды в нефтях увеличивает транспортные расходы не только из-за увеличения объема перекачиваемой жидкости. Механические примеси осложняют транспорт и переработку, вызывая эрозию внутренних поверхностей трубопроводов, аппаратуры и арматуры, змеевиках огневых подогревателей, резкое снижение коэффициента теплоотдачи, повышение зольности остаточных продуктов переработки. При наличии пластовых вод в нефтях, поступающих на переработку, нарушаются технологические процессы переработки, а соли, содержащиеся в пластовой воде, ухудшают качество нефтепродуктов. Хлористые соли кальция, магния и натрия, попадая на нефтеперерабатывающие установки, подвергаются гидролизу. Так соли хлористого магния, разлагаясь до 90%, подвергаются гидролизу в зонах высоких температур, образуя хлористый водород, который в свою очередь в зонах низких температур образует соляную кислоту.

Технологические процессы при промысловой подготовки нефти

Извлеченная из скважин сырая нефть содержит попутные газы (50-100 $м^3$/т), пластовую воду (200-300 кг/т) и растворенные в воде минеральные соли (10-15 кг/т), которые отрицательно сказываются на транспортировке, хранении и последующей переработке. Поэтому, подготовка нефти обязательно включает следующие операции:

- сепарация;
- обезвоживание (дегидратация) нефти;
- обессоливание нефти;
- нагрев водонефтяной эмульсии;
- дегазация нефти;
- удаление попутных (растворенных в нефти) газов или стабилизация нефти;
- очистка и подготовка нефтепромысловых сточных вод.

Анализ широкого спектра технологического оборудования, применяемого при подготовке нефти на ТХУ, ЭЛОУ и УКПН, выявил наиболее часто применяемые технологические блоки: резервуары (рис. 1), насосы, теплообменники, отстойники (рис. 2), нефтегазосепараторы, подогреватели, печи, электродегидраторы, конденсаторы-холодильники, ректификационные колонны.

Каждый из названных технологических блоков имеет различные модификации: по размерам, по исполнению (горизонтальное, вертикальное), по

типу подогрева (огневой или паровой), по режимным показателям (температура, давление) и т.д.



Рис. 1. Резервуар



Рис. 2. Отстойники

Как объект автоматизации каждый технологический блок имеет свою типовую группу параметров контроля и управления и, соответственно, свой типовой набор исполнительных механизмов, преобразователей, блоков питания, датчиков и т.д.

Для удобства управления технологическими процессами необходимо контролировать основные параметры, характеризующие состояние нефти и нефтепродуктов и их состав (например, плотность, вязкость, фракционный состав). Эксплуатационные свойства характеризуют полезный эффект от использования нефтепродукта по назначению, определяют область его применения. Часто на практике нефтепродукты и нефти характеризуются уровнем качества. Оптимальным уровнем считается такой, при котором достигается наиболее полное удовлетворение требований потребителя. Уровень качества зависит от уровня каждого свойства и значимости этого свойства. Количественную характеристику одного или нескольких свойств продукции, составляющих его качество.

Для контроля этих параметров необходима определенная автоматизированная система. А конкретно система измерения плотности и вязкости нефти. Так как именно от этих параметров зависит качество нефти. Плотность характеризует химический состав и происхождение продукта, а так же его качество. Вязкость является важнейшей свойством, характеризующим эксплуатационные свойства нефтепродуктов. Вязкостью определяются масштабы перемещения нефти и газа в природных условиях, ее необходимо учитывать в расчетах, связанных с добычей этих полезных ископаемых. Особенно важна эта характеристика для определения качества масленых фракций, получаемых при переработке нефти и качества стандартных смазочных масел. По значению вязкости судят о возможности распыления и перекачивания нефтепродуктов при транспортировке нефти по трубопроводам, топлив в двигателях и т.д.

Измерение плотности и вязкости необходимо во многих технологических процессах современного производства. Острую потребность в измерителях этих показателей испытывают предприятия нефтегазового, нефтехимического и энергетического комплексов, где имеется большое количество резервуарных парков, и осуществляются товарные операции (отгрузка, поставка, хранение).

Для измерения плотности и вязкости представлены ряд приборов, использующих разные методы измерений. Различия в условиях применения и разнообразие предъявляемых требований привели к необходимости использования системы. Наиболее распространенными методами измерения плотности ареометрический, пикнометрический и метод гидростатического взвешивания. В последнее время успешно развиваются автоматические методы: вибрационные, ультразвуковые, радиоизотопные, гидростатические. Добиться экономической эффективности при использовании уровнемера можно только при правильном выборе метода измерения, соответствующего реальным условиям применения. Каждый метод обладает характеристиками и возможностями, которые необходимо тщательно рассмотреть прежде, чем сделать окончательный выбор.

Для правильного и грамотного работы системы необходимо учитывать следующие факторы:

- переменная, которая подлежит рассмотрению (плотность, вязкость, температура и т.д);
- требуемая (достаточная) погрешность измерений;
- условия внутри резервуара;
- характеристики измеряемого продукта;
- требования, предъявляемые к прибору, параметрам выходных сигналов, мощности источника электропитания и т.д.;
- требования по безопасности.

При выборе средств измерений учитывается:

1. Вид контролируемой среды: жидкость; пастообразные среды; сыпучие материалы; кусковые материалы.

2. Свойства контролируемого продукта: химическая активность; удельный вес; электрическая проводимость; диэлектрическая проницаемость; влажность; взрывоопасность; температура; давление.

3. Диапазон измерений плотности вязкости.

4. Необходимость дистанционной передачи показаний.

5. Вид контролируемой емкости (резервуара): открытые; закрытые с низким давлением; закрытые с высоким давлением; вертикальные; горизонтальные; цилиндрические; сферические.

6. Условия монтажа прибора: размещение датчика в выносной камере; через запорную арматуру; верхний или боковой монтаж; положение, длина и диаметр монтажного патрубка; наличие потоков среды при наливе; конструкции внутри резервуара; размеры резервуара; профиль дна резервуара.

Список литературы

1. Гриценко А.И. Экология. Нефть и газ./ А.И. Гриценко, Г.С. Акопова, В.М. Максимов. – М.: Наука, 1997.,598с.
2. Химия нефти и газа : учебное пособие / Под ред. Проскурякова В.А., Драбкина А.Е. 3-е изд.,- Сб. Химия., 1995. 448с.
3. Антипьев В.Н., Бахмат Г.В., Васильев Г.Г. и др. Хранение нефти и нефтепродуктов / под общей ред. Ю.Д. Земенкова.
4. Акулышин А. И., Бойко В.С., Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. – М., Недра, 1989., 476 с.

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАМЕНА ТРАДИЦИОННЫХ

Федченко Ю.В.

Научный руководитель: Яковлев А.Н. к.ф.-м.н, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: JuliFed20@yandex.ru

Для России проблема энергосбережения стоит очень остро. Основная доля расходов электроэнергии приходится на вечернее освещение городов, световую рекламу, освещение цехов, предприятий, офисов, супермаркетов. При этом в среднем 85% всех осветительных устройств, применяемых в России, было разработано до 1970 года. Стандартные технологии освещения, использующиеся сегодня в РФ устарели и не эффективны.

Для выхода из сложившейся ситуации, 23 ноября 2009 года вышел закон №РФ 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», который предусматривает поэтапное снятие с производства ламп накаливания (ЛН) мощностью 25 Вт и более. [1]

Казалось бы, что после того, как закон достигнет своей конечной цели, на замену ЛН придут люминесцентные (ЛЛ) и компактные люминесцентные источники света, однако у них существует серьезный конкурент – осветительные приборы на основе светодиодов (СД).

Для подтверждения вышесказанного приведем сравнительную таблицу основных характеристик трех типов источников света (ИС)

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик ИС

	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа	Светодиодная лампа
Светоотдача, лм/Вт	8 – 17	48 – 104	(80)
Цветопередача	100 Ra	70–80 Ra	0–100 Ra
Цветовая температура, К	2800–3200	1800 – 16000	произвольная
Срок службы, часы	1000	до 20000	до 50000
Тепловые потери	Высокие	Умеренные	Высокие
Необходимость в теплоотводе	-	-	+
Инерционность включения	Низкая	Высокая	Низкая
ИК излучение	Высокое	Минимальное	Нет
УФ излучение	Приемлемое	Высокое	Нет
Возможность использования диммеров	+	-	+
Мерцание (стробоскопический эффект)	-	+	-
Наличие компонентов требующих специальной утилизации	-	+	-
Работоспособность при низких температурах окружающей среды	+	-	+
Ранжирование по первоначальным затратам	1	2	3
Ранжирование по расходам на содержание	3	2	1
Налаженность массового производства	+	+	-

Световая отдача СД ламп ниже, чем у ЛЛ. Средняя световая отдача СД лучших фирм составляет 70–80 лм/Вт., однако такие фирмы как Cree Lighting, Osram и Lumileds разработали ряд экспериментальных мощных светодиодов светоотдача которых достигает 160 лм/Вт. [2]

Цветопередача ЛН и СД находится на одном уровне, однако если у первых этот параметр максимален потому, что они сами по себе являются эталоном цветопередачи, то у вторых он является достигнутым и при этом имеет тенденцию к увеличению.

По такому параметру как диапазон цветовой температуры СД не имеют конкурентов. Это связано с тем, что цвет свечения зависит от материала кристалла и, соответственно, может быть произвольным.

Срок службы СД достигает 100тыс. часов, однако драйвера, необходимые для понижения напряжения питания, снижают срок службы светильника вдвое. При этом СД работают в 2.5 раза дольше по сравнению с ЛЛ.

Высокие тепловые потери характерны не только для ЛН, но и для СД ламп (СДЛ), однако во втором случае для борьбы с этим явлением применяется массивный металлический радиатор.

ЛН и СДЛ являются безинерционными в режиме зажигания ИС, в отличие от них ЛЛ для того, чтобы войти в рабочий режим требуется несколько секунд.

Благодаря тому, что спектр излучения СД лежит исключительно в видимой области вредно влияющее на органы зрения ИК и УФ излучение полностью отсутствует.

Диммеры (светорегуляторы) – это устройства управления осветительными приборами. С их помощью можно не только включать свет но и регулировать свет от самого яркого до приглушенного с помощью изменения светового потока, создаваемого лампой того или иного типа. [3] Такое устройство положительно влияет, пожалуй, только на ЛН, это связано с тем, что она в более мягких температурных условиях; обеспечивается «мягкий пуск» при включении, плавно увеличивается яркость от нуля до нужного значения. [3] Использование диммеров для регулирования яркости ЛЛ не возможно исходя из особенностей строения и работы данных ИС. На работу же СД ИС эти устройства практически ни как не влияют.

Отсутствие пульсации светового потока у ЛН и СД исключает стробоскопический эффект, что крайне важно для производственных помещений оборудованных быстро вращающимися элементами.

Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 1 до 70 мг), относящуюся к ядовитым веществам 1-го класса опасности («чрезвычайно опасные»). По истечении срока службы лампу необходимо подвергнуть утилизации на специально оборудованном предприятии [4] . Следует отметить, что для предпринимателя данная мера влечет за собой помимо дополнительных потерь времени увеличение и затраты на содержание системы освещения. ЛН и СД свободны от этого недостатка.

Ухудшение оптических свойств при низких температурах окружающей среды (на морозе внутри газоразрядных источников света происходит вымерзание ртути, и это приводит к снижению яркости свечения) [5] Влияние низких температур на ЛН и СД отсутствует.

Единственным существенным недостатком СД светильников являются высокие затраты на покупку самого прибора. При этом за счет низкого энергопотребления расходы на облуживание ОУ крайне малы. Однако при этом условии отдельные группы СД светильников не способны самоокупиться даже в течении 10 лет. Решением этой проблемы является автоматизированный выпуск СД и разработка установки для выращивания кристаллов, которой на данный момент в России нет. Такая мера приведет к существенному снижению себестоимости

Список литературы

1. Энергосовет, портал по энергосбережению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=7 3 24.01.11
2. Феопанов А.В./ Световая отдача современных мощных экспериментальных светодиодов и эффективность синеизлучающих чипов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ledcommunity.ru/reviews/papers/modernefficiency 24.01.11
3. Электрик мастер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elektrik-master.ru/index.php?m=0&s=112 27.01.11
4. Википедия/Люминесцентная лампа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Дневной_свет 25.01.11
5. Вэбис/Светодиоды. Обзор по материалам СМИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vebis.ru/?do=main.browse&id=149 25.01.11

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗАТОРА ДОСТОВЕРНОСТИ ЦИФРОВОГО ПОТОКА ПРИ БЫСТРОМ ИЗМЕНЕНИИ ФАЗЫ БИИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА

Хохлов О.А.

Научный руководитель: Кругликов С.Ю., доцент кафедры РТС

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина,53, г. Рыбинск, тел/факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Современные средства связи и управления имеют сложные многоэлементные каналы передачи информации. В процессе производства радиоэлектронной аппаратуры данного профиля встает естественная задача проверки работоспособности и настройки, как отдельных узлов, так и системы передачи информации в целом. Поскольку большинство современных каналов цифровые, решение задачи сводится к передаче и приему тестового цифрового сигнала. Его прохождение через канал связи свидетельствует о работоспособности и качестве всех радиоэлектронных узлов.

Наиболее подходящим тестовым сигналом является псевдослучайная последовательность (ПСП). Она позволяет проверить цифровой тракт передачи в условиях действия трудно проверяемых неисправностей за счет четкой идентификации и хороших корреляционных свойств. Может быть измерена задержка сигнала, вероятность ошибочной передачи в условиях помех и др. На основе измерения данных параметров производится оценка таких важных характеристик каналов как чувствительность, информационная полоса пропускания, задержка сигнала и др.

Анализатор достоверности цифрового потока (АД) разработанный в секции специального приборостроения студенческого конструкторско-технологического бюро (СКТБ) кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТА, в рамках совместной работы с ОАО «Ярославский радиозавод» предназначен для измерения коэффициента ошибок по элементам в каналах передачи цифровых данных. Принцип работы этого устройства основывается на подсчете количества несовпадений элементов входной импульсной последовательности (ИП), подаваемой на вход канала передачи цифровых данных с элементами выходной ИП, подаваемой на анализатор с выхода канала.

В ходе разработки анализатора были приняты ряд оригинальных технических решений. Наиболее интересным из них является система синхронизации сигналов на входе и выходе тестируемого канала.

Анализатор достоверности имеет следующие технические характеристики:

Типы тестовых последовательностей:

- ПСП, бит (2^5-1)…(2^{17}-1);
- периодическая, скважность 2…40;

Количество элементов теста, бит 10^3…10^8;

Скорость передачи, кбит/с 0,05…256;

Типы тестовых сигналов:

- биполярный (NRZ);
- биимпульсный (С1-ФЛ) ГОСТ 26532-85 (рисунок 1);
- RS – 232, RS – 485 ГОСТ 23675-79;
- телеграфный ГОСТ 14662-83;

Амплитуда сигналов, В – 0.05…11;

Входное сопротивление, Ом – 100…10000;

Выходное сопротивление, Ом – 100…10000;

Питание – ~220 В, 50 Гц, ÷ 12 В;

Диапазон рабочих температур,ºС +5…+40.

Внешний вид анализатора достоверности модификации АД-3 с оптимальным отношением цена-качество приведен на рисунке 2.

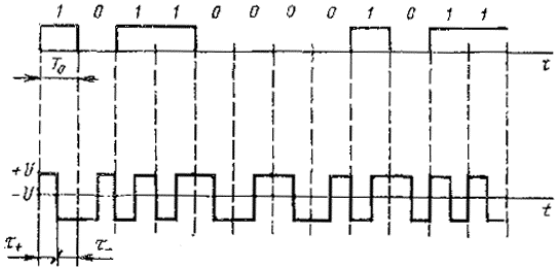


Рис. 1. Биимпульсный тестовый сигнал

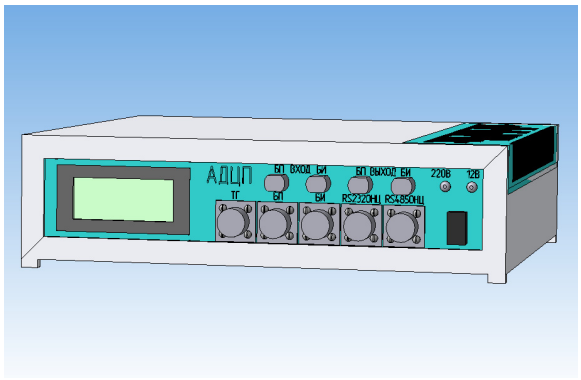


Рис. 2. Внешний вид анализатора достоверности АД-3

Сигнал тестовой ПСП генерируется анализатором и поступает в исследуемый канал связи. С выхода канала сигнал с определенной задержкой поступает в анализатор. В зависимости от типа сигнала, для сравнения переданной и принятой ПСП требуется индивидуальная система синхронизации. Практически для всех типов сигналов характерен «джиттер» фазы – отклонение среза импульсов от номинального значения. «Джиттер» фазы может быть небольшим, что характерно для канала с биполярным сигналом. В этом случае, требуется: выделение срезов, стробирование и поиск по задержке при синхронизации опорного генератора ПСП приемника от тактового генератора передатчика. Большой «джиттер» фазы характерен для каналов с относительным кодированием информации, таким как для биимпульсного сигнала. Относительность принципиально не требует стабильности тактовой частоты, поэтому многие каналы имеют разность между тактами на входе и на выходе. Разность может изменяться медленно, тогда опорный генератор ПСП приемника следует тактировать от выделителя срезов импульсов или разность может изменяться быстро, тогда требуется изменить еще и алгоритм декодирования относительности.

Очевидно, что последний случай быстрого изменения фазы биимпульсного сигнала требует построения наиболее сложной и в то же время наиболее универсальной системы синхронизации, которая будет надежно работать и в других случаях (медленные изменения фазы, биполярный сигнал и др.).

Такая система синхронизации (СС) может быть реализована по схеме на рисунке 3. Она была создана для использования в анализаторе достоверности и могла быть реализована как на основе микроконтроллера, так и на основе программируемой интегральной логической схемы (ПЛИС). Но более эффективной с точки зрения принципа «цена-качество» является комбинированная реализация – микроконтроллер-ПЛИС. СС содержит выделитель срезов импульсов, измеритель длительности импульсов и конечный автомат декодирования. Кроме того, требуются пороговые устройства, например, цифровые компараторы, для разделения сигнала на импульсы двух длительно-

стей: длинные и короткие. Пороговые устройства в ручном или автоматическом режиме предварительно настраиваются на принимаемый анализатором сигнал. Автоматический режим работы основан на статистическом принципе – большинство коротких и длинных импульсов в условиях заданных ограничений. Конечный автомат работает по принципу декодирования комбинации коротких и длинных интервалов БИ сигнала в информацию, содержащуюся в сигнале. Алгоритм работы конечного автомата следующий:

- Если первый короткий интервал (после длинного интервала или вообще первый при инициализации приема), ждать следующего интервала;
- Если интервал длинный, то передавался 0;
- Если 2 коротких интервала подряд, то передавалась 1;
- После принятия решения и в начале приема – ожидание короткого или длинного интервала;
- После каждого принятия решения генерировать тактовый сигнал на опорный генератор ПСП (импульс).

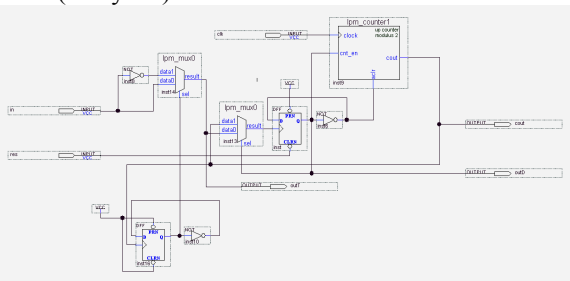


Рис. 3А. Проект ПЛИС выделителя срезов импульсов

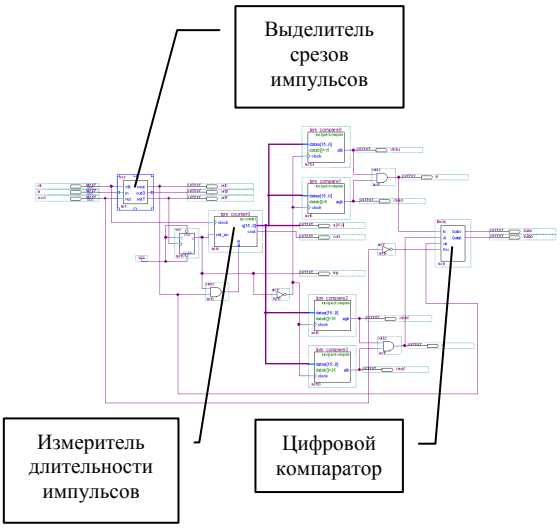


Рис. 3Б. Проект ПЛИС системы синхронизации

Особенностью СС или, иначе, ее новизной является устойчивость алгоритма приема БИ сигнала к быстрым изменениям фазы, которая достигается за счет измерения иных, нежели в известных алгоритмах параметров сигнала и преобразовании их в логические элементы ПСП. Опорная ПСП приемника генерируется по мере поступления этих логических элементов так, что поиск по задержке осуществляется с шагом в один элемент ПСП, т.е. максимально быстро. Возможны алгоритмы поиска по задержке на основе согласованных фильтров. Такие алгоритмы уменьшают время поиска, но требуют больших аппаратных (программных) затрат и мало пригодны для ПСП с большим периодом (в анализаторе достоверности это 2^{15}-1 и 2^{17}-1).

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ И ВОДОРОД

Цыбенова Н.А.

Научный руководитель: Шиян В.П., доцент, к.ф.– м.н.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: Naidal@sibmail.com

Целью настоящей работы является сравнительный анализ существующих методов глубокой переработки углеводородного газа и выбор методов и средств контроля технологических параметров процесса конверсии природного газа в углеродный наноматериал (УНМ) и водород в плазме СВЧ разряда.

Рациональное использование энергоресурсов, одним из которых является природный газ, подразумевает комплексное его использование при переработке в энергоёмкие носители или вещества, необходимые для органического синтеза. На сегодняшний день конверсия природного газа (метана) является основным промышленным методом получения водорода и технологических газов для синтеза аммиака, спиртов и других продуктов. Известны различные способы конверсии, среди них каталитическая и высокотемпературная.

Каталитическую конверсию метана проводят с водяным паром в трубчатых печах с внешним обогревом (паровая конверсия), а также с парокислородной смесью в аппаратах шахтного типа при

небольшом, от 1,5 до 2 кгс/см^2, и повышенном, от 20 до 30 кгс/см^2, давлении. Наилучший катализатор – никелевый с различными добавками.

Высокотемпературную конверсию осуществляют в отсутствие катализаторов при температурах от 1350 до 1450 °С и давлениях до 35 кгс/см^2; при этом происходит почти полное окисление метана и др. углеводородов кислородом до CO и H_2. Преимущество этого метода – отсутствие катализатора и несложное аппаратурное оформление, недостатком является повышенный расход кислорода.[1]

С другой стороны, конверсия метана может быть осуществлена в плазме, например, СВЧ разряда. [2]

Плазма инициирует появление химически активных возбужденных частиц, радикалов, которые существенно ускоряют реакцию конверсии метана, выполняя роль катализатора. Кинетика реакции определяется концентрацией этих частиц. Концентрация определяется мощностью разряда.

Основными достоинствами СВЧ-разрядов являются:

- простота получения плазмы с высоким удельным энерговкладом более 1 Вт/см^3,
- простота получения плазмы с малыми удельными энерговкладами, менее 1 Вт/см^3,
- широкая область рабочих давлений от 5 до 10 Тор до давлений, превышающих атмосферное давление,
- возможность создания как квазиравновесной, так и существенно неравновесной плазмы,
- простота управления внутренней структурой разряда путем изменения электродинамических характеристик устройства ввода СВЧ энергии в плазму,
- возможность создания плазмы в безэлектродных и электродных системах, в последнем случае отсутствует загрязнение объема и образцов продуктами эрозии электродов,
- возможность совместного воздействия плазмы и электромагнитного поля на объекты в плазме для увеличения эффективности процесса,
- разработанные семейства разнообразных эффективных СВЧ генераторов плазмы позволяют выбрать конструкцию для любых применений.

Ряд плазмохимических процессов, таких, как получение чистого кварца, различных соединений металлов, связывания азота с кислородом в воздухе, диссоциация углекислого газа с высокой эффективностью протекает в разрядах, возбуждаемых СВЧ-полями. Преимущества СВЧ-разрядов в плазмохимии прежде всего связаны с возможностью построения реакторов для получения особо чистых веществ. Выбор определенного типа электроразрядной системы – СВЧ разряда определяется, в первую очередь, разнообразием способов его организации и свойств.

Одним из вариантов экспериментальной установки для конверсии природного газа в УНМ и водород, является установка, созданная ФТИ ТПУ. [3]

Схема установка представлена на рис. 1.

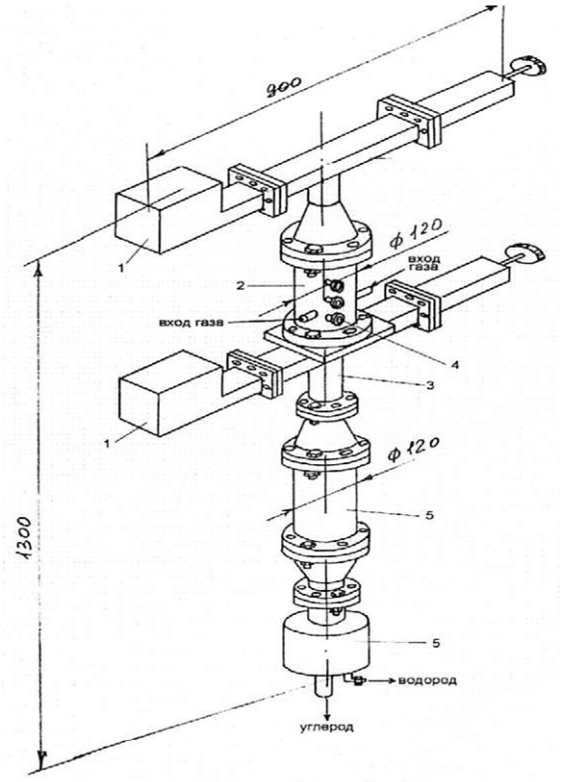


Рис. 1. Схема установки: 1 – источник СВЧ излучения; 2 – камера с катализатором; 3 – разрядная камера; 4 – окно; 5 – агломератор; 6 – фильтры

В данной установке реализована технология получения УНМ и водорода на основе совмещенного воздействия металлического катализатора и плазмы СВЧ – разряда на природный газ.

За счет возбуждения молекул газа на нагретом катализаторе происходит образование непредельных углеводородов (этилен, ацетилен и т.п.), а в плазме СВЧ разряда окончательное разложение углеводородного газа на углерод и водород, и образование УНМ в виде углеродных нанотрубок, фуллеренов, аморфного углерода. В процессе реализации данной технологии необходимо контролировать такие параметры как температура, энергозатраты, расход газа, давление, которые в большой степени влияют на эффективность процесса конверсии природного газа.

Выбор оптимального варианта системы контроля технологических параметров процесса конверсии природного газа представляет сложную задачу. Причиной этому является многовариантность возможных решений. Правильный выбор технического решения является важным условием повышения эффективности процесса. К определяющим критериям относятся ряд факторов, таких как высокие метрологические характеристики, надежность, стоимостной показатель.

Для контроля технологических параметров процесса конверсии природного газа в УНМ и водород использовали следующие средства:

• для контроля температуры применяется пирометр типа «Кельвин»,

• широкий температурный диапазон до 2000 °С,

• для измерения мощности используется СВЧ ваттметр типа М3 – 56,

диапазон частот от 0 до 17,85 ГГц,

• расход вещества измеряется с помощью расходомеров РС01,

• диапазон измеряемых расходов для газов от 0,1 до 600 $м^3$/ч,

• давление измеряется с помощью датчика давления ДМ 5007 А,

верхний предел измерений прибора 6 $кгс/см^2$

Для обеспечения безопасности работы, производственного помещения с установкой, помещение оснащено системой сигнализаций до взрывоопасных концентраций метана и водорода в воздухе серии ГА – С 01.

Обеспечение стабильности технологического процесса, возможно за счет создания установки с микропроцессорной системой автоматизированного управления. Структурная схема, которой представлена на рис. 2.

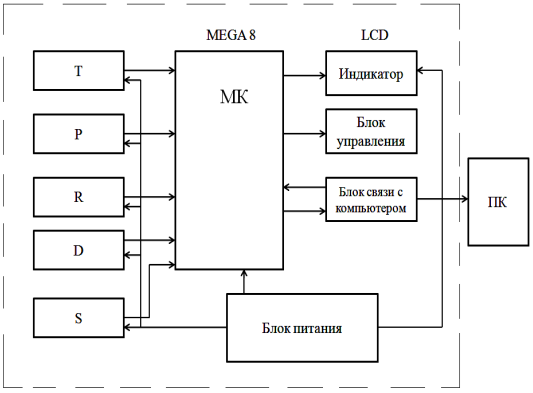


Рис. 2. Структурная схема: T – пирометр, P – ваттметр, R – расходомер, D – датчик давления, S – сигнализатор

Список литературы

1. Справочник азотчика / В. С. Альтшулер. М: 1967. – №1. – разд. 2.
2. Azizov R., Krotov M., Deminskiy M., Potapkin B., Rusanov V. // Proceedings of 14th ISPC, Aug. 2-6, 1999, Prague. P. 2279-2282.
3. Способ получения углерода и водорода из углеводородного газа и устройство для его осуществления // Ю.В. Медведев, А.Г. Жерлицин, Шиян В.П. и др. Патент РФ № 2317943, Опубл. 27.02.2008 г., Бюллетень №6.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

Чурилов М.М.

Научный руководитель Сидуленко О.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mihaa@sibmail.com

Введение

Контактная точечная сварка (КТС) – это один из способов сварки, который наиболее широко применяется в машиностроении, в особенности в массовом производстве. Так, например, в автомобилестроении около семидесяти процентов объема сварочных работ выполняется именно этим способом. Этому способствовали положительные качества процесса КТС, а именно: незначительные остаточные деформации, высокая производительность, высокий уровень механизации и автоматизации [1]. Основные дефекты сварных соединений при точечной сварке – это непровар, заниженный размер литого ядра, трещины, рыхлоты и усадочные раковины в литом ядре и выплеск. Причины этих дефектов – недостаточный или избыточный нагрев зоны сварки из-за плохой подготовки поверхностей и плохой сборки деталей или из-за неправильно выбранных параметров режима сварки.

Наиболее распространенными методами контроля качества сварных соединений являются разрушающие испытания и неразрушающий контроль.

Разрушающие испытания хотя и являются наиболее простым, но в то же время это достаточно дорогой метод, вследствие разрушения контрольных образцов. Данный метод сложно автоматизируется, что приводит к необходимости большого количества времени для контроля одного образца. Разрушающий контроль легко применим для контроля точечной сварки. Если непровара нет, разрушение происходит по основному металлу одной из деталей, при этом можно измерить диаметр литого ядра.

Неразрушающие методы контроля наиболее подходящие для контроля точечной сварки, т.к. объект контроля не разрушается. Наиболее простым и часто применяемым методом является внешний осмотр, с помощью которого можно выявить поверхностные дефекты. Контроль внутренних дефектов точечной сварки является сложной задачей. Сложность контроля состоит в том, что этими методами непровар не выявляется, так как

поверхности деталей плотно прижаты друг к другу, в их контакте образуется "склейка", проникающие излучения, магнитное поле и ультразвук не отражаются и не ослабляются.

Акустическая эмиссия (АЭ) представляет собой явление генерации волн напряжений, вызванных внезапной перестройкой в структуре материала. Данный метод является дистанционным, он не требует сканирования поверхности объекта для поиска локальных дефектов [2]. Оборудование способно регистрировать не только рост трещин или развитие пластической деформации, но и процессы затвердевания, кристаллизации, трения, ударов, течеобразований и фазовых переходов. Метод имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой конструкционных материалов, чем другие методы неразрушающего контроля. Особенность метода, ограничивающая его применение, связана с тем, что акустико-эмиссионные сигналы являются шумоподобными. Когда сигналы малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех – сложная задача. Следует заметить, что шумы являются основной преградой на пути широкого использования АЭ в качестве метода контроля.

Цель работы

На сегодняшний день сведения о корреляционных связях между изменением параметров акустической эмиссии и наличием дефектов, а так же их размеров и степени опасности в контактной сварке отсутствуют. Выявление корреляционных связей и является целью данной диссертации.

Технология проведения эксперимента

Для проведения контактной точечной сварки, заготовки сначала нарубаются на гильотине размерами 120х40 мм. Образцы изготовлены из материала сталь3. Выбор данного материала обусловлен его распространенностью и популярностью использования в металлических конструкциях. Для удобства сварки, пластины планировалось стянуть между собой в двух местах разборным болтовым соединением. Данное соединение минимизирует смещение пластин между собой, что приведет к уменьшению шумовой акустической эмиссии при точечной сварке. Но данный метод крепления имеет и недостатки. Первый недостаток это увеличение времени подготовки образцов для сварки, что существенно при большом количестве экспериментов. Второй недостаток заключается в том, что данные скрепленные образцы приходится держать в руках в момент сварки и после нее, это обусловлено техническими возможностями контактной сварочной аппаратуры. При держании в руках заготовки во время сварки и особенно после нее, получается большое количество шумовых сигналов из за трения рук об метал заготовок. Полученные шумы сильно осложняли обработку сигналов, т.к. шумы от рук находятся в том же диапазоне амплитуд что и полезные сигналы. Для устранения данных недостатков, изменен принцип зажима двух заготовок. Разработан и изготовлен столик с зажимом заготовок, а также разработано крепление столика на аппарат контактной точечной сварки. Чертеж столика показан на рис. 1.

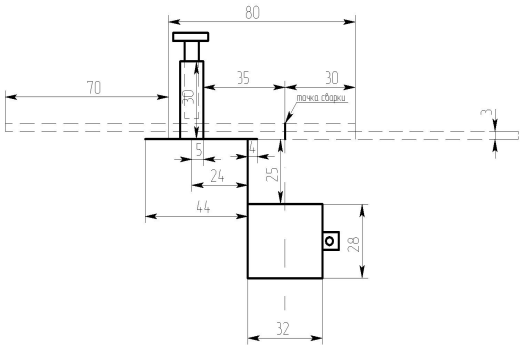


Рис. 1

Данный столик крепится непосредственно на нижнем электроде с помощью хомута. Заготовки зажимаются между собой винтом с прорезиненным наконечником. Прорезиненный наконечник осуществляет плавный прижим, дает возможность небольшим смещениям заготовок во время сварки и препятствует появлению дополнительных акустических шумовых сигналов. В результате получили быстрое и надежное фиксирование заготовок и возможность не держать заготовки в руках.

Для установления корреляционной связи между дефектными и бездефектными точечными сварными соединениями, необходимо провести несколько серий сварки с разными настройками сварной машины. Суть экспериментов заключается в том что, при остывании сварной точки будет идти кристаллизация металла с характерным потрескиванием, то есть появится акустическая эмиссия, которая будет записываться с помощью АЭ аппаратуры. Изменяя настройки сварной машины теоретически должна меняться и акустическая эмиссии. Зная АЭ данные дефектных и бездефектных точечных сварных соединений, мы можем установить связь между характерным изменением АЭ данных и дефектами полученными при точечной сварке. Качество точечной сварки оценивается по усилию необходимому для продольного разрыва сваренных пластин на разрывной машине с последующим визуальным осмотром ядра сварного соединения.

Существует несколько эмпирических формул для расчета основных параметров точечной сварки. Полученные данные при расчете не будут идеальными параметрами сварки для наших заготовок, но не имея других данных, будем считать полученные параметры наиболее идеальными для нашего эксперимента. Для первой серии сварных точек настроим сварную машину по расчетным параметрам и произведем сварку десяти точек, не меняя настройки машины. Для второй серии сварных точек, увеличим ток сварки и уменьшим уси-

лие сжатия электродов, в результате должны получить такой дефект как внутренний или наружный выплеск металла. Для третей серии уменьшим сварной ток относительно первой серии в результате получим непровар или заниженный размер литого ядра. Таким образом, чередуя изменения в настройках сварной машины, получим достаточное количество АЭ данных для последующей их обработки.

Обработка АЭ данных

После проведения серий экспериментов, необходимо отфильтровать АЭ данные от шумов.

Основной проблемой при фильтрации является выделение полезного сигнала из шумов, т.к. амплитуда полезного сигнала чуть выше шумового порога помещения. Отфильтрованный сигнал от шумов с выделенным полезным сигналом показан на рис. 2.

После сравнения полезных АЭ сигналов, будет устанавливаться корреляционная зависимость между АЭ сигналом и качеством сварной точки.

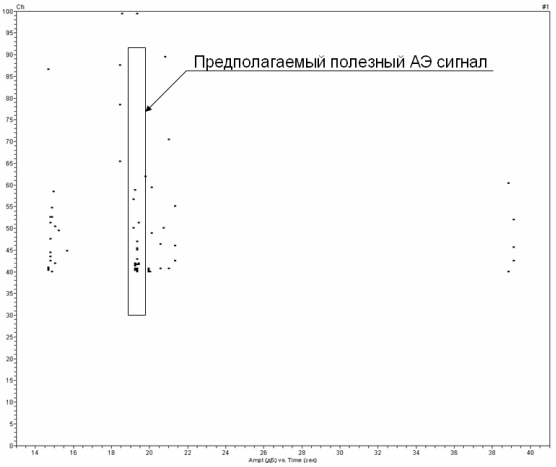


Рис. 2. График зависимости амплитуды от времени

Список литературы

1. С.Н. Козловский. Основы теории и технологии контактной точечной сварки. – СибГАУ, Красноярск, 2003.-229с.
2. Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International, 1989. – 278-294 с. – Пер. ст.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ УСКОРЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ

Шестак А.П., Лаптев Р.С., Маликов Е.Л.

Научный руководитель: Чахлов В.Л., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shap@tpu.ru

В последние 20–30 лет отмечается интенсивное применение позитронов в различных областях науки и медицине и, в частности, для дефектоскопии. Это обусловлено высокой чувствительностью методов на основе аннигиляции позитронов к электронной и дефектной структуре в различных материалах. Так как электронная структура в дефекте отличается от электронной структуры в бездефектной области, характеристики процесса аннигиляции позитронов изменяются, т.е. изменяются характеристики временного и импульсного распределения аннигиляционных фотонов. По различию этих характеристик можно диагностировать изменения электронной структуры и дефектов структуры исследуемого материала.

По результатам измерений электрон-позитронной аннигиляции можно судить об электронной структуре вещества, а также наличии точечных и протяженных дефектов, таких как вакансии, кластеры вакансий, дислокации, микропоры, границы зёрен, атомы примеси и фазы [1].

Одна из важных задач в таких методах дефектоскопии – это получение пучков моноэнергетических позитронов.

В настоящее время пучки моноэнергетических позитронов могут быть получены следующими методами [2]:

1. Модерация позитронов от радиоизотопного источника;
2. Конверсия ускоренных электронов на мишени из тяжелых атомов;
3. Конверсия тепловых нейтронов на мишени в результате ядерных реакций.

Данные методы имеют свои недостатки. Например, эффективность модерации крайне низка, поэтому необходимо использовать радиоизотопный источник с высокой активностью ~ 100 мКю, что требует специальных средств защиты от ионизирующего излучения. А для конверсии ускоренных электронов в настоящее время применяют сильноточные линейные ускорители на энергии свыше 50 МэВ. Полученные позитроны направляются через систему транспортировки в другой ускоритель, где ускоряются до необходимой энергии, что не эффективно с экономической точки зрения.

Возможность использования сравнительно недорогого ускорителя – бетатрона в целях получения пучков моноэнергетических позитронов

способна дать широкие перспективы для развития метода позитронной аннигиляции.

Для исследования возможности ускорения позитронов в бетатроне была выбрана схема эксперимента (рис. 1.) с радиоизотопным источником позитронов, расположенным на радиусе инжекции.

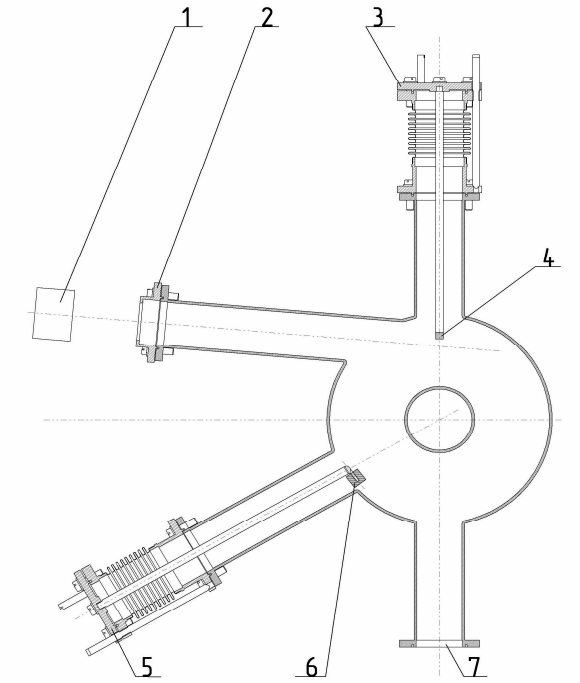


Рис. 1. Схема эксперимента; 1 – детектор; 2 – выводное окно; 3 – устройство регулировки мишени; 4 – Мишень; 5 – инжектор; 6 – радиоизотопный источник; 7 – фланец для подключения откачной системы

Радиоизотопный источник типа ПГЛ.3 на основе изотопа ^{68}Ge был изготовлен в г. Обнинск ЗАО «Циклотрон». Схема распада изотопа представлена на рис. 2.

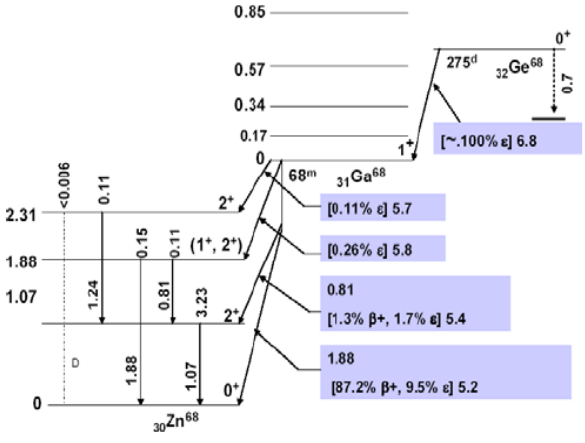


Рис. 2. Схема распада изотопа ^{68}Ge

Позитроны из источника ^{68}Ge имеют широкое энергетическое распределение с максимальной энергией 1,899 МэВ. Энергетический спектр позитронов от источника ^{68}Ge представлен на рис. 3.

Наличие ускорения определялось путем регистрации тормозного излучения от ускоренных позитронов.

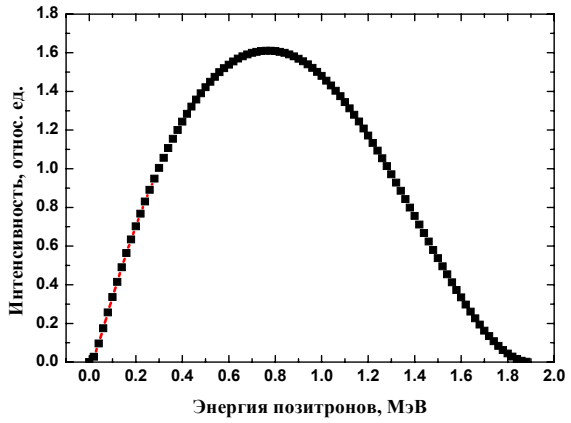


Рис. 3. Энергетический спектр позитронов от источника ^{68}Ge

На рис. 4 представлена осциллограмма работы ускорителя (1 – сигнал с детектора, 2 – сигнал с витка электромагнита бетатрона).

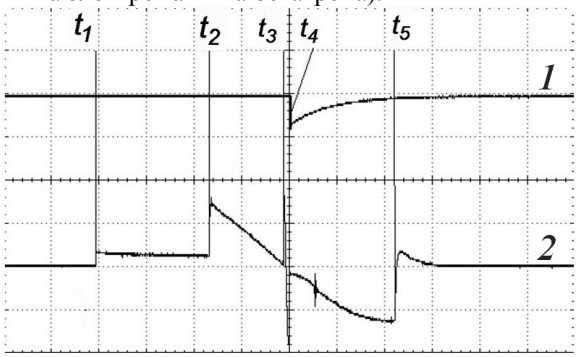


Рис. 4. Осциллограмма работы ускорителя

В момент времени t_1 включается схема ввода энергии в колебательный контур электромагнита. С этого момента ток в обмотках электромагнита начинает медленно нарастать. До момента времени t_2 происходит накопление позитронов на равновесной орбите, причем на равновесную орбиту могут попасть позитроны из всего диапазона спектра, который обеспечивает радиоизотопный источник. К моменту времени t_2 значение магнитной индукции на равновесной орбите соответствует максимальной энергии позитронов, инжектируемых источником. В период времени $t_2 - t_3$ происходит подключение предварительно заряженной емкостной батареи, и ток электромагнита начинает быстро нарастать. Энергия позитронов увеличивается и к моменту времени t_3 является максимальной. Величина максимальной энергии позитронов пропорциональна электрической энергии, запасаемой в емкостном накопителе. В данном эксперименте она составила порядка 3,7 МэВ. В конце цикла ускорения (t_3) включается схема смещения ускоренных позитронов. Под действием схемы смещения равновесная орбита медленно расширяется, и ускоренные позитроны попадая на мишень (момент времени t_4) генерируют кванты тормозного излучения, которые можно наблюдать с помощью фотоэлектронного умножителя. Амплитуда сигналов с ФЭУ при генерации тормозного излучения составляет порядка 2 В, а фоновые

кванты излучения дают сигнал около 0,5 В. На рисунке 5 показаны несколько циклов ускорения и сигнал с ФЭУ. Белым маркером выделен импульс фонового излучения, который по амплитуде меньше основного сигнала в 4 раза. Как видно из рис. 5 кванты тормозного излучения присутствуют в каждом цикле ускорения, что говорит о стабильности процесса накопления и последующего ускорения позитронов от цикла к циклу.

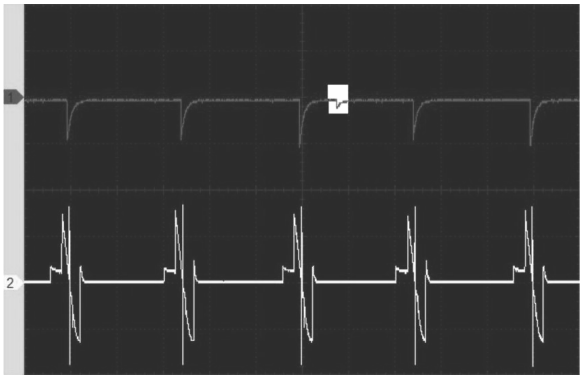


Рис. 5. Осциллограмма работы ускорителя

Таким образом, экспериментально показана возможность ускорения позитронов в индукционном циклическом ускорителе.

Список литературы

1. Krause-Rehberg R., Leipner H.S., Positron Annihilation in Semiconductors. – Berlin: Springer-Verlag, 1999. – 397 p.
2. Paul G. Coleman Positron beams and their applications. – World Scientific Publishing, 2002. – 322 p.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В КАНАЛЕ GaAs ПТШ, ПОЛУЧЕННОМ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ

Шестаков А.К., Арыков В.С., Кагадей В.А.

Научный руководитель: Журавлев К.С., д.ф.-м.н., в.н.с.

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13
E-mail: shestakov@thermo.isp.nsc.ru

Арсенид галлиевые полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ) широко используются в различных областях, таких как сотовая телефония, высокоскоростная оптоволоконная связь, беспроводная передача данных (Wi-Fi, WiMAX), спутниковая связь и радиолокация. Структуры для изготовления этих транзисторов производятся двумя способами: методом эпитаксиального наращивания активных слоев на полуизолирующей подложке и методом ионной имплантации в подложку. Транзисторы, изготовленные на основе эпитаксиальных структур, обладают лучшими характеристиками в области высоких частот, однако, транзисторы, изготовленные с помощью ионной имплантации в арсенид галлиевые подложки, дешевле и проще в производстве, а в диапазоне частот до 10 ГГц их параметры удовлетворяют требованиям для большинства применений [1].

Характеристики ионно-имплантированного транзистора: ток насыщения, пороговое напряжение, напряжение пробоя и крутизна зависят от параметров подложки: концентраций глубоких и мелких примесей и от параметров профиля легирования: положения пика концентрации легирующей примеси, ширины профиля легирования, концентрации легирующей примеси в максимуме профиля, который формируется с помощью имплантации ионов кремния в подложку [2]. Варьируя параметры имплантации (энергию и дозу имплантируемых ионов, время постимплантационного отжига) можно управлять профилем легирования, а следовательно и выходными характеристиками транзистора [2, 3, 4].

Наиболее восприимчивыми характеристиками транзистора к изменению профиля концентрации легирующей примеси являются ток насыщения и пороговое напряжение. Эти характеристики определяют основные параметры транзистора, а именно: его выходную мощность и коэффициент полезного действия (КПД) [2]. Повышение мощно-

сти и КПД транзистора является важной задачей при проектировании и изготовлении исходной полупроводниковой структуры. Для решения этой задачи необходимо найти зависимость характеристик транзистора от параметров профиля легирования, а затем найти такое соотношение этих параметров, при которых характеристики транзистора будут наиболее оптимальными.

Профиль легирования ионно-имплантированного транзистора, получающийся после имплантации через диэлектрическую пленку и постимплантационного активационного отжига, предполагался гауссовым.

$$N(x) = \frac{K_{act} \cdot Q}{\sqrt{2\,\pi}\cdot\,\Delta\overline{R}_{\rho}} \cdot \exp\left[-\frac{\left(x-\overline{R}_{\rho}\right)^2}{2\cdot\Delta\overline{R}_{\rho}^{\,2}}\right] \qquad (1)$$

где R_p – проекция среднего пробега имплантированных ионов в подложке, которая определяет положение положения пика концентрации легирующей примеси, $\Delta\overline{R}_{\rho}$ – среднеквадратичное отклонение среднего пробега, задающее ширину профиля легирования, Q – доза имплантированных ионов и K_{act} – коэффициент активации примеси, а величина равная $K_{act}\cdot Q/\sqrt{2\,\pi}\cdot\,\Delta\overline{R}_{\rho}$ дает концентрацию легирующей примеси в максимуме профиля. Коэффициент активации равен отношению концентрации ионизированных после отжига доноров к полной концентрации имплантированной примеси.

Плотность заряда в канале можно найти, проинтегрировав выражение (1) по координате, направленной вглубь подложки и учтя наличие фоновой и компенсирующей примеси в ней.

$$n = K_{act}\cdot\left(Q-Q_1\right)-\left(K-1\right)\cdot N_{sd}\cdot d \qquad (2)$$

где d – толщина канала, Q_1 – потери в диэлектрике. Толщину канала можно получить из следующего соотношения: $N(d) - (K - 1)\cdot N_{sd} = 0$. N_{sd} – концентрация мелких фоновых доноров в GaAs подложке, K – коэффициент компенсации, который определялся как отношение концентрации глубоких акцепторов к концентрации мелких доноров в подложке, и варьировался при расчетах в пределах от 1.5 до 4.

В данной работе исследовались зависимости характеристик транзистора от двух параметров профиля: его положения и ширины. Эти характеристики варьировались в некоторых пределах, а затем результаты моделирования сравнивались с экспериментальными результатами. Так же исследовались физические процессы, происходящие в канале транзистора при вариации этих параметров.

Для расчетов вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзисторов и профиля легирования был использован пакет программно-технологического моделирования Sentaurus TCAD, разработанный фирмой Synopsys [5]. Расчет характеристик транзистора производился при помощи двумерной гидродинамической модели [6].

Положение пика концентрации легирующей примеси варьировалось от 0.026 мкм до 0.036 мкм с шагом 0.002 мкм. Ширина профиля бралась равной 0.068 мкм, коэффициент активации брался равным 0.8.

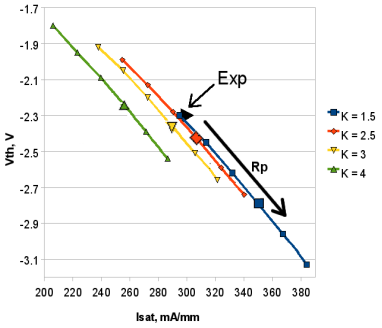


Рис. 1. Значения порогового напряжения и тока насыщения при различных положениях пика концентрации и различных значениях коэффициента компенсации (K). Направление заглубления профиля показано стрелкой с подписью Rp. Сплошным треугольником показаны экспериментальные значения порогового напряжения и тока насыщения (Exp) равные 300 мА/мм и – 2.3 В, соответственно

Как видно из рисунка при смещении положения профиля вглубь подложки ток насыщения и пороговое напряжения возрастают линейно с глубиной за счет линейного повышения плотности заряда в канале. Скорость их роста определяется коэффициентом компенсации подложки и подвижностью носителей заряда, которая в свою очередь определяется распределением легирующей примеси и напряженности электрического поля в канале транзистора.

Ширина профиля варьировалась от 0.078 мкм до 0.062 мкм со средним шагом 0.003 мкм (шаг изменения ширины незначительно менялся). Значения положения пика концентрации и коэффициента компенсации брались равными 0.032 мкм и 0.8 соответственно.

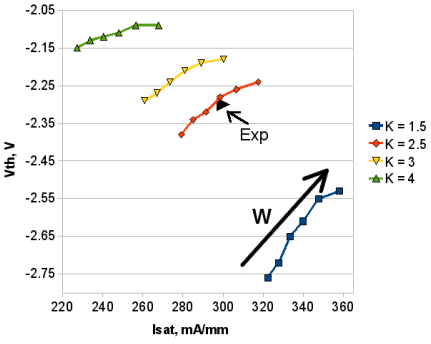


Рис. 2. Значения порогового напряжения и тока насыщения при различной ширине профиля легирования и различных значениях коэффициента компенсации (K). Направление уменьшения ширины профиля показано стрелкой с подписью W. Сплошным треугольником показаны экспериментальные значения порогового напряжения и тока насыщения (Exp) равные 300 мА/мм и – 2.3 В, соответственно

При уменьшении ширины профиля плотность заряда в канале возрастает из-за двух факторов: уменьшения потерь в диэлектрической пленке (член Q_1 в формуле (2)) и уменьшения влияния компенсирующей примеси (член $(K - 1)\cdot N_{sd}\cdot d$ в

той же формуле). Возрастание плотности заряда в канале увеличивает и ток насыщения и пороговое напряжение, но с другой стороны сужение профиля приводит к уменьшению порогового напряжения. В результате получается, что с уменьшением ширины профиля ток насыщения возрастает, а пороговое напряжение уменьшается. При малых коэффициентах компенсации влияние на ток насыщения и пороговое напряжение в основном оказывает изменение плотности заряда в канале, подвижность электронов при этом почти не меняется. При больших коэффициентах компенсации помимо увеличения плотности заряда в канале так же начинает оказывать влияние ударная межзонная генерация носителей заряда, которая возникает у стоковой части затвора из-за повышения напряженности электрического поля в этой части канала при уменьшении ширины профиля.

Таким образом, был произведен расчет зависимостей характеристик ионно-имплантированного транзистора от параметров его профиля легирования и изучены физически процессы, происходящие при варьировании этих параметров. Выяснено, что помимо плотности заряда в канале на характеристики транзистора оказывают значительное влияния так же процессы генерации и рекомбинации носителей заряда, подвижность электронов в канале, а так же процессы захвата носителей заряда на глубокие уровни, находящиеся в подложке. Поэтому для подобных расчетов важно использовать модель, которая позволяет учесть все эти процессы и зависимость подвижности носителей заряда от электрического поля и легирования.

Список литературы

[1] Селезнев Б.И., Дмитриев В.А., Штейнгарт А.П., “Исследование структур СВЧ полевых транзисторов с барьером Шотки на арсениде галлия”, Вестник Новгородского Государственного Университета, №19, 2001

[2] Полевые транзисторы на арсениде галлия под ред. Д. В. Ди Лоренцо, Д. Д. Канделуола, М. «Радио и связь», 1988

[3] B. L. Sharma “Ion implantation into GaAs“, Def. Sci. J., Vol 39, No. 4, October 1989, pp 353-365

[4] R. Anholt et al., “Ion implantation into gallium arsenide”, J. Appl. Phys., Vol. 64, No. 7, 1 October 1988, pp. 3429-3438

[5] TCAD Sentaurus Manual Version C-2009.06.

[6] K. Blotekjaer, “Transport Equations for Electrons in Two-Valley Semiconductors,” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-17, no. 1, pp.38–47, 1970.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Шкляр Е.И., Миляев Д.В.

Научный руководитель: Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: destroy@mail2000.ru

В мире медицине существует огромное количество различных приборов и средств измерения для выяснения болезней сердца и сердечнососудистых заболеваний. Одной из самых острых проблем, стоящей перед врачами, является выбор универсального точного устройства, которое верно, а самое главное быстро выявит болезнь пациента на ранних стадиях заболевания. Традиционно принятые при обследовании пациентов разовые измерения артериального давления (АД) не всегда отражают истинные его величины, не дают представления о суточной динамике, поэтому затрудняется диагностика артериальной гипер-тензии, подбор антигипертензивных препаратов, оценка их эффективности (особенно при однократном применении) и адекватность лечения.

У довольно значительного числа больных при визите к врачу, а зачастую и в клинической практике, при однократных измерениях обнаруживаются высокие цифры АД, иногда на 20-40 мм рт.ст. выше, чем при измерении дома. Иногда это ошибочно трактуется как гипертензия, но чаще – как "эффект белого халата". Амбулаторное суточное мониторирование АД (СМАД) в условиях обычной жизнедеятельности человека помогает исключить этот эффект, улучшить качество диагностики и правильно определить необходимость и тактику лечения. На данный момент все центральные больницы и частные клиники используют приборы, основанные на манжетном методе, что не очень удобно пациенту, манжета постоянно надувается и стягивает руку, частое применение таких приборов приводит к онемению капиллярных сосудов, поэтому учеными предлагаются новые методы измерения АД без использования манжеты.

Тонометр на основе пьезоэлектрического преобразователя сможет решить сложившуюся ситуацию в медицине. Пьезоэлектрический преобразователь основан на прямом пьезоэффекте. Пьезоэффект – возникновение электрического поля от механической деформации на поверхности некоторых кристаллических материалов. Пьезоэлектрический эффект (сокращенно пьезоэффект) наблюдается в анизотропных диэлектриках, преимущественно в кристаллах некоторых веществ,

обладающих определенной, достаточно низкой симметрией. Пьезоэффектом могут обладать кристаллы, не имеющие центра симметрии, а имеющие так называемые полярные направления (оси).

Суть метода заключается в измерение напряжения, которое возникает в преобразователе после прохождения пульсовой волны, определенной силы. Зависимость напряжения от давления человека состоит в коэффициенте, который необходимо вычислить математическим способом.

Рассмотрим зависимость напряжения от перемещения преобразователя:

$$E = K \cdot \Delta x,$$

где Е – напряжения на выходе преобразователя; К – общий коэффициент преобразования; Δx – перемещение преобразователя.

Закон Гука:

$$F = k \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{F}{k}$$

Связь силы и давления:

$$F = S \cdot P,$$

где S – площадь соприкосновения головки преобразователя с телом человека; Р – давление.

Вычисление системы уравнений:

$$\begin{cases} F = k \cdot \Delta x \\ F = S \cdot P \end{cases} \Leftrightarrow S \cdot P = k \cdot \Delta x,$$

$$P = \frac{k}{S} \cdot \Delta x$$

где К=$\frac{k}{S}$ – общий коэффициент преобразования.

Конструкция первичного преобразователя:

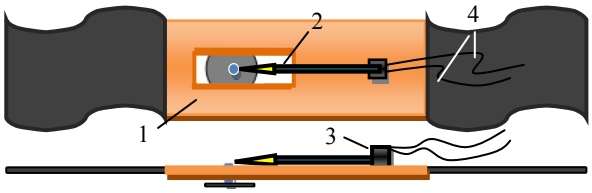


Рис. 1. 1 – пластина; 2 – преобразователь; 3 – крепление; 4 – выводы

Структурная схема экспериментального макета:

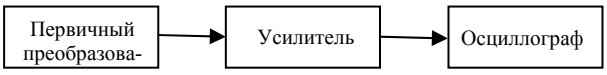


Рис. 2

С помощью данного экспериментального макета неоднократно проводились испытания первичного преобразователя на определения необходимых параметров, таких как АЧХ, ФЧХ, сигнал/шум и стабильность работы в комплексе с другим оборудованием. В ходе эксперимента получили информацию о рабочей частоте и о возможности применения пьезоэлектрического преобразователя в целях измерения артериального давления. На рис. 4 представлен график эксперимента.

Функциональная схема экспериментального макета:

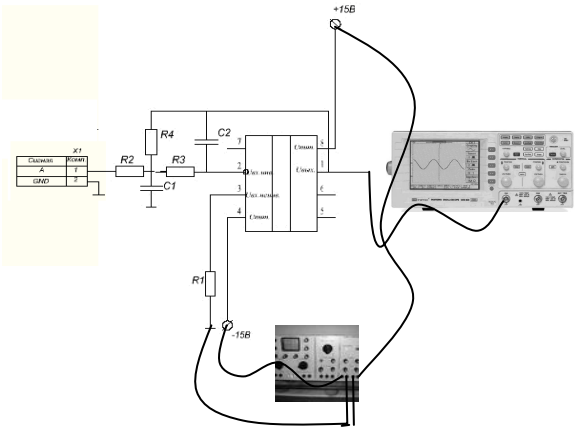


Рис. 3

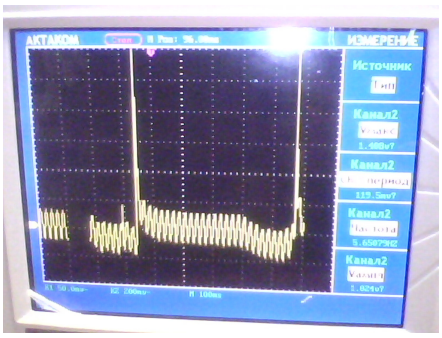


Рис. 4

Эксперименты подтвердили то предположение, что на представление информации влияют другие приборы, участвующие в опытах. Чтобы устранить эту неточность включим в эксперимент еще одно связующее звено – фильтр низких частот второго порядка (ФНЧ) на 30 Гц.

Рассчитав и подобрав необходимые элементы для ФНЧ, проведем его испытания, построив АЧХ:

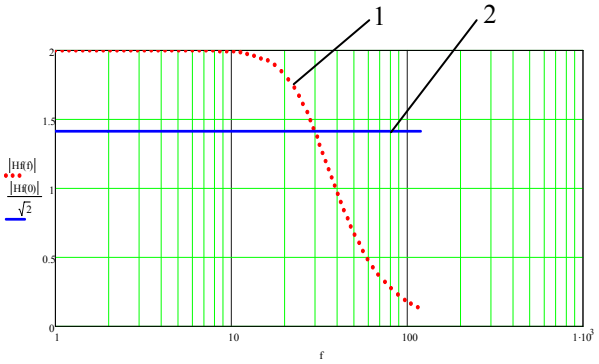


Рис. 5. 1 – АЧХ ФНЧ; 2 – $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot U$

$f_{ср} = 20 Гц$

С применением ФНЧ стало возможным подавлять высокую частоту, которая скрывала несущую информацию о работе пьезоэлектрического преобразователя, поэтому стало доступным исследование наиболее сцецифических возможностей звукоснимателя (первичного преобразователя).

Труднее всего оценивается степень мешающего воздействия нелинейных искажений. По своему происхождению эти искажения можно разделить на две группы. К одной из них относятся искажения, возникающие из-за нелинейности преобразования. Эти искажения вызывают амплитудную модуляцию, поэтому относительно колебаний с основной частотой как на несущей возникают частоты боковых полос (комбинационные звуки). Они представляют собой относительно небольшую помеху, потому что ее значение не зависит от частоты и у современных головок звукоснимателей пренебрежимо мало.

Ко второй группе относятся искажения огибания, возникающие вследствие геометрических различий между резцом рекордера при записи и иглой звукоснимателя (пьезоэлектрического преобразователя) при воспроизведении. Кроме гармонических составляющих, они вызывают фазовую модуляцию. Эти искажения увеличиваются пропорционально частоте, поэтому их мешающее действие чрезвычайно велико и они считаются определяющими искажениями головки звукоснимателя. Все эти мешающие факторы определяют достоверность работы преобразователя и надежность получаемой информации об артериальном давлении.

Одним из самых главных параметров, на которые следует обращать внимание, является прижимная сила звукоснимателя, которая не должна превышать 30 мН. Заданные в паспорте звукоснимателя минимальное и максимальное значения прижимной силы нельзя уменьшать или превышать. По возможности целесообразно установить рекомендуемое значение, так как прижимная сила влияет на вертикальный угол воспроизведения. Только при заданной изготовителем прижимной силе он будет равен 15°. Для звукоснимателей, имеющих укороченный иглодержатель, более благоприятным является больший вертикальный угол. По итогам экспериментов вертикальный угол воспроизведения у данного преобразователя составляет 25°.

Проведя ряд экспериментов пьезоэлектрического преобразователя, можно сделать вывод, что звукосниматели способны фиксировать артериальное давление, т.к. могут работать на низких частотах и имеют необходимую АЧХ для измерения систолического и диастолического давления, поэтому могут применяться в цифровых манометрах, работающих в режиме реального времени, фиксируя до 100000 измерений в день.

Список литературы

1. Селиванов Е. П., Блинов А. В. Измерительная техника. – 1995, с.64.
2. Жуковский В. Д. Медицинские электронные системы. М.: Медицина. 1976, с. 312.
3. Мордашкин В. К., Гусев О. Л. Малогабаритный прибор для измерения артериального давления. II Элементы и приборы систем измерения и управления автоматизированных производств: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Издательство Пенз. гос. техн. ун-та, 1997. – Вып. 3. – с. 22-25.
4. Блинов А. В., Селиванов Е. П. // Измерительная техника. 1995.

СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ RS-485

Шушеначев А.Ю. , Игнатовский В.В.

Научный руководитель: Воробьева Г.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fernan@sibmail.com

Введение

В настоящее время все актуальнее стоит проблема автоматизации различных систем управления. Как получить максимум информации, затратив минимум энергии и ресурсов для ее получения? Конечно же, используя современные технологии. Сегодня микроконтроллеры используются повсеместно: во всех технологических процессах, во многих устройствах бытовой техники, а также обязательно в системах сбора информации. Поэтому актуально исследование различных применений микроконтроллеров, создание систем на их основе и написание программ для сбора, обработки и передачи информации.

Факторы, влияющие на сбор и передачу информации

При выборе устройств сбора и передачи информации необходимо учитывать факторы, определяющие эффективность работы данной системы в различных условиях. Особое внимание уделяется быстродействию, мощности, потреблению энергии и, относительно информации, правильности приема и передачи. Например, при преобразовании любого типа информации часть ее может «потеряться», что приведет к получению недостоверных данных. Кроме того, расстояние до объекта также оказывает влияние на качество передачи данных, что обуславливает выбор протокола пере-

дачи. В некоторых системах скорость получения данных имеет важное значение для своевременного получения информации и корректного управления системой.

Использование микроконтроллера позволяет решить все эти задачи. Быстродействие системы на его основе определяется не только самим контроллером, но и датчиками, которые работают намного медленнее самого контроллера. Системы учета ошибок приема и передачи информации уже встроены в сам микроконтроллер либо могут быть легко реализованы путем программного кода. Энергопотребление всей системы минимально, так как контроллеры и датчики работают непостоянно, и даже в рабочем состоянии обладают низким током потребления.

Система сбора информации на 8051 микроконтроллере

В системе имеется один ведущий микроконтроллер, который ее инициализирует и управляет работой. Число ведомых микроконтроллеров определяется лишь возможностями протокола, при помощи которого происходит объединение микроконтроллеров в сеть. К каждому ведомому подключаются датчики (их число определяется возможностями микроконтроллера и самими датчиками). Ведомый микроконтроллер, в зависимости от запросов и команд от ведущего может не только передавать показания с датчиков, но и осуществлять управление каким-либо оборудованием. К ведущему контроллеру может быть подключена система индикации состояния датчиков или персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением, предназначенным для управления системой, получения и обработки информации и другими операциями над всей сетью ведомых микроконтроллеров с датчиками.

На основе микроконтроллеров C8051F060 разработана система получения и вывода на дисплей значений температуры окружающей среды, структурная схема которой представлена на рис. 1.

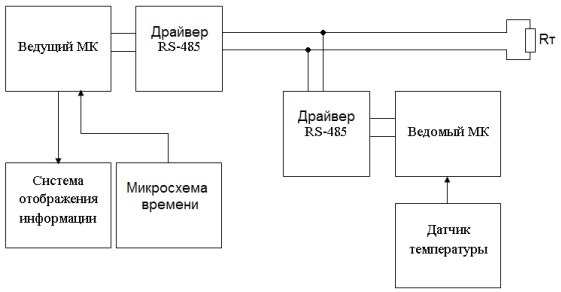


Рис. 1. Структурная схема системы

Блок сбора и обработки информации представляет собой ведомый микроконтроллер и датчик температуры. Блок связи представляет собой приёмо-передатчики протокола RS-485, подключенные к микроконтроллерам. Ведущий микроконтроллер образует блок управления системой. Система отображения информации и микросхема времени образуют блок отображения информации.

Микроконтроллеры C8051F060 фирмы Silicon Laboratories обладают высокой производительностью (25MIPS) [1]. Имеются аппаратно реализованные последовательные интерфейсы IIC/SMBus, SPI и два УАПП, что позволяет подключать различные типы и виды датчиков. Наличие внутрисхемного программирования Flash-памяти обеспечивает долговременное (энергонезависимое) хранение данных, а также позволяет осуществлять обновление программного обеспечения в готовых изделиях, что даёт возможность оперативно перенастроить микроконтроллер на работу с другим датчиком, или же изменить алгоритм работы с уже имеющимся.

В качестве средства отображения информации используется жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), отображающий 16 символов в двух строчках. В системе используется дисплей WH1602D фирмы Winstar Display Co, LTD [2]. Контроллер, встроенный в дисплей, упрощает работу с устройством и его программирование. Индикатор позволяет в режиме реального времени следить за показаниями температуры, кроме того, на дисплее выводится текущее время.

Реальное время считывается с микросхемы времени, подключенной к ведущему микроконтроллеру. Система работает с микросхемой DS1307 производства Dallas Semiconductor [3]. Микросхема соединяется в микроконтроллером по интерфейсу IIC [4]. DS1307 позволяет снимать данные не только времени, но и даты, однако в нашей системе это не используется. Регистры микросхемы разбиты по битам так, чтобы данные были представлены в двоично-десятичном формате. Тактирование микросхемы времени происходит с помощью внешнего кварцевого резонатора.

В качестве датчика температуры используется микросхема фирмы Dallas Semiconductor DS1620 [5]. Она позволяет измерять температуру в диапазоне от -55°C до +155°C, с точностью измерения ±5°C. В состав микросхемы входит 3 вывода, логический уровень которых зависит от отношения температуры к заранее заданному значению, но данная особенность не используется в этой системе. Максимальное время считывания и преобразования температуры в двоичный код составляет 1 секунду. DS1620 подключается к микроконтроллеру по интерфейсу USART. Для правильной работы микросхемы её необходимо изначально на-

строить, что осуществляется при инициализации подключенного к ней микроконтроллера.

Алгоритм работы системы

Краткий алгоритм работы на примере один ведущий – один ведомый представлен на рис. 2.

Ведущий микроконтроллер каждый период времени или по запросу от пользователя посылает запрос ведомому. Передача запроса ведётся по интерфейсу RS-485. При получении запроса от ведущего микроконтроллера ведомый распознаёт его и начинает работать с датчиком температуры. После приёма показаний с датчика и их обработки ведомый микроконтроллер отправляет показания к ведущему. Ведущий, приняв показания, выводит их на дисплей. Далее система ждёт следующего сеанса обмена информацией.

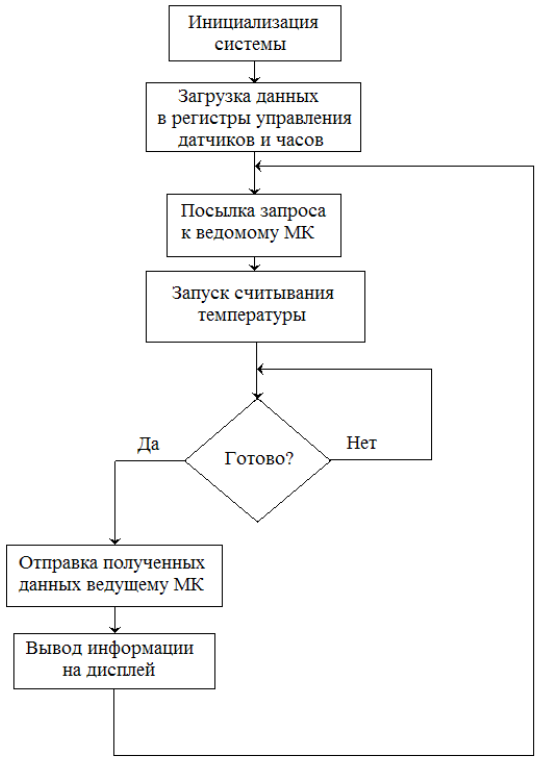


Рис. 2. Алгоритм работы системы

Особенности использования RS-485 протокола в системе

В системе сбора информации используется драйвер UART↔RS-485 MAX481/483. Модуль UART в микроконтроллере настраивается на 4-й режим работы, что позволяет осуществлять адресацию 256 устройств. Обмен данными по протоколу RS-485 организуется по прерываниям и прост в программировании.

Протокол RS-485 ограничивается скоростью передачи данных 11500 кбит/сек и расстоянием между приёмником и передатчиком до 1200 м без использования повторителей. В протоколе RS-485 передача данных осуществляется в полудуплексном режиме по двум каналам связи. Отличительной особенностью данного протокола является то, что по двум линиям связи передаются одинаковые данные, но инвертированные друг относительно друга, что позволяет минимизировать помехи. Благодаря этим качествам использование данного протокола нашло широкое применение в промышленных сетях и при обмене данными на больших расстояниях.

Выводы

1. Была разработана система сбора и отображения информации, спроектирована принципиальная схема устройства.
2. На основании алгоритма и схемы написан программный код на языке Assembler. Компилирование кода проведено в среде Silicon Laboratories IDE.
3. Проведены испытания системы в различных условиях, результаты соответствуют реалиям.

Список литературы

1. C8051F060/1/2/3/4/5/6/7 Mixed Signal ISP FLASH MCU Family. Silicon Laboratories.
2. Техническое описание WH1602D. Winstar Display Co, LTD, 2008.
3. Техническое описание DS1307. Dallas Semiconductor. Перевод с англ. PIClist RUS, 2007.
4. Интерфейсы микропроцессорных систем: учебное пособие / Г.С. Воробьева, А.И. Селезнев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 165 с.
5. DS1620 Digital Thermometer and Thermostat. Dallas Semiconductor, 111903.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ И ДЛИНЫ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Юруткина Т.Ю., Кузьма А.А.

Научные руководители: Редько В.В. доцент, Федоров Е.М., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tanya_solnce_12@mail.ru

Обеспечение качества, надежности и безопасности – это неотъемлемая часть процесса разработки изделия. Обеспечение качества изделий – это многосторонняя задача для предприятия дискретного производства. Для обеспечения максимальной эффективности управление качеством следует осуществлять уже на самых ранних этапах разработки и поддерживать его на всем протяжении жизненного цикла изделия.

Как и в любом другом производстве, в кабельной промышленности необходим контроль над линейной скоростью движения кабеля по линии, а также необходимо постоянно отсчитывать длину пройденного изделия.

Измеритель длины, скорости (счетчик длины, счетчик метража) предназначен для измерения длины и линейной скорости движения кабеля (провода, троса, каната, пленки, мебельной кромки и т.п.) в процессе их производства при совершении торговых операций на предприятиях кабельной промышленности и в торговых организациях.

Точное и надежное измерение скорости движения и длины кабелей, проволоки и оптических волокон является одним из важных факторов повышения эффективности технологических процессов производства, раскроя и коммерческого учета продукции в кабельной промышленности.

Измеритель длины, скорости (счетчик длины, счетчик метража) может использоваться для: кабеля, провода, троса, каната, шнура, рулонных материалов, мебельной кромки, ленты, шлангов, труб, арматуры, бревен и т.п.

Наиболее часто в промышленности используются следующие типы измерителей длины, скорости (счетчик длины, счетчик метража): оптический (лазерный), колесный с механическим счетчиком, колесный с электронным счетчиком импульсов.

Однако широко используемые контактные механические устройства на базе измерительных роликов или гусеничных ремней не отвечают современным требованиям по точности, быстродействию и надежности, а также имеют определенные ограничения по применению, например, для высокотемпературных, клейких и деформируемых изделий.

Механический измеритель длины, скорости (счетчик длины, счетчик метража) состоит из механического счетчика оборотов, на валу которого устанавливаются мерные колеса. Линейное движение материала регистрируется при соприкосновении колес прибора с движущимся материалом (бумага, пленка, ткань, кабель/провод, ремень конвейера, металлический лист и т.п.) или при соприкосновении колеса с валом, вращающимся синхронно с движущимся материалом.

Преимуществом такого вида измерителя является только то, что его конструкция весьма проста, но данный прибор имеет целый ряд недостатков, таких как:

1) требуется достаточно частая корректировка измерений по мере износа мерных колес;

2) низкая защита от пыли и воды;

3) вибрация и проскальзывание мерного колеса на больших скоростях, что ведет к ошибкам измерения;

4) большая ошибка измерения неровных кабелей;

5) деформация измеряемого изделия;

6) значительная погрешность измерения, обусловленная изгибом измеряемого изделия в месте контакта с колесом;

7) в большинстве счетчиков отсутствует предустановка (выдача сигнала при достижении заданной длины) [1].

Таким образом, механические измерители скорости и длины не отвечают нужным требованиям по точности. На рынке предложения должны появится новые приборы, которые могли бы заменить контактные методы измерения и контроля на бесконтактные, повышающие точность, а также в целом характеристики оборудования. В настоящее время основная часть таких измерителей, естественно, покупается за границей. Разработка и выпуск такой продукции на территории России приведет к соответственному уменьшению цены этого прибора в несколько раз, так как оно является дорогостоящим приобретением, что позволит привлечь немало покупателей.

С 1970-80-х зарубежом разрабатывались промышленные приборы для измерения скорости и длины: доплеровские, времяимпульсные, растровые, корреляционные. Эти приборы не имеют механического контакта с контролируемым объектом и, соответственно, погрешностей, связанных с проскальзыванием, износом, налипшей грязью, отличаются высокой надежностью и практически не требуют профилактического обслуживания, рассчитаны на широкую номенклатуру контролируемых изделий: от микропроводов до бронированных кабелей.

На рынке предлагаются различные модели лазерных допплеровских измерителей скорости и длины [2,3] и, менее широко, оптические измерители на основе растровых анализаторов или ПЗС-камер, использующие некогерентные источники излучения, а также времяимпульсные и корреляционные измерители [4, 5].

Эти приборы обеспечивают высокую точность измерения (0,05% – 0,2%) в широком диапазоне скоростей и ускорений и рассчитаны на расстояние до объекта от 30 мм до 300 мм. Они надежно работают практически с любыми поверхностями от черных матовых до блестящих металлических.

Принципиальная оптическая схема лазерного допплеровского измерителя скорости (ЛДИС) приведена на рис.1.

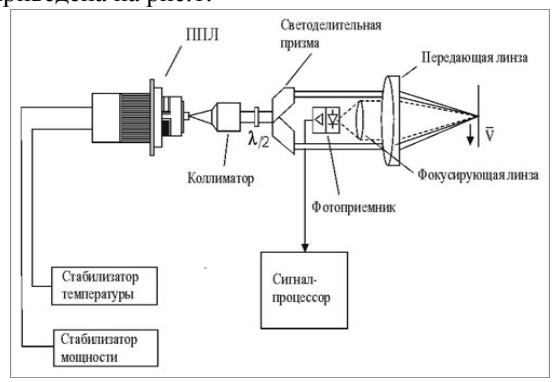


Рис. 1 Оптическая схема лазерного датчика ЛДИС

Лазерный пучок расщепляется светоделительной призмой на 2 луча, которые, пересекаясь на поверхности контролируемого объекта, образуют интерферирующую картину с периодом "d".

Излучение, рассеянное неоднородностями на поверхности объекта, собирается приемной оптикой и преобразуется фотоприемным устройством в электрический сигнал, частота которого пропорциональна скорости движения объекта.

$$f = \frac{V}{d} = \frac{2V \sin\left(\frac{Q}{2}\right)}{\lambda}, \qquad (1)$$

где f – выходная частота лазерного датчика,

V – скорость объекта,

Q – угол между лазерными лучами,

λ – длина волны лазера.

Таким образом, измеряя выходную частоту лазерного датчика, можно определить скорость и, соответственно, длину движущегося объекта.

$$V = \frac{f \cdot \lambda}{\sin\frac{Q}{2}} = K_{гр} \cdot f, \qquad (2)$$

$$L = \int_0^t V(t) \cdot dt, \qquad (3)$$

где $K_{гр}$ – градуировочный коэффициент; L – длина объекта; t – время измерения.

В первых образцах ЛДИС в качестве излучателей применялись газовые лазеры, что определяло большие габариты и относительно высокую стоимость приборов.

В настоящее время переход на полупроводниковые лазеры (ППЛ) позволил снизить стоимость ЛДИС, уменьшить габариты датчика и повысить его надежность. Это, в свою очередь, дало возможность принципиально расширить область применения ЛДИС. В наиболее совершенных ЛДИС предусмотрено определение направления движения объекта, что важно при наличии реверсивного движения [6].

Бесконтактность, надежность, высокие метрологические и динамические параметры лазерных измерителей скорости и длины определяют эффективность их применения в современных промышленных технологиях.

Список литературы

1. http://www.elecont.com.ua/RUS/product/metr.htm
2. Дубнищев Ю.Н., Белоусов П.Я., Меледин В.Г. Лазерные измерительные технологии для контроля металлургического проката. Труды конференции: "Оптические методы исследования потоков". Москва 2001 г.
3. Коронкевич В.П., Соболев В.С., Дубнищев Ю.Н. Лазерная интерферометрия. Наука.1983 г.
4. Rabe D.C., Dancey C.L. Comparison of laser transit and laser Doppler anemometer measurements in fundamental flous. "AIAA", 1986, №86-1650, pp. 1-7
5. Gogoasa I. "Meas. Sci. Technol."An extrinsic optical fibre speed sensor based on cross correlation., 1996, 7, №8, 1148-1152
6. Ринкевичюс Б.С. Лазерная диагностика потока. М.: Наука, 1990 г.

СЕКЦИЯ 3

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНИСТОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И РАЗМЕРА ЗЕРНА КАРБИДНОЙ ФАЗЫ НА РАДИУС ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ КРОМОК ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

Бабаев А.С.

Научный руководитель: Кирсанов С. В., д. т. н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: temkams@mail.ru

При срезании тонких стружек, что имеет место, например, при высокоскоростной обработке, радиус округления режущей кромки ρ становится соизмеримым с толщиной срезаемого слоя *a*, что приводит к появлению отрицательных передних углов [1].

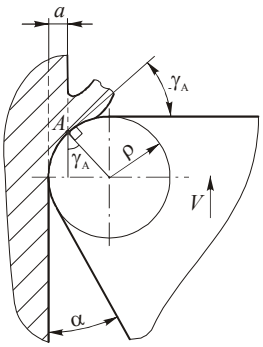


Рис. 1. Схема срезания стружки режущей кромкой с радиусом округления ρ

Согласно рис. 1 возможны следующие значения передних углов γ:

1) если $a \geq \rho$, то $\gamma_A = 0^\circ$;

2) если $a < \rho$, то $\gamma_A < 0^\circ$.

Таким образом, во втором случае передний угол преобретает большие отрицательные значения. Например, расчёты выполненные по формуле:

$$\gamma_A = \arcsin\left(1 - \frac{a}{\rho}\right)$$

показывают, что предний угол в точке *A* может принимать значения $\gamma_A = -60^\circ$. А это весьма неблагоприятно сказывается на процессе образования стружки [2].

В этом случае возникает потребность в разработке технологии заточки твёрдосплавных инструментов, обеспечивающей радиус округления в пределах ρ=5..8 мкм. В этой связи было проведено специальное исследование, суть которого заключалась в оценке влияния зернистости абразивного инструмента и размера зерна карбидной фазы d_{WC} твёрдого сплава на радиус округления режущей кромки.

В эксперименте использовали отечественные однокарбидные твёрдые сплавы марок ВК6, ВК6-М, ВК8, ВК10-ОМ, ВК15-ОМ (по 15 пластин каждого сплава) с углами заточки $\gamma = 0^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$ (табл. 1) [3].

Таблица 1

Марка твёрдого сплава	Средний размер зерна карбида вольфрама d_{WC}, мкм	Содержание, %	
		Co	WC
ВК6	2,0	6	94
ВК6-М	1,6	6	94
ВК8	2,0	8	92
ВК10-ОМ	1,3	10	90
ВК15-ОМ	1,3	15	85

Радиус округления определяли методом светового сечения на исследовательском оптическом микроскопе AxioObserver A.1m фирмы Carl Zeiss (Германия)*. Измеряли радиус округления в перпендикулярном направлении к боковой поверхности твёрдосплавной пластины при одностороннем направленном освещении с 50-кратным увеличением (рис. 2). Отснятые снимки записывали в память компьютера и визуально оценивали на наличие микросколов и/или выкрашиваний на исследуемой кромке. Измеряли радиус округления *ρ* с помощью программного продукта AxioVision.

Заточку пластин осуществляли на универсально-заточном станке модели 3В642 в следующей последовательности: передняя поверхность, задняя поверхность, боковая поверхность пластины. При этом направление вращение алмазного круга для уменьшения появления микросколов и выкрашиваний было направлено на режущую кромку. Такое же направление движения имело место и при ручной доводке алмазными пастами.

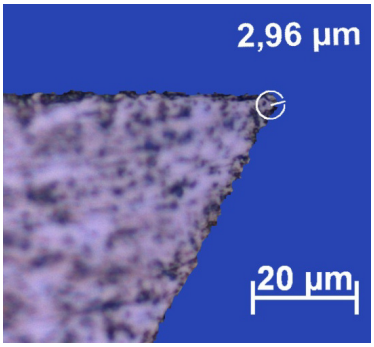


Рис. 2. Пример измерения радиуса округления режущей кромки на оптическом микроскопе фирмы Carl Zeiss (Германия). Твёрдый сплав марки ВК15-ОМ, углы заточки $\gamma = 0^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$

Режимы заточки пластин указаны в (табл. 2) [4].

Таблица 2

Вид обработки	Круг	v, м/с	$S_{поп}$, мм/дв.ход	$S_{прод}$, м/мин
Черновая	АС4 100/80	15	0,20	1
Получист-овая	АС4 63/50	15	0,10	0,5
Чистовая	АС4 28/20	15	0,05	0,5

Полученные после алмазной заточки результаты измерений представлены на графике (рис. 3).

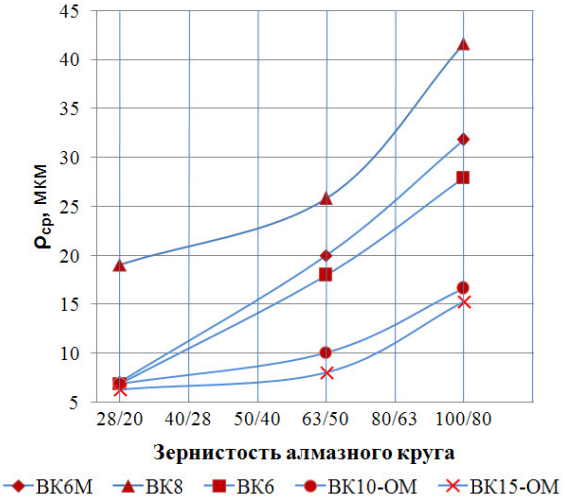


Рис. 3. Влияние зернистости алмазного круга на среднее значение радиуса округления $\rho_{ср}$ режущей кромки

Заточенные алмазными кругами пластины последовательно доводили алмазными пастами с зернистостью 28/20, 7/5 и 2/1. При этом алмазная паста наносилась на фотобумагу со стороны обратной эмульсионному слою, в результате чего зёрна алмаза шаржировали поверхностный слой бумаги. Во избежание завалов режущих кромок под фотобумагу подкладывали толстое стекло. Алмазную доводку производили при приложении небольшой нагрузки направленой перпендикулярно к обрабатываемой поверхности и путём перемещении образца по шаржированной поверхности фотобумаги со скоростью 70-100 мм/с. Время при ручной доводке одной поверхности образца во избежание скалывания режущих кромок не превышало 8-12 мин. Хотя связь между зёрнами карбида вольфрама достаточно крепка, было установлено, что при достижении радиуса округления ρ=3..5 мкм высока вероятность выкрашивания отдельных зерен карбидов или групп зёрен карбидов после врезания кромки в фотобумагу. Полученные после алмазной доводки результаты измерений представлены на графике (рис. 4).

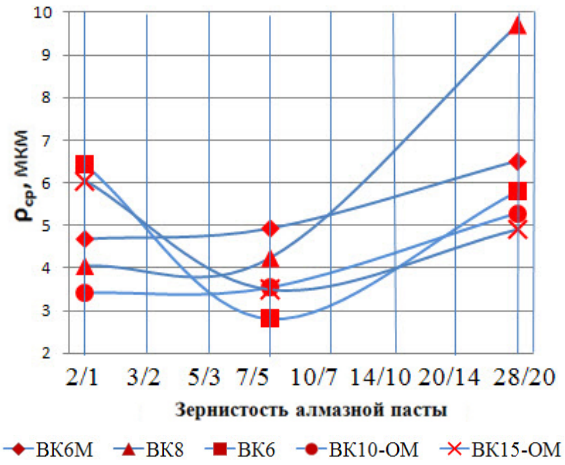


Рис. 4. Влияние зернистости алмазной пасты на среднее значение радиуса округления $\rho_{ср}$ режущей кромки

Выводы

1. Уменьшение зернистости алмазного круга и размера зерна карбидной фазы вызывает уменьшение величины среднего радиуса округления $\rho_{ср}$. Сплавам марок ВК6, ВК6-М для достижения радиуса округления ρ≤8мкм достаточно производить чистовое затачивание алмазным кругом зернистостью 28/20. Для особомелкозернистых сплавов марок ВК10-ОМ, ВК15-ОМ такое значение радиуса округления достигается заточкой кругом зернистостью 63/50.

2. Выкрашивание режущих кромок при алмазной доводке наиболее часто наблюдается в твёрдом сплаве марки ВК6. Особомелкозернистые твёрдые сплавы марок ВК10-ОМ, ВК15-ОМ менее подвержены выкрашиванию. Поэтому заточкой и доводкой особомелкозернистых твёрдых сплавов можно достичь значения радиуса округлениями ρ=3..5 мкм.

Список литературы

1. Eichler R. Prozeßsicherheit beim Einlippenbohren mit kleinsten Durchmessern. Diss. Stuttgart: Institut füz Werkzeugmaschinen, 1996, 154 S.
2. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов. – М.: Машиностроение, 2007. 304 с.
3. Металлообрабатывающий твёрдосплавный инструмент: Справочник / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский и др.; – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. Справочник заточника / В. А. Кащук, Д. А. Мелехин, Б. П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.

К МЕХАНИЗМУ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКЕ ТИТАНА

Балбеков Д.Н., Пешков В.В.

Научный руководитель: Пешков В.В., д.т.н., профессор

ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»
e-mail:balbekovdn@gmail.com

Согласно [1, 2 и др.] при диффузионной сварке титана и его сплавов в условиях низкоинтенсивного силового воздействия процесс образования соединения лимитируется стадией формирования физического контакта.

В работе [2], моделируя сечение микровыступов на контактных поверхностях в виде треугольников (рис. 1) высотой h_0, было показано, что текущая высота микровыступов h связана с относительной площадью, образовавшегося при смятии микровыступов физического контакта F_k зависимостью:

$$h = k \cdot (1 - F_k), \qquad (1)$$

где k принимает значения от 0,5 до 0,8.

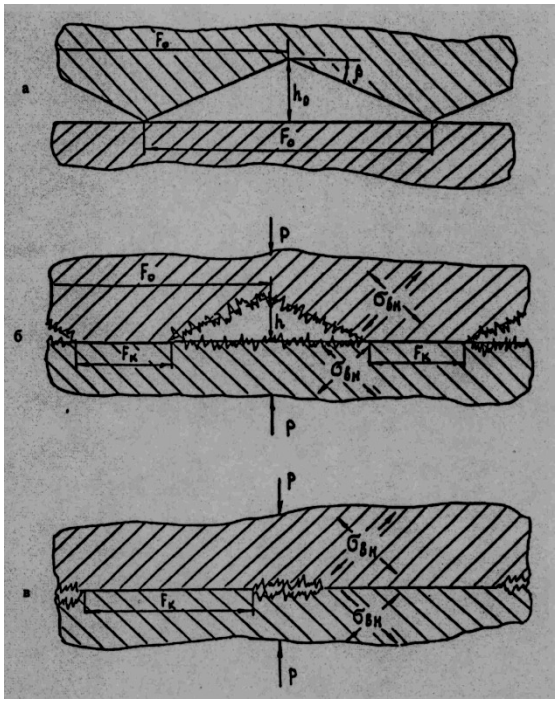


Рис. 1

Как показали экспериментальные исследования, кинетика физического контакта в условиях диффузионной сварки [3] может быть описана выражением:

$$F_k = 1 - \exp(-\tau/\alpha), \qquad (2)$$

где α – постоянная времени, являющаяся функцией температуры и приложенного сжимающего давления; τ – текущее время.

Тогда получим:

$$h = h_0 - \exp(-\tau/\alpha), \qquad (3)$$

Это выражение позволяет производить количественную оценку влияния технологических параметров диффузионной сварки (температуры, удельного давления и времени) на процесс сближения свариваемых поверхностей (смятие микровыступов).

Как было показано в работах [1, 2, 3 и др.], в условиях диффузионной сварки металлов развивается деформация не только в результате приложенного внешнего сжимающего давления, но и под действием собственных (внутренних) напряжений, приводящая к образованию на поверхности металлов «микровыступов» и «микровпадин».

Процесс деформации контактных поверхностей под действием внутренних напряжений сам по себе не может приводить к увеличению площади физического контакта при диффузионной сварке, так как объем свариваемых заготовок не увеличивается.

При сближении контактных поверхностей в процессе ползучести под действием приложенных сжимающих давлений до некоторой величины h, соизмеримой с величиной «микровыступов», формирующихся на поверхности под действием собственных напряжений, произойдет образование микроконтактов. Эти образовавшиеся многочисленные микроконтакты будут являться очагами спекания.

В области высоких температур, когда диффузионная подвижность атомов и упругость паров достаточно велики, самопроизвольный рост площади микроконтактов (т.е. лишь под влиянием давления, обусловленного кривизной поверхности приконтактного перешейка) может происходить за обозримые времена по механизмам вязкого течения, объемной и поверхностной диффузии, переноса вещества через газовую фазу [5]. Кинетика этих процессов может быть описана уравнением вида:

$$x(\tau) = A(t) \cdot \tau, \qquad (4)$$

где x(τ) – радиус площади контакта; A(t) – функция, конкретный вид которой зависит от температуры, геометрии контакта, свойств материала.

В работе [5] приведены функции $A(t)$ для перечисленных выше механизмов. В частности, если моделировать микроконтакты в виде полусфер радиусом R_0, то при реализации механизма вязкого течения радиус площади контакта с увеличением времени будет изменяться по закону [5]:

$$x = \frac{3}{2} \cdot \left(\alpha \cdot \frac{R_0}{\eta} \right) \tau, \quad (5)$$

где α – удельная поверхностная энергия на границе фаз; η – коэффициент вязкости материала при температуре сварки.

Развитие процессов образования микроконтактов и последующего увеличения их площади будет приводить к формированию в зоне стыка пор. Согласно [6], если радиус пор r_0 значительно больше линейных размеров элементов микроструктуры (зерна, блока), т.е. пора окружена большим количеством мелких зерен (блоков), то под влияние лапласовского давления будет происходить диффузионно-вязкое течение вещества в пору и радиус поры будет меняться по закону [6]:

$$r = r_0 - \frac{3}{4} \cdot \left(\alpha \cdot \frac{R_0}{\eta} \right) \tau, \quad (6)$$

Таким образом, основная роль процесса деформации контактных поверхностей под действием собственных (внутренних) напряжений в образовании диффузионного соединения заключается в создании в контактном зазоре центров (в разделении сплошного контактного зазора на ряд значительно более мелких пор), вокруг которых развиваются процессы, протекающие при спекании металлов.

Используя зависимости (1) – (6), дадим количественную оценку процессам, протекающим в контактном зазоре при диффузионной сварке титана в соответствии с предложенной схемой образования соединения.

На первом этапе оценим величину относительной площади контакта F_k, которую необходимо развить между свариваемыми поверхностями, чтобы в контактном зазоре под действием внутренних напряжений проходило образование очагов (центров) спекания.

Используя профилограммы, определим величину максимальных микровыступов, образующихся на полированной поверхности сплава ВТ9 при отжиге в условиях автовакуумирования в течение одного часа. Она составила: 0,3 мкм при 850 ˚С; 0,5 мкм при 900 ˚С; 0,9 мкм при 950 ˚С и 1,5 мкм при 1000 ˚С.

Для случая контакта полированной поверхности с поверхностью, обработанной точением, можно считать, что $h_0 = 6{,}8$ мкм. Тогда из уравнения (1) следует, что F_k для температур 850, 900, 950 и 1000 ˚С составляет соответственно 0,95; 0,92; 0,87 и 0,78. То есть, в рассмотренных условиях ($h_0 = 6{,}8$ мкм) процесс образования очагов спекания за счет развития диффузионного соединения только в области высоких температур (от 950 до 1000 ˚С).

Используя уравнение (5), оценим порядок времени, необходимого для увеличения радиуса площади микроконтактов, моделированных полусферами радиусом $R_0 = 10^{-4}$ см до $0{,}5\ R_0$ при 1000 ˚С.

Значения η, вычисленные по экспериментальным кривым ползучести сплава ВТ9 с исходной мелкозернистой структурой, в предположении:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{\eta}, \quad (7)$$

где $\dot{\varepsilon}$ – скорость ползучести; p – удельное давление, составили ~ 10^{11} дин·с·см$^{-2}$.

Величину удельной поверхностной энергии α на границе фаз принимаем равной $1{,}5 \cdot 10^3$ дин·см$^{-2}$.

Тогда время τ, необходимое для увеличения радиуса площади микроконтакта до $5 \cdot 10^{-5}$ см, составит 10^3 с.

Время, необходимое для заращивания пор, образующихся в результате развития микроконтактов, оценим по выражению (6). Принимаем, что размеры пор соизмеримы с высотой микровыступов, то есть $r_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ см. Тогда при Т = 1000 ˚С, τ будет равной $4{,}5 \cdot 10^3$ с.

Вычислим значения времени как развития микроконтактов (~ 10^3 с), так и заращивания пор (~ $4{,}5 \cdot 10^3$ с), по порядку времени соизмеримы с временем, используемым при сварке.

Полученные результаты имеют не только научное, но и практическое значение, поскольку позволяют наметить пути, обеспечивающие снижение накопительной деформации свариваемых заготовок.

Такими путями могут быть:

1. Использование снижающих давлений только на начальном этапе сварки для сближения свариваемых поверхностей на расстояние, соизмеримое с высотой деформационных рельефов, образующихся под действием собственных (внутренних) напряжений;

2. Повышение чистоты обработки контактных поверхностей до уровня, позволяющего собирать свариваемые заготовки с величиной контактного зазора, соизмеримого с высотой деформационных рельефов, и осуществление процесса по схеме автовакуумной сварки при всестороннем сжатии заготовок.

Список литературы

1. Диффузионная сварка титана / Э.С. Каракозов, Л.М. Орлова, В.В. Пешков, В.И. Григорьевский. – М.: Металлургия, 1977. – 270 с.
2. Диффузионная сварка титана и его сплавов / А.В. Бондарь, В.В. Пешков, Л.С. Киреев, В.В. Шурупов. – Воронеж: ВГТУ, 1998. – 256 с.
3. Физико-химия схватывания титана со стальной оснасткой при диффузионной сварке А.В. Бондарь, Ю.П. Камышников, В.В. Пешков и др. – Воронеж: ВГТУ, 1999. – 185 с.
4. Мусин Р.А., Анциферов В.Н., Квасницкий В.Ф. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.
5. Гегузин Я.Е. Физика спекания. – М.: Наука, 1967. – 360 с.
6. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. – М.: Наука, 1972. – 424 с.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Батранин А.В.

Научный руководитель: Кректулева Р.А, к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: batranin@tpu.ru

Введение

При решении широкого круга прикладных проблем используют метод обратных задач. В инженерной практике данный подход необходим для оптимального выбора параметров технологической обработки, исходя из заданных свойств изделия и требований качества. Поэтому обратную задачу в данном случае называют задачей оптимизации. Они, как правило, нелинейны. На современном этапе для решения нелинейных обратных задач широко используют вычислительную технику и специализированные программные продукты. Данные программные продукты моделируют реальные технологические процессы, а на основании вычислительных экспериментов делаются выводы о пригодности того или иного способа обработки для получений изделий надлежащего качества, с учетом минимизации затрат.

В данной работе рассматривается использование программы «Виртуальное рабочее место инженера-сварщика (ВРМ)» [1], разработанной на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» ТПУ, которая служит основой для создания нового программного продукта, нацеленного на решение задач оптимизации в области сварочного производства. Решение задач такого типа требует значительной вычислительной мощности. В данной связи целесообразно использование параллельных вычислений на высокопроизводительном кластере, например, на суперкомпьютерном кластере «СКИФ-Политех» [2], который имеет необходимое программное обеспечение.

Постановка задачи и ее решение

В случае дуговой сварки одними из самых распространенных являются задачи выбора оптимальных режимов сварки для выполнения сварного шва определенного типа и размера в данном изделии. Стандарты на сварные соединения диктуют геометрические параметры шва. Пример стыкового сварного шва для изделий из алюминия и его сплавов приведен на рис. 1. Задача технолога – обеспечить необходимую геометрию при выборе параметров режима сварки. И хотя давно существуют инженерные методики для выбора параметров режима сварки, исходя из геометрии соединения, а также наработан большой эмпирический материал, на котором основывается выбор режимов, нужно сказать, что на оптимальность данные режимы не проверялись, поэтому здесь может существовать значительный потенциал роста эффективности технологии. Если же говорить о новых способах обработки, новых материалах изделий или о нестандартных соединениях, то тут задача оптимизации выходит на первый план.

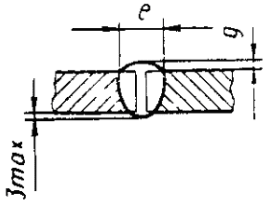


Рис. 1. Конструктивные элементы сварного шва типа С2 по ГОСТ 14806–80 [3]: e – ширина шва, g – усиление шва

Рассматриваемая задача оптимизации может быть выражена в терминах задач нелинейного программирования и может быть сформулирована следующим образом: найти вектор $\overline{X} = [x_1, x_2, ..., x_n], \overline{X} \in E^n$, доставляющий минимум (максимум) целевой функции $F(\overline{X})$ при m линейных и (или) нелинейных ограничений в виде равенств: $h_i(\overline{X}) = a_i, i = \overline{1,m}$ и (p-m) линейных и (или) нелинейных ограничений в виде неравенств:

$$g_i(\overline{X}) > b_j, j = \overline{m+1, p}$$ [4].

В большинстве случаев для различных материалов и типов сварных соединений, стандарты устанавливают следующие критические параметры качества: ширина шва e, высота шва или глубина проплавления h (определяется толщиной изделия и числом проходов), катет шва K (для угловых швов), величина усиления шва g и обратного валика g_1. При существующей методике полуэмпирических расчетов из данного набора геометрических параметров вычисляются ширина шва и глубина проплавления (высота шва) [5].

В терминах тепловых задач оптимизацией процесса сварки будет являться поиск теплового воздействия, которое соответствует заданной форме изотермы плавления в поперечном сечении изделия. Тогда, имея заданное сечение и, возможно, пределы отклонений от него, можно перейти к объему расплавленного металла на образце единичной длины. А задача оптимизации сведется к

поиску минимального количества энергии, необходимого для расплавления заданного объема металла, и к соответствующей интенсивности процесса, т.е. скорости сварки.

В математической модели сварочных процессов, которая используется в ВРМ [6] дуговой источник задается граничными условиями в виде:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = Q_{уд}, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность материала изделия, Вт/(м·К); $\frac{\partial T}{\partial n}$ – градиент температуры по нормали к поверхности, К/м; $Q_{уд}$ – удельная мощность источника в данной точке поверхности, Вт/м^2, которая определяется нормальным распределением

$$Q_{уд} = \frac{\eta IUk}{\pi} \exp\left(-kr^2\right), \quad (2)$$

где I – ток дуги, А; U – падение напряжения на дуге, В; η – эффективный КПД процесса, k – коэффициент концентрации дуги, 1/м^2; r – расстояние от точки до оси дуги, м.

Согласно формуле (2) в общем случае имеются 4 переменные, которые определяют фактическое значение передаваемой энергии: I, U, η, k. Управляемыми из них являются первые два: ток и напряжение дуги. КПД процесса и коэффициент концентрации дуги – неуправляемы и должны определяться экспериментальным путем. Однако в одном и том же технологическом процессе, т.е. при заданном способе сварки и в определенном диапазоне сварочных токов и напряжений, эти величины изменяются в небольших пределах, поэтому в данном случае можно их считать постоянными.

На практике непрерывные величины ток и напряжение заменяются соответствующими векторами I_i, U_j, где i-ое и j-ое значение величин формируются с некоторым шагом в выбранном диапазоне. Имея в виду, что $Q_{уд} = f(I,U)$, переходим к матрице $Q_{i,j} = I_i \times U_i$, которая трансформируется в вектор удельных мощностей источника энергии $\overline{Q}_n$, где $n = i \times j$. Таким образом, можно уменьшить число переменных до одной. Другим управляемым параметром процесса служит скорость сварки V. Тогда получаем двухпараметрическую нелинейную задачу оптимизации необходимой энергии $E(\overline{Q}_i, V_i) \to \min$ со следующими ограничениями:

$$Q_{\min} \le \overline{Q}_i \le Q_{\max}$$
$$0 < V_i \le V_{\max}$$
$$f_1\left(\overline{Q}_i, V_i\right) = e$$
$$f_2\left(\overline{Q}_i, V_i\right) = h$$

Здесь Q_{min}, Q_{max}, V_{max} будут определяться возможностями оборудования и условиями физического существования процесса. Функции f_1 и f_2 – нелинейны и определяются из результатов компьютерного эксперимента.

Принципиальная схема параллельного решения задачи приведена на рис. 2.

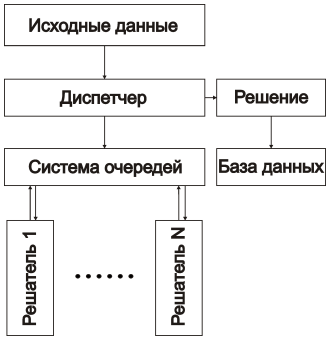


Рис. 2. Схема параллельного решения задачи оптимизации

Исходные данные: материал и геометрия образца, диапазон параметров режима, требуемые свойства сварного шва и т.д. – поступают в программу-диспетчер, которая передает управление системе очередей кластера. Последняя распределяет подзадачи между узлами кластера – решателями. Подзадачи представляют собой расчет отдельных процессов, параметры режима которых выбраны из диапазона, заданного в исходных данных. После окончания расчета результаты решения вместе с исходными данными заносятся в базу данных для дальнейшего использования.

ВЫВОДЫ

В работе поставлена задача оптимизации сварочных процессов с использованием специализированного программного обеспечения и приведена схема параллельного решения этой задачи с использованием высокопроизводительного кластера.

Список литературы

1. Батранин А.В., Кректулева Р.А., Черепанов Р.О. Виртуальное рабочее место инженера-сварщика (ВРМ). Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616487 (дата регистрации: 30.09.2010).
2. Суперкомпьютерный кластер «СКИФ-политех». Режим доступа: http://cluster.tpu.ru
3. ГОСТ 14806-80. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
4. Карманов, В. Г. Математическое программирование. – М.: Физматлит, 2008. – 264 с.
5. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
6. Кректулева Р. А., Батранин А. В., Бежин О. Н. Применение программного обеспечения Meza для оценки дефектности сварных соединений на стадии проектирования // Сварка и диагностика, 2009. №2. С. 36-42.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ДОКУМЕНТАЦИИ

Вилипп К.А.

ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В.Вахрушева»
E-mail: vr@sibmail.com

Конструирование – это наиболее творческий процесс в создании материальных ценностей [1]. Каждая задача, как правило, имеет много решений.

В начале конструирования может потребоваться многое: уметь определить действующие силовые факторы, выполнить прочностные, электрические, оптические, магнитные, тепловые расчеты. Выбирать из нескольких возможных вариантов конструктивного исполнения изделия лучших по надежности, дизайну, качеству при оптимальной стоимости изделия, наименьшей трудоемкости, а также оценивать его конкурентоспособность на мировом рынке.

Начало проектирования заключает в себе сбор и анализ информации. Одна из завершающих стадий это документирование разработки.

Информационные процессы активно воздействуют на все стороны человеческой жизни. Использование новейших информационных технологий многократно усиливает это влияние. Чтобы реализовать свои потенциальные возможности, достичь профессиональных успехов, стать гармонично развитой личностью, современный человек должен обладать достаточно высоким уровнем информационной культуры.

Особенно велика роль информации в процессе управления – на всех его уровнях и во всех сферах: политической, экономической, научной, культурной и т.д. Без информации невозможно управление. Документирование информации, её поиск, обработка, хранение, передача требуют значительных финансовых, материальных, трудовых ресурсов и времени. Поэтому организация эффективной работы с документами, совершенствование всех информационно-документационных процессов как в масштабе общества в целом, так и на уровне отдельных предприятий, организаций является важнейшим направлением управленческой деятельности.

Прежде чем возводить какое-либо сооружение или изготавливать предмет, человек строит их "в своей голове", а затем закрепляет эту информацию на каком-либо материале.

Техническое документирование – это способ фиксации технической мысли на материальном носителе.

Техническая документация появляется в процессе документирования различных видов научно-технической деятельности, к числу которых относится проектирование, конструирование, разработка технологических процессов, научно-исследовательская деятельность, организация промышленного производства, а также геологоразведочные, геодезические, картографические работы. Таким образом, технические документы – это обобщающее название графических и текстовых документов, отражающих техническую мысль.

Техническое документирование появилось ещё в глубокой древности, практически одновременно с появлением письма. По мнению учёных, уже многие из наскальных рисунков содержали производственную тематику. По рисункам сооружались храмы и дворцы в Древнем Египте и Вавилоне. Там же появились технические описания на камне, глине, папирусе, которые впоследствии стали дополняться экономическими расчётами и сметами. Для изготовления изделий и сооружения построек стали изготавливать образцы, модели. Появляются рисунки специального технического назначения – чертежи, географические карты.

Качественные изменения в техническом документировании произошли при переходе от аграрного общества к индустриальному. В этот период важнейшим техническим документом становится *чертёж*, т.е. изображение предмета, выполненное с помощью черт, линий на плоскости по определённым правилам. Не случайно именно в конце 18 в. появилось так называемое проекционное черчение, разработанное французским инженером Г.Монжем и используемое вплоть до наших дней. В дальнейшем расширение сферы технического документирования происходило за счёт появления новых либо совершенствования старых его направлений: технологическое документирование, документирование научных исследований, стандартизации и др. [2].

Блок-схема (рис.1) позволяет ознакомиться с процессом разработки конструкторской документации.

Основные элементы блок схемы

Техническое задание – перечень требований, условий, целей, задач, поставленных заказчиком в письменном виде, документально оформленных и выданных исполнителю работ проектно-исследовательского характера. Такое задание обычно предшествует разработке строительных, конструкторских проектов и призвано ориентировать на создание проекта, удовлетворяющего желаниям заказчика и соответствующего условиям использования, применения разрабатываемого проекта, а также ресурсным ограничениям.

Эскиз (франц. esquisse) – предварительный набросок, фиксирующий замысел художественного произведения, сооружения, механизма или отдельной его части. Совокупность документов, которые должны

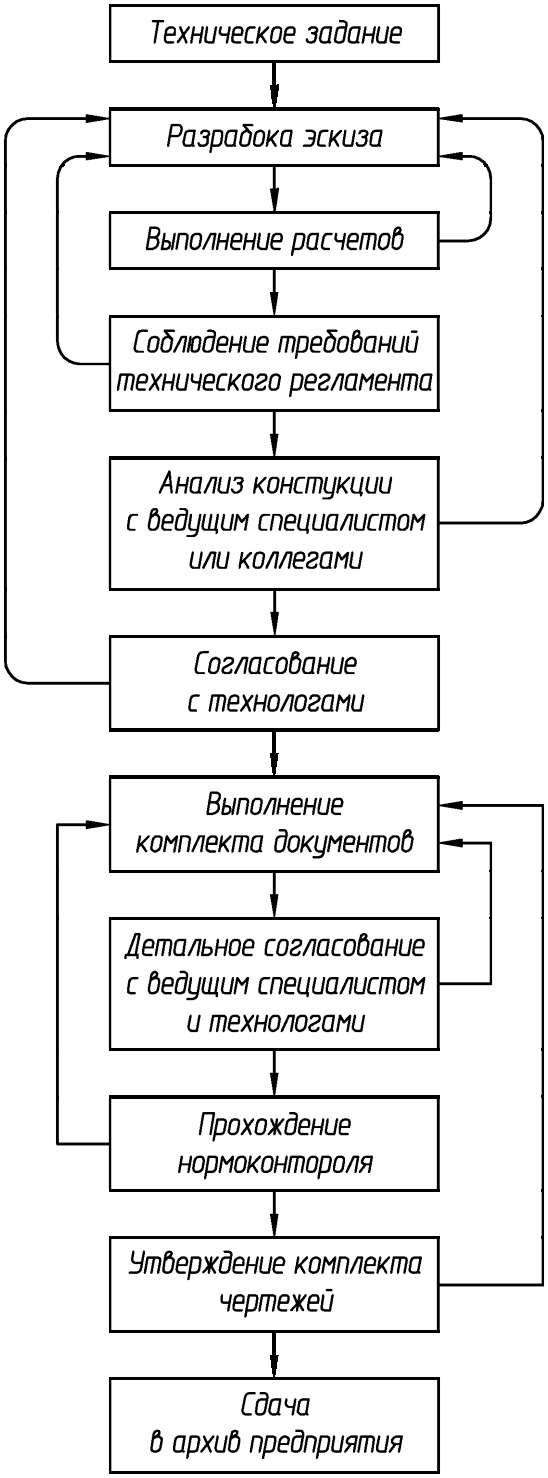


Рис. 1. Блок-схема

содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление о назначении, об устройстве, основных параметров, принципе работы и габаритных размеров. Может быть представлен программной моделью.

Технический регламент – перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации [3]. Перечень документов для добровольной сертификации зависит от области применения разработки.

Технология – совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката. Учитывает оборудование данного предприятия и возможность изготовления.

Нормоконтроль – требования по учету, хранению и обеспечения подразделений предприятия конструкторскими и технологическими документами, выполненными в бумажной форме. Выполняет бюро технической документации [4].

Только после сдачи полного комплекта документации в архив, копии подлинника (рабочие копии) рассылаются в подразделения предприятия.

Архив разделяют для документации в бумажной и электронной форме.

Рекомендации при проектировании:

- рассмотрение технического задания на возможность оптимизации;
- проведение обзора мировых наработок в данной области;
- следование принципам эргономичности (обеспечение комфорта, эффективности и безопасности при использовании данной разработки);
- обеспечение технологичности конструкции;
- использование стандартных, нормализованных деталей и узлов;
- унифицирование разработки (приведение различных видов продукции и средств ее производства к наименьшему числу типоразмеров, марок, свойств и т.п., один из методов стандартизации);
- использование широко распространенного сырья, материала.

Список литературы

1. Иванов А.С. Конструируем машины шаг за шагом: В 2 ч. – 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – Ч. 1. 328 с.: ил.
2. http://ido.tsu.ru Ларьков Н.С. Документоведение.
3. www.gost.ru официальный сайт Ростехрегулирования.
4. ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.

ПРОИЗВОДСТВО НАНОПОРОШКОВ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Гурин С.Ю.

Научный руководитель: Крауиньш Д.П., к.т.н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: serjant007@sibmail.com

Нанотехнологии – это "самые высокие" технологии, на развитие которых ведущие экономические державы тратят сегодня миллиарды долларов. По прогнозам ученых нанотехнологии в XXI веке произведут такую же революцию в манипулировании материей, какую в XX произвели компьютеры в манипулировании информацией", а их развитие изменит жизнь человечества больше, чем освоение письменности, паровой машины или электричества.

Существует три основных способа для производства ультрадисперсных порошков: химический, механический и смешанный. Каждая технология имеет свои недостатки и преимущества. В промышленном производстве чаще используют механический способ производства нанопорошковых материалов.

Механическое измельчение до наноразмерного состояние подразумевает использование различных мельниц для помола. Сейчас разработана уникальная технология, альтернативная обычным шаровым мельницам, которые уже не в состоянии решать более сложные технологически задачи.

Наиболее эффективным способом для механического синтеза нанопорошков являются планетарные мельницы, принцип работы которых основывается на технологии шарового измельчения. Для того, чтобы понять работу планетарных мельниц, рассмотрим сначала технологию обычного шарового измельчения.

1. Шаровая мельница

Основополагающим инструментом для измельчения в шаровой мельнице являются металлические шары, располагаемые внутри барабана. При скоростном вращении вокруг собственной оси металлические шары обеспечивают дополнительное измельчение используемого сырья. Материал дополнительно истирается между шарами, что позволяет повысить интенсивность помола и на выходе получить равномерно смолотый порошок.

Но для крупномасштабного производства требуется перерабатывать до 100 тонн сырья в час. Поэтому барабаны должны быть большой длинны и диаметра, а их вес достигать нескольких сотен тонн. Мощный электропривод, который приводит механизм в действие, потребляет фантастическое количество энергии. Несмотря на большой расход электричества, на шаровых мельницах не удаётся получить нанопорошок с качествами, достаточными для производства инновационных материалов.

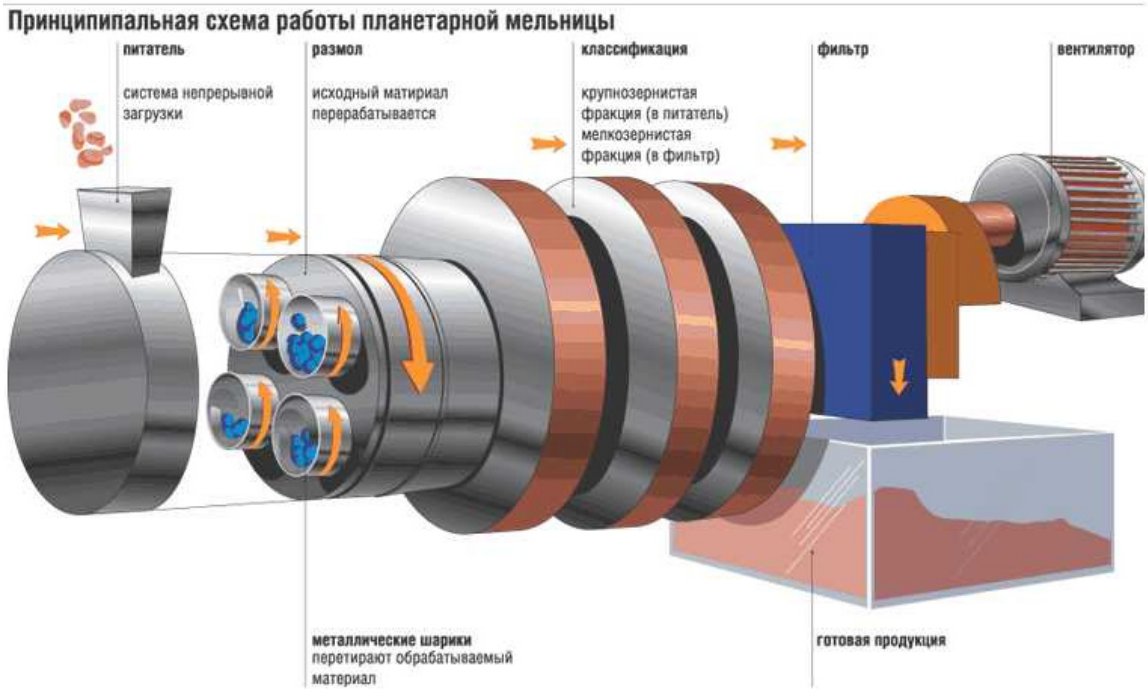


Рис.1 Принципиальная схема работы планетарной мельницы

2. Планетарная мельница

Планетарные мельницы нового поколения – это устройства механической обработки материала с последующим его превращением в ультрадисперсный (нано) порошок, размеры частиц которого достигают наномасштаба. В составе устройства 3 или 4 барабана с особенным процессом вращения. Они вращаются относительно центральной оси и вокруг собственной оси в противоположную сторону вращения основного барабана. Наглядно это показано на рис. 1. На нем представлена принципиальная схема работы планетарной мельницы. Эффективность помола определяется скоростью вращения барабанов вокруг центральной оси, а так же соотношением скоростей вращения вокруг собственной и центральной оси.

Скорость вращения барабанов вокруг центральной оси определяет ускорение центробежного поля, которое может в десятки, даже сотри раз превосходить ускорения гравитационного поля. Характер воздействия мелющих тел на материал, истирающий, ударный и смешанный, позволяет регулировать второй параметр. Данная особенность планетарных мельниц дает высокую эффективность при измельчении любых по твёрдости материалов.

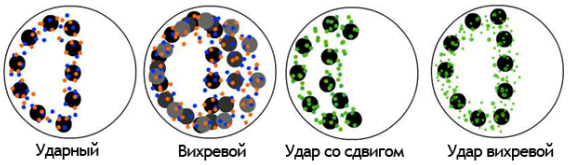
Технология планетарных мельниц позволяет осуществить процесс измельчения за 10-30 минут, на что традиционное оборудование тратит десятки часов. Сегодня уже производят планетарные мельницы промышленного типа (периодического и непрерывного действия) которые используют ускорение 20-25G, а лабораторные установки способны достигать 30-110G, что позволяет добиться производительности от 3 кг/ч до 5 т/ч.

В процессе переработки материала с использованием описанной технологии достигается желаемый размер частиц и эффект механической активации. Обработка материалов в планетарных мельницах позволяет не только получать наноразмерный порошок, но и осуществлять процессы механического сплавления (механического легирования). Для получения уникальных свойств будущих материалов, созданных с применением наночастиц надо определить оптимальный баланс между эффектами механической активации и эффектами, связанными с размером частиц.

Исходный материал претерпевает многократное физическое взаимодействие с мелющими телами и стенкой барабана. Это приводит к тому, что изменяются физико-химические свойства производимых порошков. Технология позволяет получить механически активированные частицы, которые обладают повышенной реакционной способностью и намного легче вступают в различные химические реакции, чем произведенные другими методами.

3. Пример работы режимов помола

Задавая различное соотношение скоростей вращения барабанов вокруг собственной оси и относительно центральной оси, мы получим различные типы воздействия: “ударный режим”, который используется для процесса измельчения, “вихревой режим”, очень эффективный способ для смешения реагентов, и “ударно-сдвиговой” для реализации химической реакции.



Для перехода одной стадии обработки в другую надо изменять соотношение скоростей вращения барабанов относительно собственных осей и относительно центральной оси. Этот процесс автоматизирован и контролируется компьютером. На иллюстрации можно наблюдать различные стадии процесса обработки материала.

Можно задать различные параметры движения основного вращающего механизма и непосредственно самих барабанов, которые вращаются в противоположную сторону, что помогает устранить мёртвые зоны (сегменты непромола).

Еще одна особенность планетарных мельниц – для их эксплуатации и производства не требуется сверхпрочных материалов и огромных заводов.

Список литературы

1. Журнал "Российские нанотехнологии" (том 4, № 1)
2. http://www.nanorf.ru/

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ

Иванова А.В., Иванов Д.В., Микушев Н.Н.

Научный руководитель: Кирпичёв В.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

Известно, что основную роль в повышении сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами играют сжимающие остаточные напряжения [1]. В работе [2] для оценки приращения предела выносливости упрочнённых деталей с концентраторами по остаточным напряжениям был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ в виде

$$\overline{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi}\int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}}d\xi\,, \qquad (1)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором по толщине поверхностного слоя a; $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости при изгибе в случае симметричного цикла $\Delta\sigma_{-1}$ упрочнённой детали с помощью критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ можно определить по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{-1} = \overline{\psi}_\sigma \cdot \left|\overline{\sigma}_{ост}\right|, \qquad (2)$$

где $\overline{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости.

Для проверки возможности применения критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ в случае поверхностного упрочнения деталей из алюминиевых сплавов были проведены эксперименты на образцах с надрезами из материалов В95 и Д16Т.

Гладкие образцы диаметром 15 мм с отверстием 5 мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО) дробью диаметром 1,5-2 мм при давлении воздуха 0,25 МПа в течение 10 минут. Затем на упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов $R = 0{,}3$ мм и $R = 0{,}5$ мм. Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок [3], а в образцах с надрезом – суммированием дополнительных напряжений, возникающих при нанесении надрезов на упрочнённую поверхность, и остаточных напряжений гладких образцов [4]. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a в гладких и надрезанных образцах представлено на рис. 1.

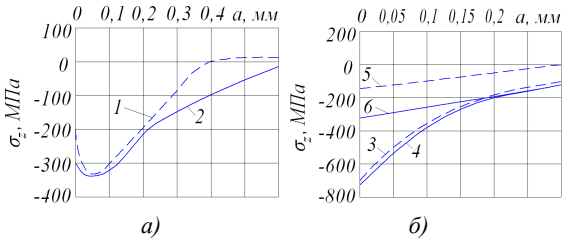


Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в упрочнённых ПДО гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из сплавов В95 (1, 3, 5) и Д16Т (2, 4, 6): 3, 4 – R = 0,3 мм; 5, 6 – R = 0,5 мм

Испытания образцов с надрезами на усталость при чистом изгибе с вращением в случае симметричного цикла проводились на машинах МУИ-6000, база испытаний – 10^7 циклов нагружения. Упрочнённые образцы, выстоявшие базу испытаний при напряжении, равном пределу выносливости, были доведены затем до разрушения при бóльшем напряжении. Во всех упрочнённых образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, средняя глубина $t_{кр}$ которых составляла 0,31 мм. Результаты определения предела выносливости σ_{-1}, расчёта $\overline{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ по формулам (1) и (2) представлены в табл. 1.

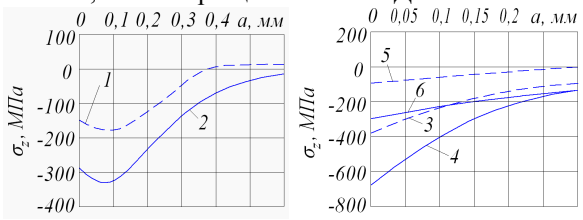
Далее были проведены эксперименты на таких же упрочнённых ПДО и неупрочнённых образцах из сплавов В95 и Д16Т после термоэкспозиции при температуре T = 125°С в течение 100 часов.

Таблица 1

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений в образцах после ПДО

Материал	Радиус надреза R, мм	Неупрочнённые образцы σ_{-1}, МПа	Упрочнённые образцы		
			σ_{-1}, МПа	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	$\overline{\psi}_{\sigma}$
В95	0,3	105	200	–249	0,382
	0,5	107,5	132,5	–72,2	0,347
Д16Т	0,3	82,5	182,5	–261	0,383
	0,5	82,5	157,5	–197	0,381

После термоэкспозиции на гладкие образцы наносились надрезы полукруглого профиля двух радиусов $R = 0{,}3$ мм и $R = 0{,}5$ мм. Эпюры осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a в гладких и надрезанных образцах представлены на рис. 2. Из приведённого на рис. 2 распределения остаточных напряжений видно, что после термоэкспозиции в образцах из сплава В95 сжимающие остаточные напряжения значительно меньше, чем в образцах из сплава Д16Т.



а) *б)*

Рис. 2. Осевые остаточные напряжения σ_z после термоэкспозиции в гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из сплавов В95 (1, 3, 5) и Д16Т (2, 4, 6): 3, 4 – $R = 0{,}3$ мм; 5, 6 – $R = 0{,}5$ мм

Испытания на усталость образцов с надрезом при чистом изгибе в случае симметричного цикла также проводились при $T = 20$°С на машинах МУИ-6000, база испытаний – 10^7 циклов нагружения. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений представлены в табл. 2.

Из приведённых в табл. 1 и 2 данных можно видеть, что для образцов с надрезом из алюминиевых сплавов В95 и Д16Т как после ПДО, так и после термоэкспозиции коэффициент влияния остаточных напряжений $\overline{\psi}_{\sigma}$ на предел выносливости по критерию $\overline{\sigma}_{ост}$ составляет в среднем 0,37 и близок к значению $\overline{\psi}_{\sigma} = 0{,}36$, установленному в [5] для упрочнённых образцов и деталей из сталей и сплавов на основе никеля с такой же степенью концентрации напряжений.

Таблица 2

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений в образцах после ПДО и термоэкспозиции

Материал	Радиус надреза, R, мм	Неупрочнённые образцы σ_{-1}, МПа	Упрочнённые образцы		
			σ_{-1}, МПа	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	$\overline{\psi}_{\sigma}$
В95	0,3	105	155	–141	0,355
	0,5	107,5	115	–21,3	0,352
Д16Т	0,3	82,5	175	–250	0,370
	0,5	82,5	150	–171	0,395

Таким образом, проведённое исследование показывает, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ можно применять для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов и деталей с концентраторами, изготовленными из алюминиевых сплавов В95 и Д16Т.

Список литературы

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность // Проблемы прочности. – 1976. – №5. – С. 25-27.
2. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
3. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.53. – С. 32-42.
4. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.
5. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

УЧЁТ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Иванова А.В., Колычев С.А., Смирнова Ю.Д.

Научный руководитель: Павлов В.Ф., д.т.н., профессор

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (Национальный исследовательский университет), 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

Изучалось влияние сжимающих остаточных напряжений на предел выносливости цилиндрических образцов различного диаметра из сплава Д16Т ($\sigma_в$ = 547 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 426 МПа, δ = 14,8%, ψ = 16,5%, S_k =647 МПа). Все образцы были изготовлены из прутков одной плавки диаметром 50 мм. Половина гладких образцов подвергалась гидродробеструйной обработке (ГДО) стальной дробью диаметром 2 мм при давлении масла 0,19 МПа в течение 8 мин. На неупрочнённые и упрочнённые гидродробеструйной обработкой образцы диаметром D_1 = 10, 15, 25, 40 мм наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиуса R = 0,3 мм (рис. 1).

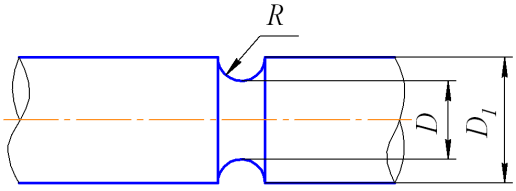


Рис. 1. Цилиндрический образец с надрезом радиуса R

Осевые остаточные напряжения σ_z по толщине поверхностного слоя a в гладких образцах определялись методом колец и полосок [1]. Остаточные напряжения в надрезанных образцах определялись по методике работы [2] суммированием дополнительных напряжений, вызванных перераспределением остаточных усилий гладкого образца при нанесении надреза, и исходных остаточных напряжений. Распределение остаточных напряжений в гладких образцах и в образцах с надрезом представлено на рис. 2. Из приведённых на рис. 2 данных видно, что с увеличением диаметра при упрочнении на одних и тех же режимах гидродробеструйной обработки в гладких образцах наблюдается повышение максимальной величины сжимающих остаточных напряжений и толщины поверхностного слоя с этими напряжениями. В результате при увеличении диаметра в образцах с надрезом повышается величина сжимающих остаточных напряжений в наименьшем сечении.

Испытания образцов диаметром 10 мм и 15 мм на усталость при чистом изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине МУИ-6000; диаметром 25 мм и 40 мм – при поперечном изгибе на машине УММ-01 [3]. База испытаний – $10 \cdot 10^6$ циклов нагружения. По результатам испытаний на усталость определялись значения предела выносливости σ_{-1} неупрочнённых и упрочнённых образцов, которые представлены в табл. 1.

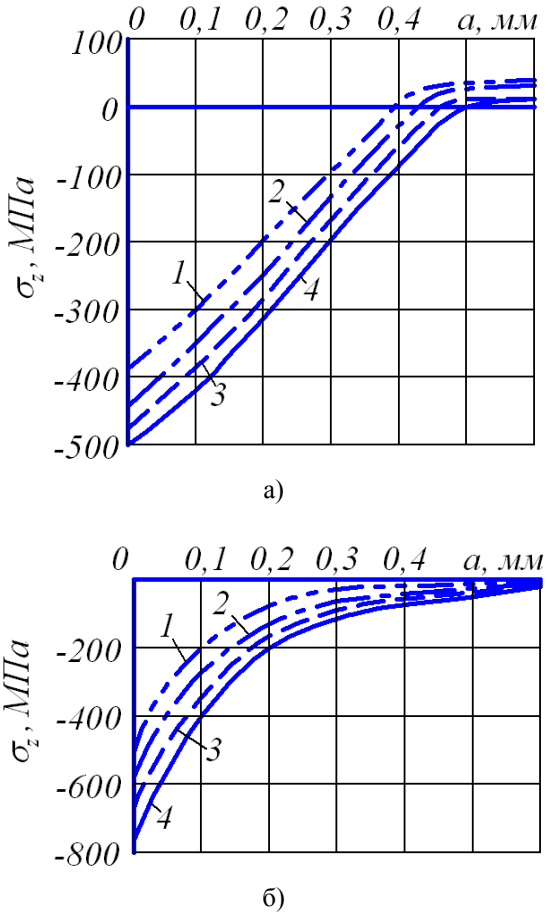


Рис. 2. Остаточные напряжения в гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из сплава Д16Т после ГДО: 1 – D_1 = 10 мм; 2 – D_1 = 15 мм; 3 – D_1 = 25 мм; 4 – D_1 = 40 мм

Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов при изгибе проводилась по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ [4, 5]

$$\overline{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi , \qquad (1)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении образца; $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от дна надреза до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе образца (детали) на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ упрочнённых образцов вычислялось по формуле

$$\Delta\sigma_{-1} = \overline{\psi}_\sigma \left|\overline{\sigma}_{ост}\right|, \qquad (2)$$

где $\overline{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению.

Таблица 1

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Диаметр образца D_1, мм	Неупрочнённые образцы σ_{-1}, МПа	Упрочнённые образцы			
		σ_{-1}, МПа	$t_{кр}$, мм	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	$\overline{\psi}_\sigma$
10	102,5	172,5	0,209	-191	0,367
15	85	142,5	0,305	-170	0,338
25	62,5	107,5	0,535	-127	0,354
40	57,5	87,5	0,860	-85	0,352

Выстоявшие базу испытаний упрочнённые образцы при напряжении, равном пределу выносливости, были доведены до разрушения при статическом нагружении в случае растяжения или при циклическом нагружении под действием напряжений, бóльших предела выносливости. Во всех упрочнённых образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, измеренная глубина $t_{кр}$ которых приведена в табл. 1.

Результаты измерения показывают, что критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$ зависит от диаметра D наименьшего сечения образца и удовлетворяет установленному в работе [6] соотношению

$$t_{кр} = 0{,}0216D . \qquad (3)$$

По толщине поверхностного слоя наименьшего поперечного сечения упрочнённых дробью образцов, равной глубине $t_{кр}$, по формуле (1) были вычислены среднеинтегральные остаточные напряжения $\overline{\sigma}_{ост}$. Затем по формуле (2) были определены величины коэффициента влияния остаточных напряжений $\overline{\psi}_\sigma$ на предел выносливости по критерию $\overline{\sigma}_{ост}$. Значения $\overline{\sigma}_{ост}$ и $\overline{\psi}_\sigma$ представлены в табл. 1.

Анализ приведённых в табл. 1 данных показывает, что среднее значение коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ составляет 0,35 и близко к значению $\overline{\psi}_\sigma = 0{,}36$, установленному в [7] для образцов и деталей с такой же степенью концентрации напряжений. Следовательно, для прогнозирования приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов (деталей) с концентраторами диаметром D из сплава Д16Т представляется возможным воспользоваться зависимостью (2), в которой критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ вычисляется по формуле (1) по толщине поверхностного слоя опасного сечения образца (детали), равной $t_{кр}$ и определяемой зависимостью (3).

Список литературы

1. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.
2. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып. 1. – С. 88-96.
3. Филатов Э.Я., Павловский В.Э. Универсальный комплекс машин для испытания материалов и конструкций на усталость. – Киев: Наукова Думка, 1985. – 92 с.
4. Павлов В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
5. Павлов В.Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 3-6.
6. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
7. Павлов В. Ф., Кирпичёв В. А., Иванов В. Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ

Кабакова А.В.

Научный руководитель: Иванников В.П., д.т.н., профессор

Ижевский государственный технический университет, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7
E-mail: sunanniv@mail.ru

Возможность применения ЭВМ и создание средств автоматизированного проектирования (САПР) изделий на основе соединений с натягом (СсН) требует разработки такого подхода к оценке нагрузочной способности (НС), который объединял бы в себе и возможность оптимизации расчетов при проектировании СсН, и возможность экспериментального контроля результатов проектирования, как при создании соединений, так и в процессе эксплуатации. Создание такой системы автоматизированного проектирования требует научно обоснованного выбора и учета всех факторов, определяющих основные параметры СсН, параметры процесса сборки, зависящие от размеров, вида соединений, технологии сборки и оборудования, которые могут влиять на НС соединения. Разработку комплексной САПР СсН целесообразно начинать с создания подсистем CAE/CAD, то есть с решения задач компьютиризованого конструкторско-технологического проектирования.

Нагрузочная способность СсН зависит, главным образом, от взаимодействия составных частей и условий сборки. Поэтому, решение задачи конструкторско-технологического проектирования СсН следует начинать с разработки обобщенной геометрической модели соединения, соответствующей ему математической модели (ММ) и методики преобразования обобщенной геометрической и математической модели для получения того, или иного частного решения. Результатом решения на основе разработанной обобщенной модели соединения и соответствующей ему ММ будет оптимизация технологических условий сборки-разборки на основе научно обоснованного выбора факторов и параметров, зависящих от размеров соединений и технологии сборки, а также возможность исследования новых перспективных конструктивных решений СсН.

Моделирование и учет влияния напряженно-деформированного состояния на эксплуатационную прочность СсН для всего многообразия параметров и условий сборки базируется на возможности получения точного аналитического решения многосвязной контактной упругой и упругопластических задач [1]. Математической моделью СсН является система дифференциальных уравнений, описывающая процессы, происходящие в объекте с заданием начальных и краевых условий. Как уже упоминалось, эта система уравнений известна под названием уравнений Ламе в механике сплошных сред [2].

Указанная математическая модель позволяет установить точную связь нагрузочной способности СсН с другими конструкторско-технологическими параметрами в виде:

$$НС[A, T, M_и, M_{кр}] = f_{A,\,T,\,M_и,\,M_{кр}}(\Delta, p_к, d'/d_2, \frac{l}{d'}, f_{тр}),$$

где: $M_{кр}$ – крутящий момент сил, приведенный к единице поверхности; А-осевая сила; Т – комбинированная сила (одновременное действие осевой силы и крутящего момента); $M_и$ – изгибающий момент; Δ – натяг в соединении; $p_к$ – контактное давление в сопряжении; d’ – диаметр посадки; d_2 – внешний диаметр охватывающей детали; l – длина сопряжения; $f_{тр}$ – коэффициент трения, с поправкой на шероховатость поверхности и реологические свойства смазки.

Нагрузочную способность цилиндрических и конических соединений с натягом обычно оценивают по формулам:

- при нагружении осевой силой НС:

$$A = \pi d' l p_K f ;$$

- при нагружении крутящим моментом:

$$M_{Kp} = \frac{1}{2}\pi d'^2 l p_K f ;$$

- при нагружении изгибающим моментом:

$$M_И = 0{,}2 p_K d' l^2 ;$$

- при одновременном нагружении осевой силой и крутящим моментом:

$$T \le \sqrt{\left(\frac{2M_{Kp}}{d}\right)^2 + A^2} ,$$

где d' и l – диаметр и длина посадки; f – коэффициент трения; p_K – контактное давление на сопряженных поверхностях.

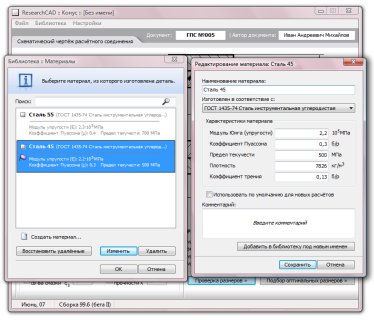
Таким образом, обобщенная формула расчета несущей способности соединения с натягом будет иметь следующий вид:

$$HC = \pi 2^{x} 10^{y} p_K d^m l^n f^p, \qquad (1)$$

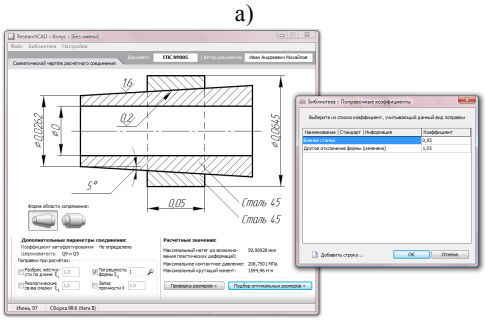
где m, n или p могут принимать значения 0, 1, 2; x=1, –1 и y=-1, 0 .

Разработка базовой программы расчета ССН в виде программной оболочки в среде Delphi на основе (1) обеспечивает получение точного аналитического решения и, в то же время, при необходимости, предусматривает возможности применения численного моделировании на основе метода конечных элементов (МКЭ) на отдельных этапах расчета посредством подключения дополнительных программных модулей для уточнения отдельных параметров, коэффициентов и поправок, а также введения, и использования данных эксперимента.

Безусловно, решение задачи проектирования ССН, как и любой иной задачи, следует начинать с разработки алгоритма. Успешная разработка алгоритма позволяет перейти к процессу создания программной оболочки проектирования ССН в среде Delphi. Разработанная программа состоит из ряда окон. В главном окне (рис.1, а) задаются габаритные параметры соединения с натягом: внешний диаметр охватывающей детали, внешний диаметр охватываемой детали (вала), внутренний диаметр охватываемой детали (вала), длина прессового соединения. Здесь же вызывается окно библиотеки, в котором выбираются материалы для деталей, и окна библиотек поправочных коэффициентов (см. рис. 1, б).



а)



б)

Рис. 1. Окна программы: а) – главное окно, окно библиотеки и окно редактирования материала; б) – главное окно и окно библиотеки поправок

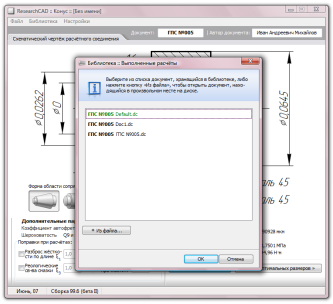
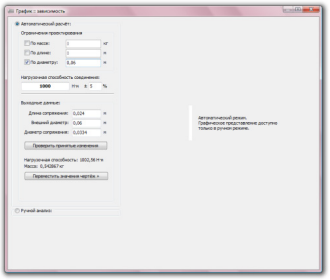
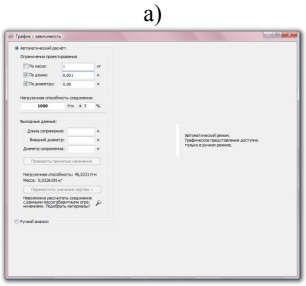


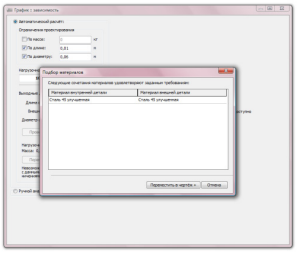
Рис. 2. Окно библиотеки выполненных расчётов



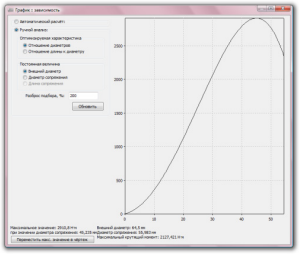
а)



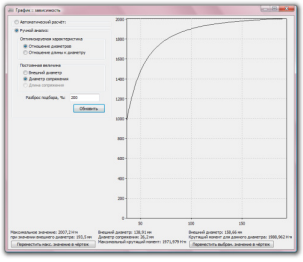
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Окна программы: а, б, в, г, д – окна оптимизации расчётов

На рис. 1, б показано главное окно с чертежом и окно библиотеки поправочных коэффициентов.

На рис. 2 изображено диалоговое окно выбора выполненных расчётов, а на рис. 3, а ... д, показаны окна оптимизации ручного и автоматического расчётов.

Удобством программы в целом, является возможность построения нескольких графиков зависимости для различных первоначальных параметров, что существенно облегчает анализ полученных данных.

Список литературы

1. Абрамов И.В. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И.В. Абрамов, Ф.Ф. Фаттиев, А.В. Щенятский и др. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002.– 300 с.
2. Гречищев И.С. Соединения с натягом. Расчет, проектирование, изготовление / И.С. Гречищев, А.А. Ильяшенко. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Каранаева О.В., Семёнов А.А., Филатов Н.Д.

Научный руководитель: Павлов В.Ф., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: sopromat@ssau.ru

Анализ отказов домашних холодильников показывает, что одной из основных причин их выхода из строя является нарушение герметичности агрегата в связи с разрушением ниппельных и сварных соединений трубопроводов.

Результаты испытаний на усталость показали, что предел выносливости соединения в 2-4 раза ниже, чем гладкой трубки. Усталостные разрушения происходили по стальной трубке (материал Х18Н10Т) в месте сварки. Если учесть, что испытания проводились без нагружения трубок рабочим газом, то разгерметизация трубопровода произойдёт несколько раньше. Внедрение конструктивных мероприятий в систему компрессор-радиатор-испаритель для увеличения сопротивления усталости затруднено и не всегда приводит к желаемым результатам, поэтому наиболее приемлемым является внедрение технологических мероприятий.

Прочность соединений трубопроводов можно существенно повысить за счёт упрочняющей технологии. Влияние технологии упрочнения проявляется через ряд параметров качества поверхностного слоя, среди которых остаточные напряжения играют первостепенную роль, особенно в условиях концентрации напряжений [1, 2].

Кроме положительного влияния на сопротивление усталости, сжимающие остаточные напряжения повышают сопротивление коррозии и износу, что позволяет рассматривать эти напряжения в виде обобщающего параметра качества поверхностного слоя трубопроводов.

Согласно теории влияния остаточных напряжений на сопротивление усталости в условиях концентрации [3, 4] наибольший эффект от поверхностного упрочнения наблюдается в том случае, когда критерий среднеинтегральных остаточных напряжений

$$\overline{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi \qquad (1)$$

достигает максимума по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$. В формуле (1) $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения по толщине поверхностного слоя a, $\xi = a/t_{кр}$ – относительное расстояние от поверхности детали до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$.

Для детали с кольцевым поперечным сечением критическую глубину нераспростроняющейся трещины усталости можно определить по формуле, полученной на основании обработки большого числа экспериментальных данных [5, 6],

$$t_{кр} = 0{,}0216D\left[1 - 0{,}04(d/D)^2 - 0{,}54(d/D)^3\right], \quad (2)$$

где D – наружный диаметр детали, d – диаметр отверстия.

В настоящем исследовании использовались трубки из стали Х18Н10Т с $D = 4{,}7$ мм и $d = 3{,}3$ мм, для которых $t_{кр}$ по зависимости (2) составляет $\approx 0{,}09$ мм. Следовательно, распределение остаточных напряжений после поверхностного упрочнения должно быть таковым, чтобы критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$, определяемый по формуле (1), был наибольшим по толщине поверхностного слоя, равной 0,08 мм. Такую толщину слоя с наибольшими сжимающими напряжениями для трубок указанных размеров можно получить обработкой

дробью диаметром 0,5 – 1 мм при давлении воздуха P = 0,03-0,2 МПа или обработкой микрошариками диаметром до 0,015 мм на роторной установке при частоте вращения ротора 3600 об/мин.

Упрочнение трубок проводилось на пневмодробеструйной установке при давлении воздуха P = 0,1 МПа дробью диаметром 0,8 мм в течение 3, 5 и 10 мин. В упрочнённых на этих режимах трубках методом удаления слоёв материала с половины поверхности цилиндрической детали определялись осевые остаточные напряжения σ_z, распределение которых по толщине поверхностного слоя a представлено на рис. 1.

Из приведённого распределения остаточных напряжений видно, что с увеличением времени обработки уровень и глубина залегания сжимающих остаточных напряжений увеличивается, но после обработки свыше 5 мин увеличение незначительное, а к поверхности трубки наблюдается спад. Наибольшая величина критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ (табл. 1) по толщине слоя a = 0,09 мм наблюдается при $5 < \tau < 10$ мин, поэтому оптимальная продолжительность упрочнения составляет примерно τ = 7 мин.

Исследования по изучению влияния давления воздуха проводились на таких же трубках при P = 0,03; 0,06; 0,09; 0,12 МПа. Эпюры остаточных напряжений приведены на рис. 2. Из приведённых эпюр видно, что с увеличением давления уровень и глубина залегания сжимающих остаточных напряжений возрастает. Однако при давлении воздуха выше P = 0,09 МПа происходит падение остаточных напряжений к поверхности и, как следствие, уменьшение критерия остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$. Поэтому оптимальное упрочнение трубок дробью диаметром 0,8 мм наблюдается при давлении воздуха P = 0,09 – 0,1 МПа и времени τ =5 – 7 мин.

Таблица 1

Режимы упрочнения трубок

Режимы упрочнения		$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа
P, МПа	τ, мин	
0,1	3	-511
0,1	5	-720
0,1	10	-715
0,03	7	-330
0,06	7	-586
0,09	7	-725
0,12	7	-704

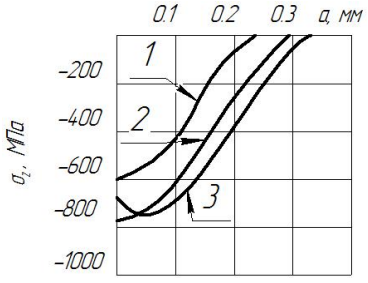


Рис. 1 Остаточные напряжения в трубках из стали Х18Н10Т после упрочнения дробью диаметром 0,8 мм при Р=0,1 МПа и времени τ : 1 – 3 мин, 2 – 5 мин, 3 – 10 мин

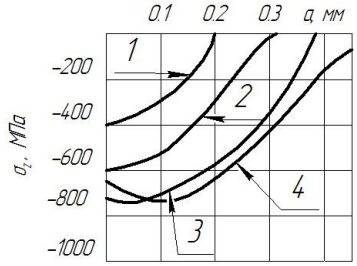


Рис. 2 Остаточные напряжения в трубках из стали Х18Н10Т после упрочнения дробью диаметром 0,8 мм при τ = 7 мин и давлении Р: 1 – 0,03 МПа; 2 – 0,06 МПа; 3 – 0,09 МПа; 4 – 0,12 МПа

Испытания на усталость по определению предела выносливости σ_{-1} упрочнённых (P = 0,09 МПа, τ =7 мин) и неупрочнённых трубок с ниппельно-сварным соединением проводились при симметричном цикле в случае изгиба в одной плоскости методом ступенчатого изменения нагрузки (метод «вверх-вниз»). База испытаний $-3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Предел выносливости неупрочнённого соединения σ_{-1} = 120 МПа весьма низок (предел выносливости материала Х18Н10Т σ_{-1} = 340 МПа), то есть ниппельное и сварное соединения являются очень резкими концентраторами напряжений. Предел выносливости упрочнённого соединения увеличился на 25,4%, составив 150,5 МПа. После упрочнения дробью за счёт благоприятного распределения сжимающих остаточных напряжений долговечность соединения на всех уровнях нагружения возросла в 2-8 раз.

Таким образом, для устранения одной из вероятных причин разгерметизации трубопроводов холодильных машин – усталостных разрушений соединений вследствие большой концентрации напряжений – следует рекомендовать упрочнение соединений методами поверхностного пластического деформирования. Для изыскания оптимального режима упрочнения с целью уменьшения длительных и дорогостоящих испытаний на усталость можно использовать $\overline{\sigma}_{ост}$ – критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

Список литературы

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Машиностроение, 1963. – 232 с.
2. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность // Проблемы прочности. – 1976. – №5. – С. 25-27.
3. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
4. Павлов В. Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 3-6.
5. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №12. – С. 37-40.
6. Павлов В. Ф., Кирпичёв В. А., Иванов В. Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК

Каранаева О.В., Денискина Е.А., Сургутанов Н.А.

Научный руководитель: Павлов В.Ф., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

Тонкий поверхностный слой детали имеет аномально низкие механические характеристики по сравнению с макроскопическими, определяемыми при обычных испытаниях стандартных образцов на растяжение или сжатие [1, 2]. Экспериментальными исследованиями установлено, что предел текучести поверхностного слоя существенно (до 2,5 раз) ниже, чем предел текучести основного материала. В зависимости от степени пластичности материала предел текучести на растяжение ослабленного поверхностного слоя в 1,1–2,4 раза ниже, чем предел текучести на сжатие [2]. В связи с этим, под действием переменных напряжений, близких к пределу выносливости и изменяющихся по симметричному циклу, в тонком поверхностном слое детали, предварительно свободной от остаточных напряжений, возникают сжимающие остаточные напряжения. Исследования, проведённые авторами работы [2], показали, что эти напряжения могут служить основой для прогнозирования предела выносливости предварительно свободных от остаточных напряжений гладких деталей и деталей с концентраторами.

Для прогнозирования предела выносливости деталей в исследовании [2] использовался критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ [3, 4], вычисляемый по толщине y поверхностного слоя опасного сечения детали, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости (рис. 1).

В качестве примера на рис. 2 приведено распределение осевых остаточных напряжений σ_z по толщине поверхностного слоя y в наименьшем сечении образцов из стали 45 диаметром 5 мм с V-образными надрезами, для которых теоретический коэффициент концентрации напряжений составляет α_σ = 2,12. Образцы подвергались воздействию переменных напряжений при чистом изгибе с вращением в случае симметричного цикла при различном значении коэффициента перегрузки k_V, определяемого по формуле

$$k_V = \frac{\sigma_V}{\sigma_{-1}},$$

где σ_V – наибольшее напряжение, действующее в образцах при данном коэффициенте перегрузки k_V, σ_{-1} – предел выносливости образцов (k_V = 1).

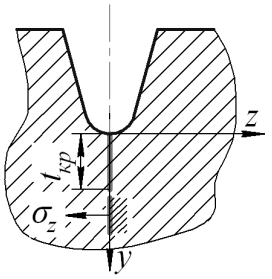


Рис. 1. Нераспространяющаяся трещина усталости в опасном сечении детали

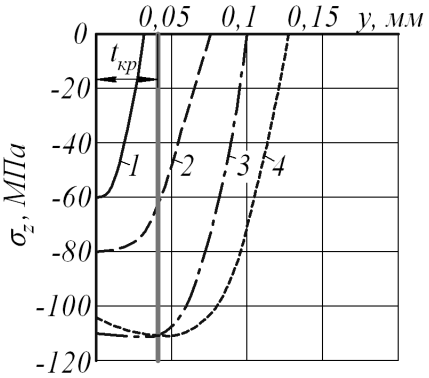


Рис. 2. Осевые остаточные напряжения σ_z в образцах, изготовленных из стали 45, с надрезом α_σ = 2,12 при: 1 – k_V = 0,7; 2 – k_V = 0,85; 3 – k_V = 1,0; 4 – k_V = 1,6

Из данных, приведённых на рис. 2, видно, что под действием переменных напряжений в поверхностном слое наименьшего сечения образцов формируются сжимающие остаточные напряжения. С повышением коэффициента k_V от 0,7 до 1,0 остаточные напряжения увеличиваются, причём увеличивается и полнота их распределения по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости. При k_V = 1 полнота наведённых по глубине $t_{кр}$ сжимающих остаточных напряжений наибольшая, а при k_V > 1 она уменьшается.

В работах [2, 5] было показано, что как для гладких деталей, так и для деталей с концентраторами напряжений наблюдается максимальное зна-

чение критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ в случае, когда при симметричном цикле коэффициент перегрузки k_V равен 1,0.

Установлено, что эта закономерность справедлива независимо от вида простой деформации, степени концентрации напряжений, пластичности материала и указывает на момент достижения амплитудой внешней нагрузки своего экстремального значения, соответствующего пределу выносливости образца или детали. Следовательно, максимальная величина критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$, учитывающая механические характеристики ослабленного поверхностного слоя, степень концентрации напряжений, вид простой деформации, может служить обобщающим интегральным параметром, определяющим величину предела выносливости детали при симметричном цикле.

Используя выявленную закономерность, были проведены расчёты по методике работ [2, 5], позволившие получить прогнозируемые значения пределов выносливости образцов с надрезами V–образного профиля при различных значениях теоретического коэффициента концентрации напряжений α_σ. Результаты расчёта предела выносливости σ_{-1} при чистом изгибе с вращением приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения предела выносливости σ_{-1} (МПа) образцов с V–образными надрезами при чистом изгибе с вращением: а – эксперимент, б – расчёт

Материал		Вариант надреза			
		1	2	3	4
		α_σ			
		1	1,84	2,12	3,36
сталь 45	а	328	206	176	131
	б	332	209	178	133
12Х18Н10Т	а	247	157	136	99
	б	245	161	139	101
30ХГСА	а	368	221	188	131
	б	370	228	194	135
13Х11Н2В2МФ	а	557	–	–	–
	б	565	333	285	197
38Х2МЮА	а	508	290	246	169
	б	508	293	248	171
ЭИ698ВД	а	441	–	–	–
	б	448	251	213	145
сталь 40Х	а	332	–	174	–
	б	336	210	178	121

Испытания образцов на усталость при чистом изгибе с вращением были проведены на машине МУИ–6000. База испытаний – $10 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты экспериментального определения пределов выносливости образцов приведены в табл. 1. Из приведённых в табл. 1 данных видно, что экспериментальные значения пределов выносливости отличаются от расчётных не более чем на 5%, что является приемлемым для большинства практических случаев. Аналогичные результаты были получены при растяжении-сжатии.

На основании проведённого исследования была разработана методика прогнозирования предела выносливости деталей, предварительно свободных от остаточных напряжений. Предлагаемая методика прогнозирования предела выносливости деталей, предварительно свободных от остаточных напряжений, основана на достаточно точной и достоверной модели формирования остаточного напряжённо-деформированного состояния ослабленного поверхностного слоя. Эту методику можно отнести к эффективным, существенно сокращающим проведение долговременных и дорогостоящих испытаний на усталость, методам ускоренного определения предела выносливости.

Список литературы

1. Прокопенко А.В., Торгов В.Н. Поверхностные свойства и предел выносливости металла. Сообщение 1. Зависимость предела текучести от глубины слоя // Проблемы прочности. – 1986. – № 4. – С. 28-34.
2. Бордаков С.А., Сургутанова Ю.Н. Формирование остаточных напряжений в поверхностном слое неупрочнённых деталей под действием циклических нагрузок. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2010. – 127 с.
3. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №.8. – С. 29-32.
4. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.
5. Бордаков С.А. Математическая модель формирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей. – Самара: СГАУ, 1999. – 15 с. – Деп. в ВИНИТИ 17.12.99, №3770-В99.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Корчуганов М.А., Сырбаков А.П.

Научный руководитель: Сырбаков А.П., к.т.н., доцент

Юргинский Технологический институт Томского политехнического университета,
652050, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: kma77@list.ru

К основным задачам развития агропромышленного комплекса наряду с техническим перевооружением относятся поддержание в работоспособном состоянии машинно-тракторного парка и его эффективное использование. Только при соблюдении этих условий можно добиться высокого качества выполнения сельскохозяйственных работ.

Применение многих машин в хозяйствах круглый год обусловлено непрерывностью производственного процесса некоторых сельскохозяйственных работ. К ним следует отнести работы по доставке кормов на животноводческие фермы, по вывозу органических удобрений, снегозадержанию, по перевозке животноводческой продукции и других сельскохозяйственных грузов. Объем работ, выполняемых в зимнее время, достигает до 40% годового [1].

Известно, что эксплуатация тракторной техники зимой значительно сложнее, чем летом, обуславливается суровыми климатическими условиями. В некоторых районах страны (Сибири и Дальнего Востока) морозный период длится от 3 до 9 месяцев, при средних январских температурах –25…-35°С, а минимальные температуры достигают –50…-60°С.

Из-за несовершенства техники, системы планирования, сроков и объемов выполнения работ, качества подготовки техников и механизаторов, а также способов межсменного хранения и технического обслуживания машин хозяйства несут большие потери. По предварительным подсчетам общее количество проводимых капитальных ремонтов за счет использования техники в зимних условиях возрастает на 20-25%. Удорожание стоимости ремонта одного трактора проработавшего в зимний период увеличивается на 15-20% [1]. Несмотря на кажущиеся сложности использования техники в зимний период объем работ из года в год возрастает, увеличивается и номенклатура работ.

Одним из наиболее важных агрегатов влияющим на работоспособность и экономичность современных тракторов является топливоподающая система. При понижении температуры окружающей среды ниже –20 ... –25 ^{0}С, значительно увеличивается число отказов этой системы [3].

Это связано в первую очередь с отсутствием знаний у механизаторов по подготовке и эксплуатации техники зимой, применение некачественных горюче-смазочных материалов соответствующих климатическим условиям, а также несовершенство конструкции трактора, т.е не соответствие приспособленности машины к эксплуатации в заданных условиях.

Основной причиной отказов системы питания, в условиях отрицательных температур, являются снижение надежности подачи топлива, за счет уменьшения пропускной способности фильтров и питающих топливопроводов, вследствие выпадения из топлива твердой фракции в виде кристаллов льда и парафинов [3].

Схема топливоподачи у всех энергонасыщенных тракторов идентична и работает по схеме представленной на рисунке 1.

Из анализа схемы топливоподачи (рис. 1) можно сделать вывод, что отечественные автотракторные двигатели оснащены системой питания, тепловой режим которой не регулируется. Подогрев (разогрев) топлива в системе питания происходит путем теплопередачи от нагретых деталей двигателя и обдувом ряда узлов и деталей (топливный насос высокого и низкого давления, форсунки, фильтра тонкой и грубой очистки) теплым воздухом, прошедшим через охлаждающие радиаторы.

Поэтому надежность системы питания, в условиях отрицательных температур, во многом определяется надежностью ее составляющих частей (топливного бака, питающего топливопровода, фильтра грубой очистки). Именно в этих элементах системы питания происходит наибольшее количество отказов (прекращение подачи топлива) при отрицательных температурах.

Для повышения работоспособности системы питания тракторов при работе в суровых климатических условиях, существуют множество способов и приспособлений для повышения жидкотекучести топлива и улучшения его прокачиваемости через элементы системы питания [1], которые можно разделить на три направления: подогрев топлива с использованием электроподогревателей запитанных от бортовой сети трактора, применение топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами и

конструктивное исполнение топливоподающей системы.

Подогрев топлива в элементах системы топливопадачи с применением электроподогревателей (магистральные, бандажные и погружные) запитанных от бортовой сети трактора, на наш взгляд является одним из перспективных направлений в повышении эффективности прокачиваемости топлива через элементы топливопадачи. Но для применения данных устройств (мощность электроподогревателей 0,2 … 0,3 кВт), эффективность генераторной установки трактора иногда недостаточна, особенно при работе в темное время суток, когда задействованы основные потребители (приборы освещения и сигнализации, электропривод вентилятора отопителя и др.).

Добавление в топливо специальных присадок (депрессоры, антигели) позволяет снизить температуру замерзания топлива на 10 … 20 ^{0}C, что также является одним из эффективных способов в повышения надежности топливоподачи. Но применение депрессорных присадок приводит к увеличению стоимости топлива, и разбавление топлива специальными присадками необходимо выполнять при положительных температурах топлива или выше температуры помутнения топлива.

Конструктивное исполнение узлов топливоподающей системы в основном реализовано в моделях тракторов предназначенных для эксплуатации в северных районах (эффективное расположение элементов топливоподающей системы низкого давления вблизи нагреваемых областей моторной установки).

Нами предлагается, в качестве альтернативы рассмотренным способам, для повышения эффективности прокачиваемости топлива через линию низкого давления системы питания, обеспечить его разогрев, путем рационального использования теплоты излишков топлива от форсунок [2], топливного насоса высокого давления и фильтра тонкой очистки. Излишки подогретого топлива из линии низкого и высокого давления по топливопроводу направляются на вход питающего топливопровода и смешиваясь с основным топливом поступающим из топливного бака обеспечивает частичный разогрев. Такое конструктивное исполнение позволит также увеличить скорость потока топлива по питающему топливопроводу и тем самым снизить негативное воздействие окружающей среды на эффективность прокачиваемости топлива.

Переоборудование топливоподающей системы по предлагаемой схеме позволит повысить работоспособность системы питания дизельных двигателей в условиях низких температур и снизить простои машинно-тракторных агрегатов при эксплуатации в зимний период на 5-10%.

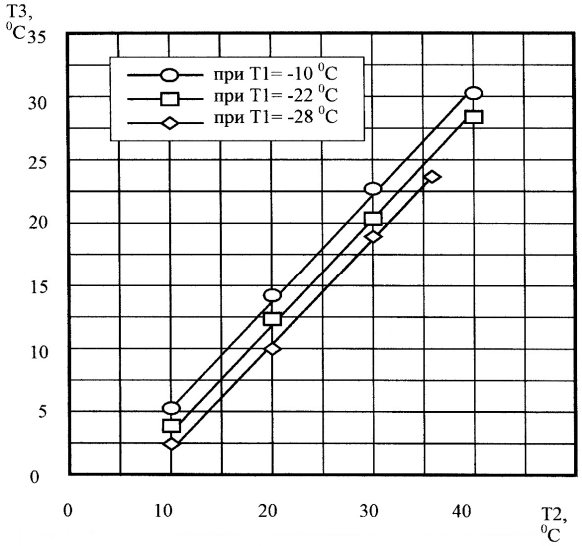


Рис. 4. Динамика разогрева дизельного топлива в питающем топливопроводе теплотой излишков перепускаемые из линии низкого и высокого давления системы питани

Эффективность разогрева дизельного топлива в питающем топливопроводе за счет использования теплоты перепускаемых излишков топлива из линии низкого и высокого давления подтверждено экспериментальными исследованиями (рис. 1).

Список литературы

1. Бережнов Н.Г. Оценка природных факторов и их воздействие на технику / Н.Г. Бережнов. – Кемерово, 1996. – 140 с.
2. Система питания дизельного двигателя. Свидетельство на полезную модель (РФ). – №2004102457 / Опубл. 29.01.2004 г. П.И Федюнин, Д.М. Воронин, Г.М. Крохта, Н.Г. Бережнов, А.П. Сырбаков.
3. Цуцоев В.И. Эксплуатация сельскохозяйственной техники зимой / В.И. Цуцоев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 127 с.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЁМКИ ЛОКАЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА

Грузин А.В., Грузин В.В., Кучеренко М.В.

Научный руководитель: Грузин А.В., к.т.н., доцент

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 11
E-mail:maxim_85_07@mail.ru

В настоящее время в строительной индустрии установилась тенденция увеличения нагрузок на грунты оснований с одновременным уменьшением материальных, энергетических и людских затрат на реализацию существующих строительных технологий. Современная практика строительной отрасли показывает, что применение технологий локального уплотнения грунтов позволяет улучшить их строительные свойства, результатом чего является повышение несущей способности по грунту основания. Как следствие, это позволяет, например, на этапе выполнения работ нулевого цикла вдвое сократить расход бетона и арматурной стали, в три раза повысить производительность труда, свести к минимуму земляные и опалубочные работы [1]. Существующие методики по расчету параметров и выбору технологических схем производства работ на строительных объектах промышленного и гражданского назначения не в полной мере отражают особенности образования уплотненных зон в грунте при динамическом воздействии на нее ударными рабочими органами строительных машин в процессе подготовки уплотнением грунтовых оснований. Таким образом, требуют дополнительных исследований: отработка технологий формирования направленных уплотненных зон в грунте, уточнение закономерностей влияния динамических характеристик и геометрии рабочего органа на динамику его взаимодействия с грунтом, разработка более совершенных моделей грунтов. Современный уровень развития бесконтактных методов регистрации измеряемых параметров и постоянно совершенствуемых программно-аппаратных средств позволяют выйти на новый уровень определения требуемых динамических характеристик оборудования, повысить точность и достоверность экспериментальных данных для регистрации технологических процессов локального уплотнения грунта.

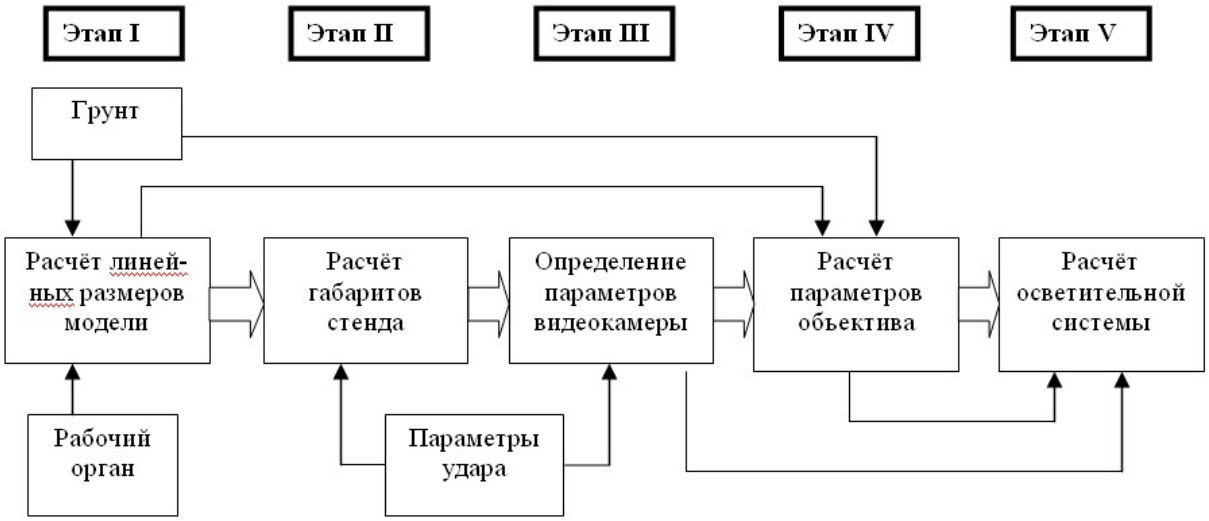


Рис. 1. Последовательность выбора и расчета параметров модели рабочего органа, стенда и специализированного оборудования для скоростной съемки ударного воздействия на грунт

Для экспериментального изучения процессов взаимодействия модели штампа с грунтом, предлагается установить следующие требования [2, 3]:

- визуализация движения модели в грунте и перемещения частиц самого грунта под нагрузкой;
- обеспечение бесконтактной регистрации движения модели в грунте, деформации грунта и необходимого контроля над всей динамикой исследуемого процесса; с дискретностью между отснятыми кадрами на порядок меньше его длительности протекания;

• обеспечение необходимой величины глубины резкости изображаемого пространства;

• уменьшение трудоемкости выполнения экспериментальных исследований, снижение материальных затрат и сроков их проведения.

Для обеспечения выполнения принятых положений разработана методика расчёта линейных размеров лабораторного стенда, основных параметров регистрирующего и вспомогательного оборудования: частота съёмки, фокусное расстояние и диафрагма объектива, расстояние от видеокамеры до объекта съёмки, освещённость объектов съёмки. Исходными данными для определения технических характеристик используемого оборудования являются вид грунта, массогабаритные характеристики модели и скорость ударного воздействия (см. рис. 1).

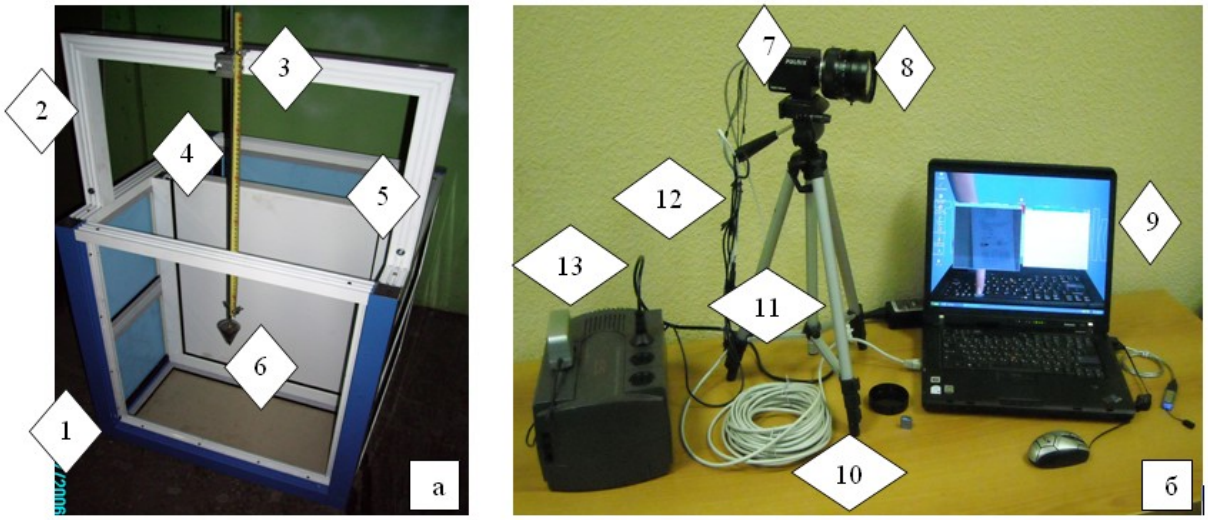


Рис.2. Конструкция лабораторного стенда (а) и общий вид оборудования для скоростной видеосъёмки (б): 1 – корпус; 2 – репер; 3 – крепление направляющей; 4 – направляющая; 5 – подвижный экран; 6 – модель РО; 7 – скоростная видеокамера TMC-6740GE; 8 – объектив Navitar DO-5095; 9 – ноутбук Lenovo Z61m; 10 – интерфейсный кабель cat5e; 11 – штатив; 12 – силовой кабель видеокамеры; 13 – источник автономного питания

Использование данной методики позволило поэтапно определить линейные размеры стенда и модели, а так же установить технические характеристики скоростной видеокамеры и объектива для съёмки процесса погружения модели в грунт, определить необходимые условия освещённости при проведении эксперимента. Выполненные расчеты легли в основу проектирования элементов конструкции специализированного измерительного комплекса, разработанного для проведения экспериментальных исследований с помощью высокоскоростной видеокамеры с обеспечением установленных требований и условий (см. рис. 2).

Разработанный с помощью предложенной методики специализированный измерительный комплекс обеспечивает:

• возможность корректного проведения в полном объеме экспериментальных исследований;

• достоверность исследования динамического воздействия, связанного с физическим подобием механизмов и явлений ударного процесса погружения моделей в грунт.

Библиографический список

1. Грузин, А. В. Грунтовые среды в условиях статического и динамического нагружения: монография / А. В. Грузин, В. В. Грузин, Э. А. Абраменков. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – 140 с.
2. Абраменков, Э. А. Особенности применения специализированного оборудования при проведении лабораторных исследований ударного погружения модели в грунт / Э. А. Абраменков, А. В. Грузин, В. В. Грузин // Актуальные проблемы современности: международный научный журнал. – Караганда: Болашак-Баспа, 2008. – №10 (27). – С. 4–12.
3. Грузин, А. В. Скоростная съёмка ударного взаимодействия штампа с грунтовой средой и обработка полученных результатов / А. В. Грузин, Э. А. Абраменков, В. В. Грузин // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 2. – С. 108–114.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ

Леоненко А.В., Баркалов И.В., Кузнецов М.С.

Научный руководитель: Желтобрюхов Е.М., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,
Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: tms_hti@list.ru

В настоящее время обработка шлицевых валов червячными шлицевыми фрезами является одним из наиболее перспективных технологических методов высокопроизводительной обработки точных поверхностей, обеспечивающим высокое качество и точность обрабатываемых поверхностей деталей. Однако эти преимущества обусловлены существенным усложнением конструкции инструмента, и проектирование его представляет собой достаточно трудоемкую, сложную и многовариантную задачу, решить которую без использования современных вычислительных средств и методов расчета весьма затруднительно.

Существующие методики расчета параметров инструментов, особенно сложнопрофильных, основаны, в основном, на применении графоаналитического метода проектирования с использованием табличных данных, различных графиков, номограмм и т.п. и плохо приспособлены для автоматизированного расчета с применением ЭВМ. Предпринимаются попытки решения этой проблемы: – в научной и технической литературе можно найти примеры автоматизированного расчета геометрических параметров инструментов; в ряде случаев приведены программы расчета (точнее, фрагменты программ), однако практически нет примеров комплексного решения задачи, которое, по нашему мнению, представляет собой получение рабочего чертежа инструмента, разработанного на основе исходных данных, определяющих необходимое качество обрабатываемого этим инструментом изделия. В статье представлены результаты такого комплексного подхода к проектированию червячных шлицевых фрез для обработки валов с прямобочным, эвольвентным и треугольным профилем шлица.

Для решения задачи автоматизированного проектирования были разработаны алгоритмы и программы расчета для ЭВМ геометрических параметров шлицевой фрезы, а также программа создания рабочего чертежа фрезы по рассчитанным данным с использованием CAD-систем.

Программы автоматизированного проектирования червячных шлицевых фрез реализованы с помощью мощного средства создания приложений – объектно-ориентированного языка Pascal в среде Delphi. Чертеж проектируемых инструментов создается с помощью средств автоматизации для программного пакета КОМПАС (ориентированные на прикладного программиста инструментальные средства разработки дополнительных модулей (прикладных библиотек и приложений), предназначенные для организации вызова функций КОМПАС из программ на языках программирования Си++, Pascal, Бейсик).

Современные САПР имеют модульный принцип организации. Каждый модуль предназначается для решения логически завершенной задачи и представляет собой законченную подсистему. Компьютерные программы автоматизированного расчета и проектирования червячных фрез выполнены в виде отдельного исполняемого модуля и набора баз данных для соответствующего типа фрезы.

Подход к разработке данного модуля – подсистемы основан на общих принципах, характерных для современных САПР, в частности принципа открытости, подразумевающего возможность расширения САПР путем интеграции в нее новых пакетов расчетных программ. Также предполагается, что данная подсистема может быть интегрирована в более мощную конструкторско-технологическую САПР режущих инструментов, работающую на единых принципах и использующую общие базы данных и ориентированную на мощное современное программное обеспечение конструкторского проектирования.

Подробнее рассмотрим работу программы на примере подпрограммы проектирования червячной шлицевой фрезы с прямобочным профилем.

Работа программы начинается с ввода исходных данных для проектирования, которые должны быть введены в соответствующие поля главного окна (показано на рис. 1).

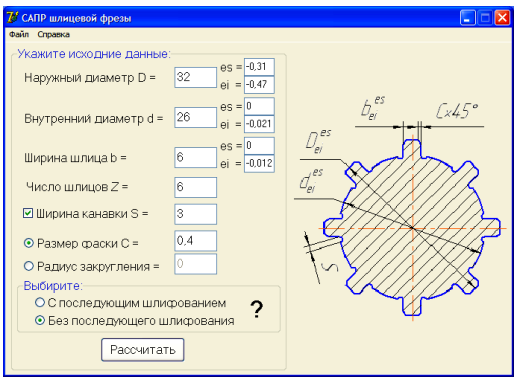


Рис. 1. Исходная форма программы – ввод исходных данных и данных, необходимых для проектирования

При активации кнопки "Рассчитать", появляется окно, содержащее рассчитанные геометрические параметры фрезы (не показано).

Червячная шлицевая фреза представляет собой режущий инструмент, у которого режущая кромка не параллельна оси вращения и представляет собой совокупность кривых и прямых линий, а профильная поверхность изделия образуется в результате вращения режущей кромки. Профиль шлицевой фрезы является следом вращения ее режущей кромки относительно оси инструмента. Создание и развитие теории производящих поверхностей позволило получить достаточно точные функциональные зависимости, связывающие параметры производящей поверхности, кинематику формообразующих движений и параметры производной (обрабатываемой) поверхности. На её основе разработаны методики расчета червячных фрез.

В то же время, эти достаточно давно известные и широко применяемые методики не учитывали особенностей применения ЭВМ, что вызывало определенные трудности в адаптации их к машинному счету. В частности, применение такой методики расчета основано на выборе большого количества параметров с использованием обширных справочных данных, не поддающихся корреляции и возможности установления точных функциональных связей параметров инструмента и детали. Это привело к необходимости введения режима диалога при выборе определенных параметров и в ходе расчета, а также создания баз данных по справочным материалам. Вместе с тем, использование режима диалога, как правило, повышает качество принимаемых решений, а также является полезным при использовании этих программ в учебных целях. При разработке программ особое внимание было уделено созданию «дружественного» интерфейса, позволяющего облегчить как работу пользователя САПР, так и возможность использования разработанного модуля в учебных целях.

На следующем шаге программой будет предложено сохранение полученных расчетных данных в текстовом формате и построение по ним рабочего чертежа фрезы. Созданный чертеж при необходимости может быть легко отредактирован с помощью соответствующих инструментов графических редакторов Компас – 3D или AutoCAD. . Пример созданного и отредактированного в редакторе Компас-3D чертежа фрезы представлен на рис. 2.

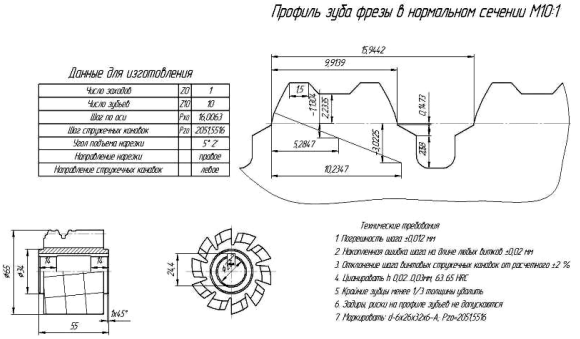


Рис. 2. Пример разработки рабочего чертежа червячной шлицевой фрезы

Разработанные компьютерные программы [1] предназначены для автоматизации расчетов, осуществляемых на этапах технологической и организационной подготовки основной системы машиностроительного производства, с целью повышения качества проектных решений и сокращения затрат времени инженеров-технологов и проектировщиков. Кроме того, компьютерная программа автоматизированного расчета и проектирования червячных шлицевых фрез может быть использована как обучающая программа в учебном процессе высших учебных заведений для повышения качества подготовки студентов машиностроительных специальностей вследствие наличия удобного и наглядного интерфейса и развитой справочной системы.

Программный модуль автоматизированного расчета и проектирования червячных шлицевых фрез является подсистемой «САПР режущего инструмента», разрабатываемой на кафедре МиМТ Хакасского технического института – Филиала СФУ

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612910. САПР шлицевой фрезы. Зарегистрировано 28 апреля 2010 г. Авторы: Кузнецов М.С., Желтобрюхов Е.М.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛУГОВ

Лукашок М.А.

Научный руководитель: Р.В. Чернухин, старший преподаватель кафедры Агроинженерии

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, Россия, г. Юрга, ул. Заводская, 10
E-mail: rv_81@mail.ru

За всё время, в течение которого человечество занимается вспашкой земли, идёт постоянное совершенствование пахотных орудий, одним из которых является плуг.

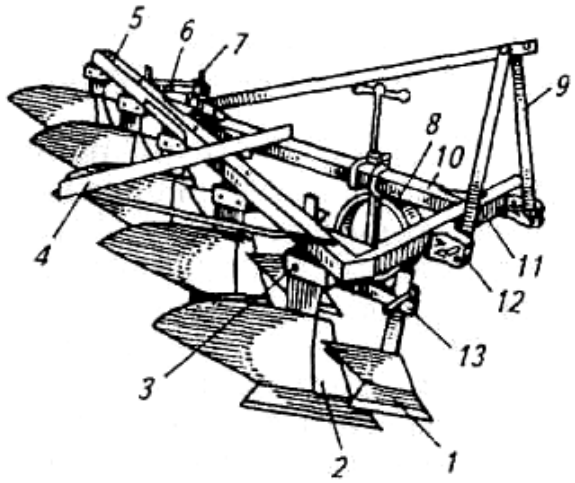


Рис. 1. Плуг тракторный навесной пятикорпусный:
1 – предплужник; 2 – корпус; 3 – угольник; 4 – прицепка для борон; 5 – главная балка; 6 – кронштейн крепления ножа; 7 – дисковый нож; 8 – опорное колесо; 9 – навеска; 10 – продольная балка; 11 – поперечная балка; 12 – кронштейн навески; 13 – кронштейн предплужника

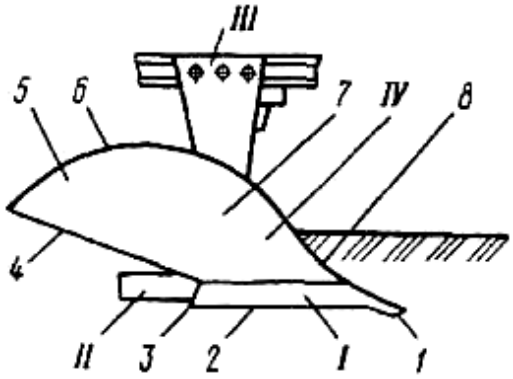


Рис. 2. Лемешно-отвальный плужный корпус:
I – лемех; II – полевая доска; III – стойка; IV – отвал; 1 – носок лемеха; 2 – лезвие; 3 – пятка; 4, 6, 8 – соответственно бороздной, верхний и полевой обрезы; 5 – крыло; 7 – грудь отвала

Плуг работает следующим образом. Предплужник срезает верхнюю задерненную часть пласта, переворачивает и укладывает ее на дно открытой борозды. Основной корпус плуга отрезает пласт со стороны дна борозды, разрыхляет, в определенной мере оборачивает его своей рабочей поверхностью и укладывает на задерненную часть, ранее уложенную предплужником. Для образования ровной стенки борозды перед задним корпусом плуга устанавливают нож.

Корпус плуга (рис. 2.) состоит из стойки, лемеха, отвала и полевой доски. Лемех и отвал образуют рабочую поверхность корпуса, которая ограничена со стороны поля полевым обрезом, со стороны пашни бороздным обрезом, а сверху верхним обрезом. Геометрическая форма лемешно-отвальной поверхности корпуса определяет вид и качество вспашки. Лемех подрезает пласт снизу, приподнимает его и направляет на отвал. Отвал сдвигает поднятый пласт, крошит его, переворачивает и сбрасывает в борозду. Сбоку к нижней части стойки крепят полевую доску, которая служит опорой корпуса и предотвращает смещение его в сторону непаханого поля под действием сопротивления почвы.

Плуг, из какого бы его материала ни делали, всегда преодолевает сопротивление обрабатываемой почвы – трение скольжения. Трение скольжения возникает на предплужнике, лемехе, отвале, полевой доске плуга в ту самую секунду, как трактор начинает движение по полю. Возникает и не исчезает до конца пахоты, и естественно, «поглощает» солидную часть мощности двигателя трактора, а также замедляет процесс вспашки.

Но оказывается можно заменить трение скольжения на менее энергоёмкое трение качения. Первым такую идею предложил ещё в 1968 году венгерским изобретателем Иштваном Сабо. Неподвижные части плужного корпуса, которые в процессе действия протаскиваются в почве, он заменил на вращающиеся (речь, конечно, могла идти, только о тех деталях, которые не режут почву, а дробят её). В итоге появился первый навесной роликовый плуг.

Внешне он мало отличался от своих предшественников: стальная рама, три корпуса, три дисковых ножа, объединённые с предплужниками в одно целое, опорное колесо на пневматике. Необычное начиналось в строении корпуса. Здесь, вместо привычного нам отвала, появились два самоочищающихся резиновых ролика. Для облегчения их работы каждый поставлен на два шарикоподшипника сезонной смазки. Ещё одной осо-

бенностью плуга И. Сабо является то, что вместо полевой доски для устойчивости хода применено колесо вроде автомобильного, вращается оно на подшипнике качения.

В 1969 году плуг прошёл испытания, роликовое орудие впрягли в трактор МТЗ-50. Пласт почвы, отрезаемый дисковым ножом, предплужником и лемехом, направлялся на грудь отвала. С неё он переходил на вращающиеся ролики, которые дробили и оборачивали его, оставляя за собой чёрную борозду пахоты. Более того, лёгкие почвы ролики крошили настолько хорошо, что после них не требовалось ни культивации её, ни боронования.

В ходе испытаний выяснилось, что по сравнению с серийным близким по параметрам плугом ПН-3-35Б, роликовый плуг в энергетическом отношении оказался более выгодным. Ведь затраты общей тяговой мощности снизились почти на 3 л.с.



Рис. 3. Роликовый плуг

Выше у нового плуга и часовая производительность, и немного увеличилась рабочая скорость. Правда у нового плуга выявились и недостатки: он оказался тяжелее на 100 кг чем плугш ПН-3-35Б. На средних и тяжёлых почвах он оставляет за собой более крупные комки почвы, что осложняет предпосевную обработку поля.Также коэффициент надёжности у него был низким. Советскими изобретателями роликовый плуг был немного усовершенствован, они сделали ролик вибрирующим и подпружинили его, эти они повысили надёжность пахотного орудия.

Но конструкция роликового плуга, имеет большой запас для модернизации и улучшения. Мы предлагаем новую конструкцию плуга с применением трения качения. В отвал корпуса устанавливаем конические ролики, расположенные под углом друг к другу в соответствии с геометрией отвала. В теле отвала делаются вырезы металла, в которые устанавливаются ролики. Оси роликов крепятся с задней части отвала. А между самими роликами сохраняются промежутки металла, которые будут способствовать самоочищению роликов от налипшей земли, и поддержанию жёсткости конструкции отвала. Ролики вращаются на неподвижных, стационарно закреплённых осях. В нутри роликов устанавливаются подшипники качения, а с торцов пружинны, которые будут играть роль амортизаторов. Также на конце отвала монтируется барабан, он предназначен для завершения оборота пласта и крошения крупных комков земли. Ролики планируется изготовлять из твёрдого износостойкого материала, для снижения массы предлагается изготавливать из современных композитных материалов, керамики. Поверхность роликов должна быть максимально гладкой с низкой степенью шероховатости, это необходимо для уменьшения налипания слоя земли на ролики, и вследствие чего, для более быстрого движения пласта почвы по поверхности отвала. В результате подрезанный пласт свободно движется по отвалу создавая значительно меньшее сопротивление движению плуга, ролики перемещают пласт и крошат мелкие частицы земли. В свою очередь установленный на конце отвала барабан завершает оборот пласта и крошит крупные комки земли. Благодаря данной конструкции плуга, значительно сокращаются энергетические затраты на вспашку, увеличивается скорость вспашки, улучшается качество обработки земли. Из-за простой и прочной конструкции повышается надёжность и износостойкость пахотного орудия. Также применяем разработку венгерского инженера – опорное колесо вместо полевой доски, оно позволит дополнительно снизить сопротивление почвы.

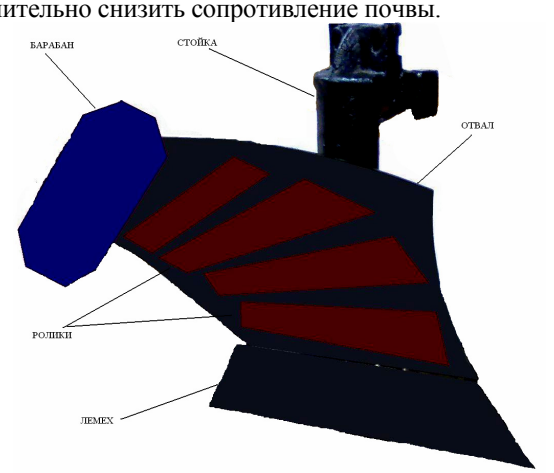


Рис. 4. Примерная схема конструкции плуга

Список литературы

1. Кленин Н.И., Егоров В.Г. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: КолосС, 2004 . – 464 с.
2. Гольдман В.Б., Школьников А.Б. Завтра земледельческой техники. 2-е изд., перераб. И доп. – Колос, 1982. – 223 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИНИШНОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ БЕЗАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ РЕМОНТЕ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Малышев А.В.

Научный руководитель: Р.В. Чернухин, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, Россия, г. Юрга, ул.Заводская, 10
E-mail: rv_81@mail.ru

Открытие явления избирательного переноса при трении (эффекта безызносности) позволило рассматривать перенос металла в зоне фрикционного контакта как метод плакирования поверхностей трения стальных и чугунных деталей тонким слоем мягких металлов (латуни, меди, бронзы), с приданием им высоких антифрикционных свойств. Основополагающим изобретением этого метода является авторское свидетельство № 115744 от 23.4.58 г. "Способ придания поверхности металлов трущихся пар противозадирных свойств" (Авторы изобретения Д.Н. Гаркунов и В.Н. Лозовский).

Сущность процесса состоит в том, что стальные и чугунные детали после окончательной традиционной обработки резанием их поверхностей трения (шлифованием, полированием, хонингованием и др.) покрывают тонким слоем 1...3 мкм) латуни, меди или бронзы. Покрытия получают путем трения латунного, медного или бронзового прутка (инструмента) о поверхность детали, смазывая при этом поверхность трения глицерином или какой-либо другой специальной жидкостью. При трении материал прутка переносится на стальную (или чугунную) поверхность детали.

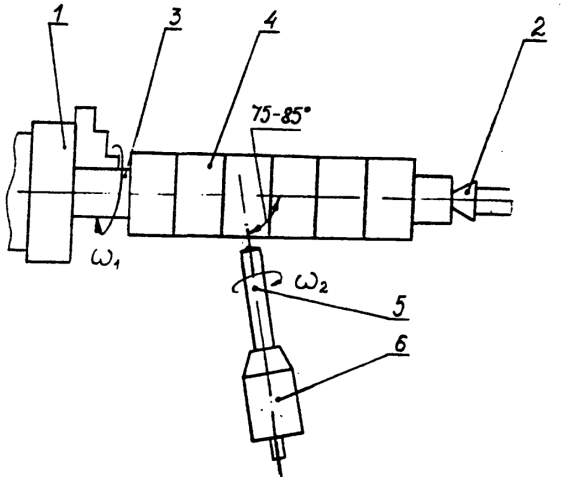


Рис. 1. Сущность процесса ФАБО

Для того чтобы наносимый слой латуни был сплошным и ровным, поверхность детали не должна иметь окисных и масляных пленок, а материал латуни нужно пластифицировать поверхностно-активным веществом в процессе нанесения покрытия. Давление при трении должно обеспечивать полное прилегание поверхности латунного прутка к поверхности детали. При таких условиях перенос материала латунного прутка на деталь происходит сплошным слоем, состоящим из очень мелких частиц, хорошо сцепленных как со стальной (или чугунной) поверхностью, так и между собой [1].

Технологию ФАБО шеек коленчатых валов автотракторных двигателей разрабатывали в Московском агроинженерном университете им. В.П. Горячкина В.Н. Была разработана оснастка, технология производства, состав технологической жидкости и руководство по применению ФАБО при капитальном ремонте двигателей.

На рис. 2 показано устройство для нанесения покрытий. Устройство состоит из корпуса 1, щек *2* с углублениями под державки 3, выполненные в виде цилиндров с глухим отверстием с резьбой. Натирающие инструменты *4* выполнены в виде пластин трапецеидальной формы, фиксаторов 5, винтов 6, направляющих 7 из фторопласта, регулировочного винта *8,* гайки 9, пружины *10,* тампонов *11.*

Устройство работает следующим образом.

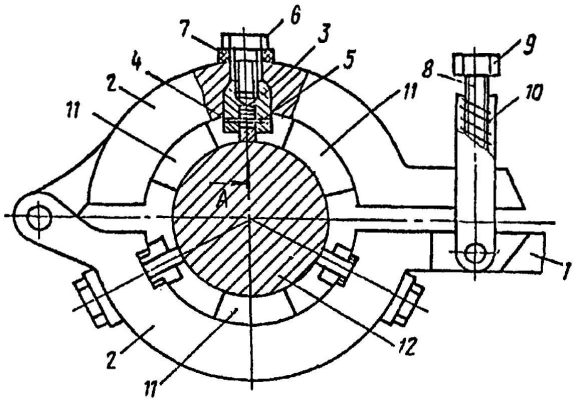


Рис. 2. Схема устройства для ФАБО шеек коленчатых валов двигателей

Обрабатываемая деталь *12* устанавливается в механизм вращения (на чертеже не показан). В державке *3* устанавливаются натирающие инструменты *4* и крепятся фиксаторами 5. Затем державки (в сборе) устанавливаются в углубления щек 2 и закрепляются через направляющие 7 винтами *6.*

Тампон *11* пропитывается технологической жидкостью. Осуществляется наладка устройства путем установки натирающих инструментов *4* в крайнее положение до упора. Вращением гайки *9* по регулировочному винту *8* осуществляется сжатие пружины *10* на необходимую величину для прижатия натирающих инструментов *4* к поверхности обрабатываемой детали *12* с определенным усилием [2].

Включается механизм вращения детали (на чертеже не показан). При вращении детали *12* происходит натирание ее поверхности.

В разработанной технологии процесс нанесения покрытия осуществляется за счет переноса металла натирающего инструмента и восстановления на обрабатываемой поверхности содержащихся в технологической жидкости солей пластичных металлов (меди, олова и цинка). В качестве растворителя использована вода.

Триботехнические испытания разработанных технологий ФАБО на лабораторных машинах трения позволили установить снижение интенсивности изнашивания обработанных и сопряженных с ними поверхностей в 1,5...2 раза при их 100%-ной задиростойкости. Наилучшие результаты в процессе испытаний показала технология, заключающаяся в комплексном использовании ФАБО трущихся поверхностей при изготовлении или ремонте и применении металлоплакирующих смазочных материалов в эксплуатации двигателей.

Стендовые испытания разработанной технологии проводили на двигателях СМД-62. Испытывались две группы двигателей. В одну из групп входили двигатели, в которых при серийной сборке были установлены коленчатые валы и гильзы цилиндров с фрикционными латунными покрытиями на коренных и шатунных шейках и гильзах цилиндров.

Перед их испытаниями в моторное масло М-10$Г_2$ вводили металлоплакирующую присадку (МПП). В другую группу входили двигатели, прошедшие капитальный ремонт по заводским технологиям. Испытания проводили на одном обкаточном стенде с использованием одного для всех двигателей топливного насоса, комплекта форсунок и турбокомпрессора.

Проведенные испытания показали, что использование разработанной технологии, включающей ФАБО шеек коленчатого вала и гильз цилиндров с обкаткой двигателей на масле М-10Г с МПП, обеспечивает: снижение механических потерь на трение на 5.. .9 % (в среднем на 85 Нм); увеличение давления масла в главной магистрали дизеля на 25...30 % при номинальной частоте вращения (в среднем до 0,56 МПа); повышение эффективной мощности двигателя после обкатки на 8... 12 кВт (в среднем до 176,5 кВт); уменьшение износа шатунных вкладышей на 47...49% (в среднем на 0,019 г); уменьшение износа коренных вкладышей на 37...49 % (в среднем на 0,042 г), уменьшение износа шеек коленчатого вала на 49...56% (в среднем на 2,9 мкм); снижение содержания продуктов износа (железа) в пробах масла из картера двигателя в 4,33 раза (в среднем на 45 г/т).

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний двигателя

Технические показатели	Технология		Изменения показателя, %
	Серийные	Опытные	
Момент механических потерь, Н·м	88	82	6,82
Давление масла, МПа	0,4	0,56	40
Эффективная мощность, кВт	166	175	6,33
Концентрация продуктов износа (железа) в масле, г/т	195	45	76,92
Износ:			
шатунных вкладышей, г	0,0365	0,019	47,95
коренных вкладышей, г	0,0668	0,0418	37,43
шеек коленчатого вала, мм	0,006	0,003	50

Испытания показали, что применение разработанной технологии обеспечивает увеличение эффективной мощности двигателя на 8... 12 кВт за счет снижения механических потерь на трение и повышения качества приработки деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма.

Зарегистрированное увеличение давления масла в главной магистрали дизеля СМД-62 на 25.. .30 % при номинальной частоте вращения указывает на более качественную приработку вкладышей коленчатого вала. Осмотр поверхностей трения соединений шейка – вкладыш и кольцо – гильза цилиндра после испытаний разработанной технологии не выявил признаков задиров поверхностей трения и образования рисок, тогда как у двигателей, прошедших капитальный ремонт и обкатку по типовым технологиям, выявлено наличие рисок и натирания материала вкладыша на коленчатый вал.

Проведенные эксплуатационные испытания в хозяйствах выявили увеличение межремонтного ресурса двигателей СМД-62 в 1,3... 1,5 раза.

Список литературы

1. Научно-технический прогресс в машиностроении. Современные методы упрочнения поверхностей деталей машин. М.: Машиностроение. Вып. 9,1989. 285 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): Учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: "Издательство МСХА", 2002. 632 с, ил. 250

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ РОТОРНОЙ ГОЛОВКИ ОЦИЛИНДРОВОЧНОГО СТАНКА

Маметова З.А., Ким А.Б.

Научный руководитель: Арляпов А.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: blackberry89@tpu.ru

Производство оцилиндрованных деталей срубов на данный момент является одним из самых привлекательных сегментов рынка лесопереработки Томской области. Основная задача при организации такого производства – правильный выбор оборудования.

Современные роторные окорочные станки имеют следующие недостатки, связанные с конструкцией оцилиндровочного шпинделя (роторной головки):

- значительная вибрация бревна в процессе оцилиндровки;
- нестабильное качество (точность и шероховатость обработки);
- неоптимальная геометрия режущего инструмента (следовательно, быстрый износ резцов);
- сложность перенастройки резцов, при смене диаметра обрабатываемого изделия (следовательно, увеличение подготовительно-заключительного времени, а значит и снижение производительности);

Кроме того, в литературных источниках отсутствуют сведения об энергоэффективности существующих конструкций роторных головок.

Проведенный анализ существующих схем обработки выявил вышеуказанные недостатки и позволил разработать схему совершенствования имеющейся конструкции станка (оцилиндровочного шпинделя).

Таблица 1

Значения углов режущих пластин

Углы	Значения углов	
	Черновые резцы	Чистовые резцы
α	5°	3°
β	35°	25°
γ	50°	62°
λ	30°	60°
φ	60°	0°

Первое, что было сделано – анализ статической и кинематической геометрии резцов. На основании данного анализа была проведена оптимизация геометрических параметров (табл. 1). Увеличен передний угол, снижен угол заострения, изменен главный угол в плане и угол наклона главной режущей кромки. Важно отметить, что данные изменения геометрии практически не скажутся на прочности режущего клина, за счет существенного снижения силы резания.

Древесина – материал, отличающийся анизотропностью свойств. Такие пороки древесины как кривизна, закомелистость, ройки, наросты, сучки обуславливают непредсказуемую переменность припуска. Что, в свою очередь, влияет на точность получаемых размеров, качество обработанной поверхности и стойкость резцов роторной головки. С учетом этого была разработана и изменена схема снятия припуска. Были выполнены следующие усовершенствования:

1. Резцы были разделены на три группы по два резца в каждой: черновые, получистовые и чистовые. Резцы в группах расположены диаметрально противоположно, что обеспечило более эффективное деление припуска по толщине. Эскиз чернового резца представлен на рисунке 1.
2. Группы резцов разнесены в пространстве, обеспечивая тем самым деление припуска по ширине, обеспечивая стабильную работу каждой группы резцов в пределах своего диапазона глубины резания.
3. Была спроектирована и изготовлена дополнительная оснастка для настройки резцов на разный типоразмер (размер обработанного бревна может варьироваться от 180мм до 240 мм).

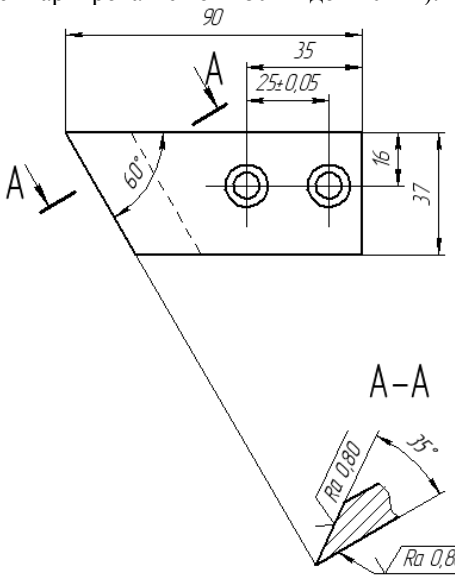


Рис. 1. Конструкция разработанной роторной головки

Достоинством разработанной оснастки является то, что тангенциальная схема закрепления резцов значительно снижает вероятность их смещения, так как отжимающие усилия действуют радиально.

На основании вышеизложенного была разработана модель оцилиндровочной головки (с использованием программы КОМПАС-3D).

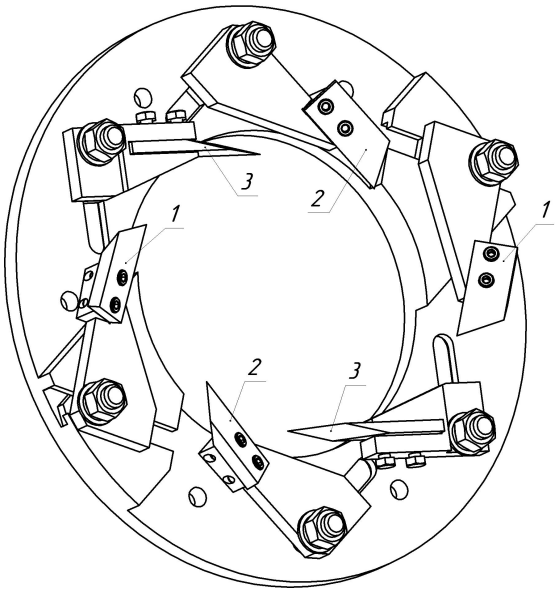


Рис. 2. Конструкция разработанной роторной головки: 1 – черновые резцы; 2 – получистовые резцы; 3 – чистовые резцы

В итоге, с учетом всех изменений, для проведения испытаний была изготовлена экспериментальная конструкция роторной головки (рис. 2). Конструкция роторной головки состоит из планшайбы, которая крепится к шпинделю оцилиндровочного станка и предназначена для размещения резцов и регулирования их диаметрального положения. Базирование и крепление резцов осуществляется при помощи шпонок и крепежных элементов в пазах планшайбы. Резцы состоят из державки, изготовленной из конструкционной стали, и режущей пластины из легированной инструментальной стали Х12. Ее износостойкость выше, чем у углеродистых инструментальных сталей. Поэтому данная марка стали более предпочтительна при работе в агрессивных условиях (частицы песка в коре, смолы, неоднородность материала), в которых работают резцы оцилиндровочной головки. Каждая пластина имеет определенный запас на переточку. Компенсация износа пластин осуществляется за счет их смещения в тангенциальном направлении вдоль пазов планшайбы. Тангенциальное расположение державок резцов обеспечивает более надежное их крепление в корпусе оцилиндровочной головки и, при той же прочности, меньшую массу.

Сконструированная и изготовленная головка была испытана в оцилиндровочном цехе Моряковского леспромхоза. Испытания состояли из двух серий обработок, каждая из которых включала обработку десяти бревен, схожих по размерам и геометрическим параметрам, для обеспечения постоянства условий обработки. Эксперименты показали, что оптимизация геометрии режущей части позволила увеличить скорость подачи примерно в два раза, что привело к соответствующему увеличению производительности и улучшению качества обработанной поверхности.

В дальнейшем планируется провести ряд испытаний по определению силы резания и сравнительный эксперимент по определению энергоэффективности разработанного инструмента относительно существующих аналогом. Для этого в схему электропривода планируется включить амперметр и вольтметр, а затем при постоянных режимах обработки сравнить потребляемую мощность режущих головок старой и новой конструкции. Это позволит выявить коммерческие преимущества разработанной конструкции и, тем самым, повысить его конкурентоспособность на рынке.

Кроме того, планируется модернизировать фрезы для выборки чаш, укладочного паза и компенсационного пропила, а также изготовить опытно-промышленный образец, готовый к массовому внедрению в производство.

Список литературы

1. Вильке Г.А. Конструирование и расчеты окорочных станков. М.: ГЛТИз, 1938. 168 с.
2. Зимин Б.В. Технология производства деревообрабатывающих машин иоборудования. М.: Лесная пром-ть, 1984. 206 с.
3. Краснов Г. Новые модели оцилиндровочных станков // Деревообработка вРоссии СПб., 1998. Вып. 1. 24 – 31.
4. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976.
5. Нижурин А. А. Основы процесса точения древесины. М.: ГБЛИ, 1963. 117 с.
6. Сергеевичев А.В. Совершенствование процесса оцилиндровки круглогосортимента. //Сборник докладов молодых ученых на ежегодной научной конференции Санкт-Петербургской Лесотехнической академии. СПб.: ЛТА, 2000. Вьш. 3. С. 15–16.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КАК СПОСОБ СБЕРЕЖЕНИЯ РЕСУРСОВ

Марагин К.А.

Научный руководитель: Ю.Н. Дементьев, к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
kirillmaragin@mail.ru

Изношенность энергетического оборудования в нашей стране составляет более 80% и оно является морально устаревшим. Именно это заставляет задуматься, насколько велики потери энергии в энергосистеме в целом.

Рассмотрим, какие потери энергии в системе существуют. Так как более 70% электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях (ТЭС), то примем допущение, что вся электроэнергия вырабатывается на ТЭС [1]. Суммарные потери энергии в системе можно разложить на составляющие:

- потери в котле ТЭС;
- потери энергии в механической части ТЭС;
- потери энергии в электрической части ТЭС;
- транзитные потери;
- дополнительные потери.

Сопоставим потери в ТЭС с потерями в ВЭС и сравним их.

Потери в котле ТЭС аналогичны потерям в ветродвигателе ВЭС. Котел ТЭС и ветродвигатель ветроэлектростанции (ВЭС) – устройства, преобразующие внутреннюю энергию рабочего тела в механическую, в первом случае энергию угля и газа, во втором случае – ветра. Коэффициент полезного действия (КПД) котла ТЭС составляет 45% [2], а КПД ветродвигателя составляет 48% [3].

Потери энергии в механической части ТЭС – это потери в турбине, они состоят из потерь в турбине, потерь в подшипниках и муфтах. КПД турбины составляет 80-90% в зависимости от типа турбины. КПД подшипников и муфт – 98%. Потери в механической части ВЭС состоят из потерь в подшипниках, муфтах и мультипликаторе. КПД мультипликатора составляет 95%. Однако, в ВЭС потери в механической части можно существенно сократить, если отказаться от мультипликатора и использовать тихоходный генератор. Тогда КПД механической части повысится примерно на 6%. В итоге, КПД механической части ТЭС составляет 78-88%, а КПД механической части ВЭС – 99%.

Потери в электрической части ТЭС – это потери в генераторе и преобразовательных устройствах. В крупных ТЭС используют повышающие трансформаторы, чтобы повысить значение напряжения, которым будет осуществляться передача электроэнергии на расстояние. КПД мощного генератора составляет 95-96%, а КПД трансформатора – 98%. В ВЭС используются менее мощные генераторы, КПД которых составляет 94-95%, а преобразовательные устройства включают в себя выпрямитель и инвертор. Выпрямители и инверторы, выполненные на основе современных полупроводниковых приборов, обладают высокими значениями КПД, которые соответственно равны 99% и 98%.

Представим ТЭС и ВЭС в виде блок-схем.



Рис. 1. Блок-схема ТЭС



Рис. 2. Блок-схема ВЭС

На рисунках приняты следующие обозначения: ВД – ветродвигатель, ЛЭП – линия электропередач, СН – собственные нужды.

Теперь можно определить «внутренний» КПД ТЭС и ВЭС. КПД определяется по следующей формуле:

$$\eta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{n} \eta_i \qquad (1)$$

где η_i – КПД отдельного блока электростанции.

Определим примерные КПД ТЭС и ВЭС. Распишем формулу (1) для каждого случая.

$$\eta_{ТЭС} = \eta_K \cdot \eta_T \cdot \eta_M \cdot \eta_Г \cdot \eta_Д \qquad (2)$$

где η_K – КПД котла, η_T – КПД турбины, η_M – КПД подшипников и муфт, $\eta_Г$ – КПД генератора, $\eta_Д$ – дополнительный КПД, учитывающий расходы электростанции на собственные нужды.

$$\eta_{ВЭС} = \eta_{ВД} \cdot \eta_M \cdot \eta_{МЕХ} \cdot \eta_Г \cdot \eta_Д \qquad (3)$$

где $\eta_{ВД}$ – КПД ветродвигателя, η_M – КПД мультипликатора, $\eta_{МЕХ}$ – КПД подшипников и муфт.

Подставляем примерные числовые значения в (2) и (3), получим: $\eta_{ТЭС} = 33,7\%$, $\eta_{ВЭС1} = 41,6\%$ и $\eta_{ВЭС2} = 43,8\%$. Здесь представлены два КПД для ВЭС, причем в первом случае приведена ВЭС с мультипликатором, во втором без.

В итоге оказалось, что КПД ВЭС превосходит КПД ТЭС почти на 10%, что является существенным. Если учесть тот факт, что в ТЭС используется ископаемое топливо, которое имеет свою цену, а также является экологически не чистым, то ВЭС должны быть гораздо «привлекательнее».

Передача электроэнергии по стране осуществляется с помощью линий электропередач (ЛЭП), которые имеют огромную протяженность. В ЛЭП присутствуют потери энергии, размер которых определяется по закону Джоуля-Ленца. Эти потери иначе называют транзитными, от них нельзя избавиться, но можно минимизировать. Именно по этой причине передача электроэнергии осуществляется на высоком напряжении, и она же является первым способом уменьшения транзитных потерь. Второй способ – это уменьшение протяженности ЛЭП.

ВЭС большой мощности обычно подключены к центральной энергосистеме и расположены недалеко от потребителей, поэтому потери в ЛЭП таких станций невелики. Однако, мощность ВЭС в единой энергосистеме должна быть ограничена 30% от мощности всей системы в целом. Это требование обусловлено тем, что в периоды безветрия и ураганов ТЭС могли безаварийно осуществлять электроснабжение потребителей.

В снабжения северных районов страны и прочих удаленных потребителей используется децентрализованное электроснабжение, которое осуществляется, чаще всего, с помощью дизельных электростанций (ДЭС). ДЭС состоит из генератора и двигателя внутреннего сгорания, работающего на дизельном топливе. Для экономии дизельного топлива можно объединять ДЭС и ВЭС в один комплекс, в котором ВЭС вырабатывает переменное количество электроэнергии, а ДЭС вырабатывает такое количество электроэнергии, которое необходимо для обеспечения гарантированного электроснабжения потребителей. Тут есть один нюанс: мощность ДЭС должна быть равна мощности нагрузки. Такое требование обусловлено тем, что в периоды безветрия и ураганов ВЭС не вырабатывает электроэнергию и ДЭС должна обеспечивать электроснабжение потребителей. В случае если мощности ВЭС достаточно чтобы обеспечивать электроснабжение потребителей может возникнуть ситуация, когда ДЭС можно отключать. Когда электроэнергии, вырабатываемой ВЭС, станет недостаточно для электроснабжения потребителей, последние будут получать электроэнергию еще от аккумуляторов ВЭС, в этот момент произойдет запуск ДЭС и электроэнергии будет вырабатываться столько, сколько необходимо для электроснабжения потребителей.

На рис. 3 и 4 приведены блок-схемы ветро-дизельного комплекса (ВДК).

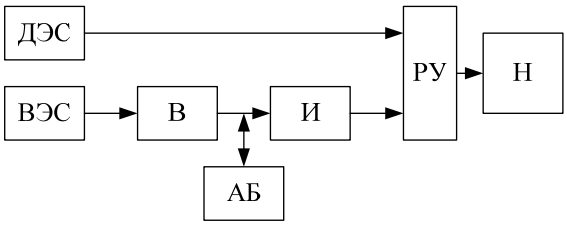


Рис. 3. Блок-схема ВДК (вариант 1)

На рисунке приняты следующие обозначения: В – выпрямитель, И – инвертор, АБ – аккумуляторная батарея, РУ – распределительное устройство, Н – нагрузка (потребители) [3].

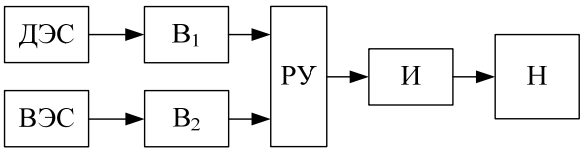


Рис. 4. Блок-схема ВДК (вариант 2)

В первом варианте организации ВДК основным источником электроэнергии является ВЭС, во втором – предусмотрена параллельная работа ВЭС и ДЭС на общую нагрузку.

Таким образом, в ветро-дизельном комплексе осуществляется экономия дизельного топлива, а также потери в ЛЭП будут минимизированы.

Если в ВЭС предусмотрена система аэродинамического регулирования, то повышается срок службы ее компонентов, особенно генератора. Получается, что ресурс оборудования ВЭС тоже увеличивается.

Применение ВЭС для децентрализованного электроснабжения выгодно по нескольким причинам: низкие расходы на обслуживание, отсутствуют расходы на доставку топлива, отсутствуют расходы на покупку топлива. Стоит отметить самый главный экономический недостаток – высокая стоимость ВЭС и, в следствие этого, высокая цена 1 кВт*ч.

Список литературы

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит общие сведения об электростанциях – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Электростанция .
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об конденсационных электростанциях – Режим доступа: http://bse.sci-lib.com/article063754.html
3. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008 – 187 с.

ВЫБОР ТИПА ПОДВЕСА ДЛЯ РОТОРОВ ТУРБОГРУППЫ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Машковский Р.А., Зотов И.В., Лисиенко В.Г.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mxroman@sibmail.com

Основным элементом многих машин является ротор, вращающийся в подшипниковых в подшипниковых опорах. Рост скоростей вращения и мощностей роторных машин при одновременной тенденции к уменьшению массовых и габаритных показателей выдвигает проблему повышения долговечности подшипниковых узлов как первоочерёдную. Кроме того, в ряде областей современной техники требуются подшипники, способные надёжно работать в экстремальных условиях: в вакууме, при высоких и низких температурах, сверхчистых технологиях, в агрессивных средах и т.п. Поэтому создание таких подшипников является актуальной технической проблемой.

Традиционные подшипники качения и скольжения к настоящему времени достигли высокого технологического уровня. Однако протекающие в них процессы ограничивает, а иногда делает принципиально невозможным применение этих подшипников для достижения указанных выше целей. Так существенными недостатками подшипников качения являются наличие механического контакта между подвижными и неподвижными частями, и необходимость в смазке дорожек качения. В подшипниках скольжения механический контакт отсутствует, но необходимы система подачи смазочного материала для создания смазочного слоя и герметизации этого слоя. Очевидно, что совершенствование узлов герметизации может лишь уменьшить, но не полностью устранить взаимное проникновение смазочного материала и внешней среды.

От указанных недостатков можно избавиться при помощи создания опорных реакций в которых используются магнитные и электрические поля.

Существуют различные типы подвесов:

1. Электростатический подвес. В основе его работы используются силы притяжения между проводящими поверхностями, имеющими различные электрические потенциалы. Одна поверхность принадлежит подвешиваемому проводящему телу, другие поверхности системе электродов. В межэлектродном пространстве обычно создаётся вакуум. Недостатками являются необходимостью создания высоких напряжений и глубокого вакуума, малая грузоподъёмность.

2. Электромагнитный подвес с резонансной LC цепью. Является одним из наиболее простых и не требующим специального регулятора подвесом. Недостатками являются малая грузоподъёмность, повышенные потери энергии на вихревые токи и перемагничивание, малые рабочие зазоры.

3. Индукционный подвес. Принцип действия основан на том, что подвешиваемое электропроводное тело помещается в высокочастотное переменное магнитное поле электромагнита, а подвеска осуществляется за счёт сил отталкивания основного поля и вихревых токов, наведённые этим полем в подвешиваемом теле. Недостатком является большие энергетические затраты, до 100 Вт на 1 Н нагрузки.

4. Кондукционный подвес. Принцип действия основан на вытеснении проводника с током из магнитного поля. Основным недостатком является необходимостью в источнике тока больших значений, который требует наличие контактного или бесконтактного устройства для передачи энергии.

5. Диамагнитный подвес. Принцип действия основан на том, что диамагнетик, помещённый в магнитное поле, намагничивается в направлении, обратном направлению поля и выталкивается из магнитного поля. Недостатком является очень малая грузоподъёмность.

6. Сверхпроводящий подвес. Данный подвес включает в себя сверх проводник, установленный в подвешиваемом теле, и обычный или сверхпроводящий электромагнит. Принцип действия основан на том, что магнитное поле не проникает в тело сверхпроводника и он, таким образом, представляет собой идеальный диамагнетик, который отталкивается магнитным полем. Недостатками являются громоздкость и дороговизна таких установок.

7. Магнитогидродинамический подвес. Используется в качестве смазочного материала сам рабочий агрегат, т.е. жидкий металл или газ.

8. Активный магнитный подвес. Принцип действия состоит в измерении перемещения подвешиваемого тела относительно точки и на основании этого регулирование регулятором тока в электромагните вследствие чего регулируется сила притяжения и следственно положение тела относительно заданной точки.

Среди рассмотренных типов подвесов, для выполнения поставленной задачи наибольший интерес представляет активный магнитный подвес.

Работа активных магнитных подшипников основана на том, что стабилизация ротора в заданном положении осуществляется силами магнитного притяжения действующими на тело с помощью управляемых электромагнитов. Ток в обмотке электромагнита формируется при помощи системы автоматического управления, состоящей из датчика положения, регулятора тока и усилителя мощности питающийся от внешнего источника электрической энергии.

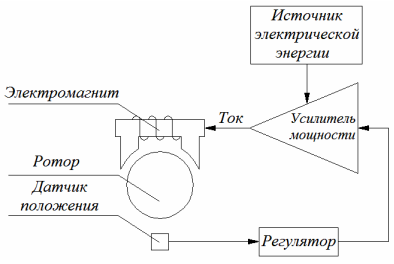


Рис. 1. Принцип действия и функциональные блоки одноосного активного магнитного подвеса

На рис. 1. показан принцип действия одноосного активного магнитного подвеса. Датчик положения измеряет перемещение ротора турбогруппы из заданного положения равновесия. Положение обрабатывается регулятором, регулятор на основании закона управления выдаёт сигнал на усилитель мощности, питаемый от внешнего источника электроэнергии. Усилитель мощности преобразует поступивший сигнал в управляющий ток в обмотке электромагнита, вызывающий силу магнитного притяжения. Таким образом, нарушенное положение равновесия восстанавливается. Устойчивость подвеса также как и необходимые жёсткость и демпфирование достигаются соответствующим выбором закона управления. При отключенном либо при аварийном отключении системы управления подвеса, ротор опирается на страховочные подшипники.

Активный магнитный подвес имеет следующие основные преимущества: отсутствие контакта, отсутствие изнашивания, отсутствие смазки, обеспечение контролируемости положения ротора при высоких скоростях вращения, низкое энергопотребление, возможность работы в экстремальных средах, большой зазор, регулируемость жёсткости и демпфирования подвеса.

К недостаткам активного магнитного подвеса относятся: необходимость во внешнем источнике электроэнергии, сложность электронного блока управления, относительно низкая несущая способность, относительно высокая стоимость, необходимость в персонале высокой квалификации для технического обслуживания.

Ротора как твёрдое тело имеет шесть степеней свободы. Его перемещения могут происходить в четырёх радиальных направлениях X_1, Y_1, X_2, Y_2, одном осевом направлении Z и во вращательном движении на угол φ_Z вокруг продольной оси.

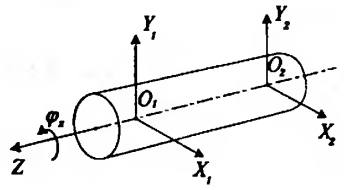


Рис. 2. Схема ротора как твёрдого тела

Вращательное движение в направлении угла φ_Z – вращательное движение, поэтому магнитным подвесом необходимо ограничить движение только в пяти направлениях X_1, Y_1, X_2, Y_2 и Z. Для того чтобы ограничить движение ротора в указанных направлениях необходимо установить радиальные подшипники ограничивающие движение ротора в направлениях X_1, Y_1, X_2, Y_2 и осевой подшипник ограничивающий движение ротора в направлении Z.

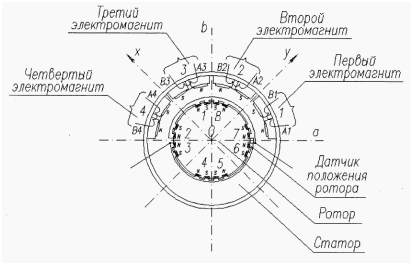


Рис. 3. Радиальный магнитный подшипник

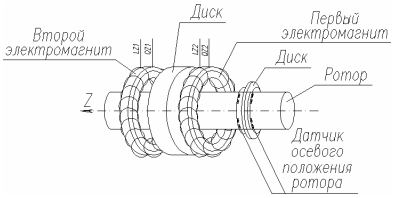


Рис. 4. Осевой магнитный подшипник

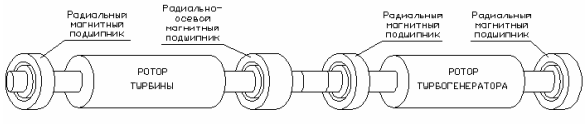


Рис. 5. Расположение магнитных подшипников роторов турбогруппы

Вывод: был произведен выбор магнитного подшипника. Вследствие применения активного магнитного подвеса для роторов турбогруппы обеспечивается полная, регулируемая и бесконтактная подвеска роторов турбогруппы, увеличивается срок службы турбогруппы и трение становится равным нулю, и в результате этого существенно уменьшается износ подвижных и неподвижных деталей, увеличивается коэффициент полезного действия турбогруппы. Также при использовании магнитного подвеса исключается необходимость содержать дорогостоящую и неэкологическую систему маслоподготовки и дорогостоящего и неэкологичного масла.

Список литературы

1. Журавлёв Ю.Н. Активные магнитные подшипники /Политехника, 2003-206 с.
2. Зотов И.В. Статья «Магнитные подшипники для САУ» / Журнал «Электротехника» №3, 2010-стр. 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

Мисайлова Л.В.

Научный руководитель: Гормаков А. Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gormakov@tpu.ru

Самолеты, вертолеты, ракеты в процессе полета изменяют свою ориентацию в пространстве в диапазоне углов от нескольких градусов до нескольких десятков градусов и даже полных оборотов. Приборы, установленные на таких объектах, также изменяют свою ориентацию в пространстве. При этом испытывают линейные и вибрационные перегрузки.

Целью настоящей статьи является определение работоспособности опоры для прецизионных приборов [1] в различных возможных условиях нагружения. В процессе эксплуатации опора может подвергаться как осевой, так и радиальной нагрузкам. В зависимости от типа летательного аппарата (ЛА) линейные перегрузки могут находиться в пределах от 1 до 40 g.

В качестве объекта исследования выбрана опора [2, 3] со следующими параметрами: r_1 = 10 мм, r_2 = 20 мм. Толщину пластины h принимаем равной 0,2 мм, ширину пластины b = 4 мм (рис.1).

Статический анализ опоры

Для механического анализа опоры необходимо выбрать материал упругих элементов. К материалам, обладающим высокими упругими характеристиками, относятся: бериллиевые бронзы, пружинные стали, монокристаллический кремний. Наиболее доступным из указанных выше материалов является пружинная сталь 60С2А ГОСТ 14963-78 (табл. 1).

Напряженно-деформированное состояние опоры (рис. 1) исследовано с использованием программного обеспечения T-Flex Анализ.

Таблица 1

Характеристики материала упругой опоры

Материал (пружинная сталь)	
Модуль упругости	2.1E+011 Па
Коэффициент Пуассона	0.28
Модуль сдвига	
Предел текучести	2.20594E+008 Па
Предел прочности на разрыв	3.99826E+008 Па
Предел прочности на сжатие	3.99826E+008 Па
Плотность	7800 кг/м^3
Теплопроводность	43 Вт/(м*К)
Коэффициент линейного расширения	1.3E-005 м/К
Удельная теплоемкость	440 Дж/(кг*К)

Результаты статического анализа представлены на рис. 2 и рис. 3. При усилии предварительного нагружения ленты нагрузкой P = 150 Н минимальный коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям составляет 13,6664 (рис. 2).

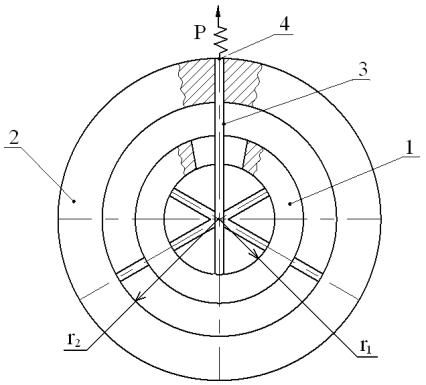


Рис. 1. Трехленточная упругая опора:1 – внутреннее кольцо; 2 – наружное кольцо; 3 – упругий элемент (пластина); 4 – устройство нагружения

Максимальное перемещение элементов опоры (рис. 3) под действием этой же нагрузки составляет 3,68233 мкм.

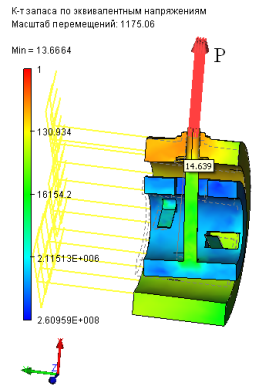


Рис. 2. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям (P = 150 Н)

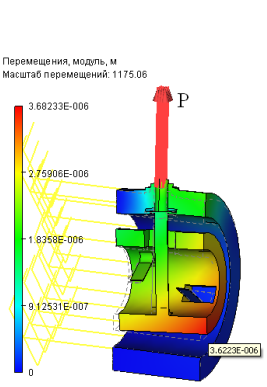


Рис. 3. Модуль перемещения элементов опоры (P = 150 Н)

Исследование опоры на подвижном основании

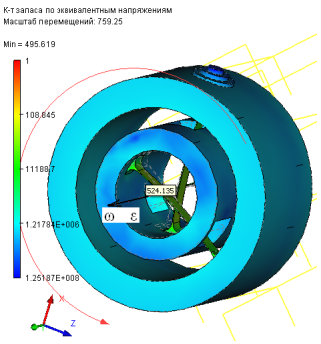


Рис. 4. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям при вращении опоры вокруг оси Y опоры (ω = 5 рад/с, ε = 2 рад/с^2)

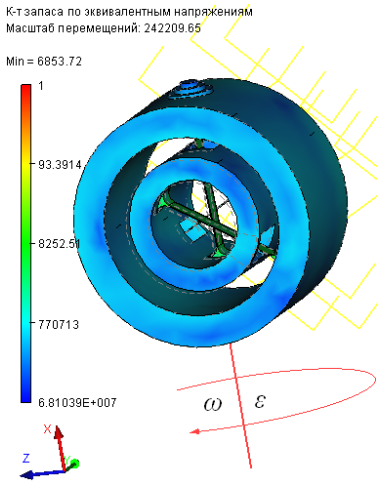


Рис. 5. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям при вращении опоры вокруг оси X опоры (ω = 5 рад/с, ε = 2 рад/с^2)

Анализ полученных результатов показывает, что при установке опоры на объект, совершающий вращение с угловой скоростью ω = 5 рад/с и угловым ускорением ε = 2 рад/с^2 вокруг оси Y (рис.4) и оси X (рис. 5), минимальные коэффициенты запаса по напряжениям составляют 495,619 и 6853,72 соответственно.

Частотный анализ

В результате частотного анализа (таблица 1) определены резонансные частоты опоры. На рис.6 приведены диапазоны перемещений внутреннего подвижного кольца опоры при резонансной частоте 14, 2 Гц (форма 1).

Проведенный механический анализ показывает, что данная опора может эксплуатироваться при значениях нагрузок до 150 Н на основании вращающемся с угловой скоростью равной ω = 5 рад/с и ускорением ε = 2 рад/с^2.

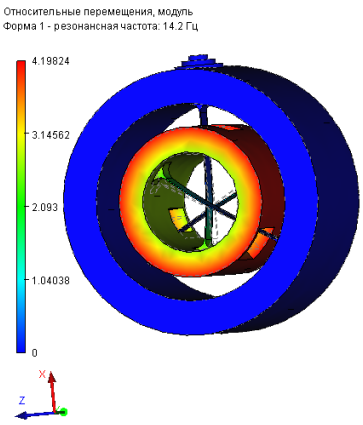


Рис. 6. Модуль относительного перемещения (форма 1 – резонансная частота: 14,2 Гц)

Таблица 2

Резонансные частоты опоры

Форма	Резонансная частота, Гц
1	14,2
2	180,7
3	345,1
4	853,5

Список литературы

1. Гормаков А.Н., Камашев Ю.М., Ветренко В.И. Опора для прецизионных приборов // Патент России № 2011057.1994. Бюл. № 7.
2. Мисайлова Л.В. Расчет и проектирование опоры для прецизионных приборов // Труды XVI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2010».- Томск, 2010. – Т. 1. – С. 237. (http://portal.tpu.ru/science/konf/ctt/proceedings).
3. Мисайлова Л.В. Исследование напряженно-деформированного состояния опоры для прецизионных приборов// III Общероссийский студенческий научный форум 2011 (электронная конференция). (http://rae.ru/forum2011/52/1539)

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНОЙ ПОРЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕПЛА В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ

Мишин М.А.

Научный руководитель: доцент Р.А. Кректулева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: millluta777@mail.ru

Введение

В настоящее время компьютерных технологий, когда существуют мощные компьютерные системы позволяющие проводить огромное количество расчетов за доли секунды, в технике все большую актуальность приобретают математические модели процессов, механизмов, явлений и т.д. Эти модели очень удобны тем что, не производя непосредственно сам процесс, мы можем с достаточной точностью определить и описать его свойства, увидеть протекание, контролировать качество и т.д. Одной из таковых является математическая модель, описывающая сварочные процессы.

Была поставлена задача, изучить при помощи компьютерной программы MEZA, моделирующей сварочные процессы, свойства образца из мате-

риала Ст3 с тем учетом, что в исследуемом образце содержится пора. Целью работы ставилось исследование влияния одиночной поры и ее размеров на распространение тепла в сварочной ванне.

Существует большое количество литературы посвященных теме математического моделирования сварочных процессов. Большинство работ связано с изучением формирования шва, сварки разнородных сталей, поведения сварочной дуги[1], исследование температурных полей при различных способах сварки[2-4], в зарубежных источниках также можно найти различные методы компьютерного моделирования, например, модель контроля дефектов сварного шва[5] и создание модели лазерной сварки[6].

Актуальность исследования

Изучение влияния поры и ее размеров на распространение тепла в сварочной ванне является актуальной задачей и в такой постановке ставится впервые. Возможности программы MEZA позволяют решить и исследовать эту задачу. Более того, решение данной задачи может быть проверенно экспериментально. Были подготовлены образцы разных геометрических размеров материала Ст3 для исследования влияния краевых эффектов на формирование сварного соединения, поэтому изучение поведения стали Ст3 с возможной порой, поможет уточнить расчет и более корректно сделать выводы.

Ниже приведены все расчеты, геометрические характеристики и режимы сварки. В процессе изучения было произведено множество теоретических экспериментов и расчетов, но не все подходили по ряду требований и, поэтому в данной статье представлены только те режимы и параметры, на которых удалось получить корректные данные.

Экспериментальные данные

В таблице 1 приведены данные о геометрическом размере образца и режимах сварки.

Таблица 1

Размеры образца

Геометрические размеры:	мм,
1) Высота	2
2) Ширина	16
3) Длина	16

Таблица 2

Режимы сварки

Режимы сварки:	I	II
1) Сила тока	100 А	100 А
2) Напряжение	12,5 В	12,5 В
3) Скорость сварки	100 мм/мин	900 мм/мин

Сварку осуществляем неплавящимся электродом с двумя режимами начальным (I) (подготовительным) и завершающим (II). Начальным режимом мы осуществляем разогрев образца до температуры 2100С, затем мы изменяем режим на завершающий, которым будем осуществлять сварку. Размером пор задаемся самостоятельно, принимаем пору равной 0,2 мм.

Контроль и анализ осуществляем по контрольным точкам, которые расставляем в начале процесса.

Рабочий интерфейс программы MEZA.

Программа MEZA предназначена для расчета различных тепловых задач, с различными функциями внешних воздействий. Расчет ведется при помощи явной разностной схемы.[7]

Основными компонентами интерфейса являются главная панель (Рис.1), при помощи которой осуществляется создание пространственных моделей образцов, и вспомогательные панели – геометрия образца (Рис.2) и контрольные точки (Рис.3), с их помощью осуществляется контроль и изменение процесса теплового воздействия.

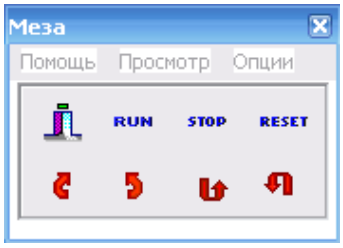
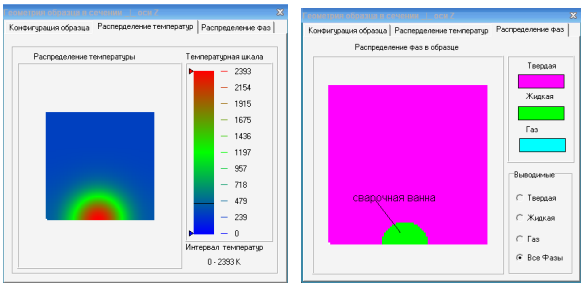


Рис. 1. Главная панель программы



а) б)

Рис. 2. Панель геометрии образца: а – распределение температуры; б – распределение фаз в образце

Контрольные точки расставляются строго посередине образца и в области возле поры для снятия результатов температуры.[8-9] Контрольные точки дают полное представление о том, как распределяется температура в образце с течением времени. На Рис. 3 показано как выглядит панель контрольных точек.

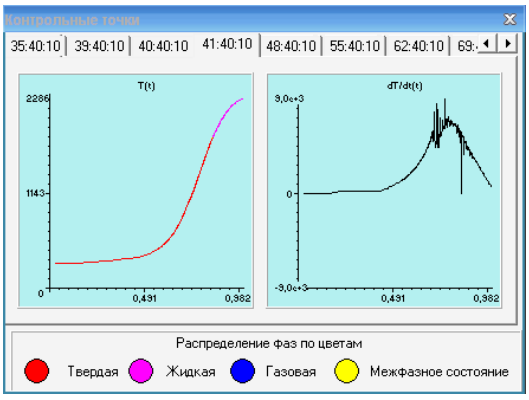


Рис. 3. Панель контрольные точки

Оперируя значениями изменения температуры, можно сделать полный анализ эксперимента.

Анализ результатов и выводы

Исходя из полученных данных можем сделать следующие выводы, что при данных размерах влияние поры на изменение температуры, а следовательно, на какие либо структурные изменения не наблюдается. Анализ при размерах пор еще меньших не нужен, т.к. материал не ощущает на себе ее воздействие.

При больших размерах пор температура в области поры повышается за счет разницы теплопроводности в материале поры и основном материале.

Список литературы

1. Логвинов Р.В., Ерофеев В.А. Компьютерная модель дуги при сварке вольфрамовым электродом // Технология машиностроения, 2006. №9, с. 75-81.
2. Сидякин В.А.. Компьютерная модель температурного поля в пластине при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом // Сварочное производство. 2008г. №10, с. 9
3. Джашитов В.Э., Панкратов В.М., Голиков А.В. Математическое моделирование трех мерных нестационарных температурных полей при электронно-лучевой или лазерной сварке подвижными источниками тепла.// Проблемы машиностроения и надежности машин, 2009. №2. с. 70-78
4. Игнатьева М.А., Кадыров Р.Ф., Мазо А.Б. Расчет температурного поля пластины при электронно-лучевой сварке // Ученые записки Казанск. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2006. Т.148. Кн.4. с. 23-24
5. I.S. Kim, A. Basu, E. Siores Mathematical Models for control of weld bead penetration in the GMAW process// Advanced manufacturing technology 1996. p.393-401.
6. W. Sudnik, D.Radaj, W. Erofeew. Computerized simulation of laser beam welding, modeling and verification// J. Phys. D: Appl. Phys. 29. 1996 p. 2811-2817
7. Никифоров Н.И., Кректулева Р.А. Математическое моделирование технологического процесса кислородной резки//Сварочное производство, 1998. – №4. – С. 3-6
8. Кректулева Р.А., Бежин О.Н., Косяков В.А. Формирование тепловых локализованных структур в сварном шве при импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом // ПМТФ, 1998. – №6. – с. 172-177.
9. Бежин О.Н., Дураков В.Г., Кректулева Р.А. и др. Компьютерное моделирование и микроструктурное исследование градиентных композиционных структур, формирующихся при поверхностной электронно-лучевой обработке углеродистой стали / В сб.: Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных сред: Тр. 2-й международный науч.-техн. конф. – Барнаул, 2001. – с. 22-28

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО РАСЧЕТУ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА

Моисеенко М.О., Морозова О.О., Трепутнева Т.А.

Научный руководитель: Попов О.Н., к.т.н., доцент

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия, г. Томск, Соляная пл., 2
E-mail: onpopov2004@mail.ru

При расчете тонкостенных элементов конструкций применяются модели оболочек, основанные на гипотезах Кирхгофа − Лява [6, 22]. В которой не учитываются деформации поперечного сдвига. Как отмечается в ряде работ [4, 6] это упрощает расчет, но в целом ряде случаев вносится погрешность. Например, по отношению к пакету слоев гипотеза прямых нормалей дает значительную погрешность. Это относится также к оболочкам из композиционных материалов. При расчете тонкостенных элементов конструкций применяются различные теории, учитывающие деформации поперечного сдвига [1, 3, 4, 11, 30-33].

В последнее время внимание ученых было привлечено к проблеме расчета подкрепленных оболочек из композиционных материалов.

Исследованию этих конструкций посвящены работы И.Я. Амиро и В.А. Заруцкого [1, 19-21], Д.И. Аристова [2], Г.И. Беликова [3], В.В. Васильева [4] и А.Л. Лопатина [5], О.А. Грачева и В.И. Игнатюка [9], О.В. Игнатьева [22], В.П. Ильина и В.В. Карпова [23, 24], В.К. Кудрявцева [25, 26], Л.В. Лозы [27], Р.Б. Рикардса и М.В Гольдманиса [29], С.О. Титова[30], Д.С. Филиппова [31] и др.

Построение теории подкрепленных композитных оболочек рассматривается в работах В.В. Васильева и А.Л. Лопатина [4, 5], В.П. Ильина и В.В. Карпова [23, 24], В.К. Кудрявцева [25, 26], Р.Б. Рикардса и М.В Гольдманиса [29]. Уравнения общей теории подкрепленных оболочек, которая учитывает дискретный характер расположения ребер, сформулированы. Рассчитана панель с ортогональной сеткой ребер.

Вопросы устойчивости трансверсально-изотропных ребристых оболочек рассмотрены в работе О.А. Грачева и В.И. Игнатюка [9], где при модуле поперечного сдвига, независимом от модуля Юнга в срединной поверхности, автоматически учитывается трансверсальная изотропия материала. Дается оценка значений критических нагрузок потери устойчивости, полученных автором ранее для сферических ребристых оболочек на основе одночленной аппроксимации и параметров сдвига. Уточнение критических нагрузок, прове-

денное на основе многочленной аппроксимации, сводится к нахождению минимальных корней определителей высоких порядков. Учтено дискретное размещение ребер, несимметричность их расположения относительно обшивки и сдвиговые деформации в обшивке и ребрах, а также деформации изгиба ребер в плоскости, касательной к поверхности обшивки

Влияние деформаций поперечного сдвига на устойчивость и собственные колебания ребристых оболочек исследовано В.Ю. Дорофеевым [11-13], В.А. Заруцким [19-21], В.М. Жгутовым [16-17], В.П. Ильиным и В.В. Карповым [23, 24], Л.В. Лозой [27], О.В. Игнатьевым [22] и др.

В работах Г.И. Беликова [3] и Л.В. Лозы [27] изложены основы уточненной теории упругих сетчатых и подкрепленных оболочек на базе сдвиговой и континуальной расчетной моделей. Проведены исследования краевых задач статики, динамики и устойчивости различных типов оболочек. Рассмотрены задачи рационального проектирования. Дана оценка влияния поперечного сдвига и инерции вращения. При решении задач используются численные и аналитические методы.

Анализ исследований подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига показывает, что в расчетах применяются как континуальные, так и дискретные модели. Развиваясь и совершенствуясь, взаимно дополняя друг друга, модели обеспечивают дальнейшее развитие теории и методов расчета оболочек.

Во многих случаях необходимо знать, как изменяются НДС, частота колебаний или критическая нагрузка при изменении геометрических и физических параметров подкрепленных оболочек. Дальнейшее совершенствование теории расчета подкрепленных оболочек с учетом и без учета поперечного сдвига и разработка эффективных методов их расчета и выбора оптимальных параметров конструкции является актуальным.

В продолжении рассмотренных работ и своих исследований по расчету разномодульных несовершенных ребристых оболочек с учетом физической и геометрической нелинейностей [28] авторы статьи ставят следующие задачи исследований с учетом деформаций поперечного сдвига:

- разработка модели несовершенных разномодульных подкрепленных оболочек с учетом нелинейностей;
- разработка методов исследования, рассматриваемых моделей оболочек;
- исследование НДС и устойчивости рассматриваемых моделей оболочек.

Список литературы

1. Амиро, И.Я. Методы расчета оболочек. Т. 2. Теория ребристых оболочек / И.Я. Амиро, В.А. Заруцкий. – Киев: Наукова думка, 1980. – 368 с.
2. Аристов, Д.И. Алгоритмы исследования устойчивости ребристых цилиндрических оболочек при кратковременных и длительных нагрузках / Дис. на соиск уч. ст. к.т.н. (05.23.17 – Мат. моделир., числ. методы и комплексы прогр.). Санкт-Петербург. 2007 – 138 с.
3. Беликов, Г.И. Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига / Г.И. Беликов / ВолгГАСА. – Волгоград, 2003. – 298 с.
4. Васильев, В.В. Классическая теория пластин – история и современный анализ / В. В. Васильев // Изв. РАН. Мех. тверд. тела. – 1998. – № 3. – С. 46-58.
5. Васильев, В.В. К теории подкрепленных композитных пластин / В.В. Васильев, А.В. Лопатин // Мех. армир. пласт. (Рига), 1983, № 6.– С. 81-89.
6. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир – М.: Наука, 1972. – 432 с.
7. Грачев О.А. Расчет и выбор рациональных параметров ребристых сферических оболочек при внешнем давлении / О.А. Грачев // Исслед по расч. пластин и обол. – Ростов н/Д, 1986. – С. 33-42.
8. Грачев, О.А. Исследование влияния параметров подкрепления на устойчивость ребристых сферических оболочек / О.А. Грачев // Прикл. механика, 1983, 19, № 5. – С. 49-55.
9. Грачев О.А. Об устойчивости трансверсально-изотропных ребристых оболочек вращения / О.А. Грачев, В.И. Игнатюк // Строит. мех. и расчет сооружений. – 1986. № 3. – С. 61-64.
10. Грачев, О.А. Уточнение критических нагрузок трансверсально-изотропных ребристых сферических оболочек на основе уточненной расчетной модели / О.А. Грачев // Соверш. техн. эксплуат. корп. судов : Тез. докл. Всес. НТК, посвящ. 80-летию проф. А.Г. Архангородского, Калининград, окт., 1989. – Л., 1989. – С. 82.
11. Грачев, О.А. Устойчивость трансверсально-изотропных подкрепленных оболочек вращения / О.А. Грачев // Мех. неоднор. Структур: Тез. докл. 3 Всес. Конф., Львов, 17-19 сент., 1991. Ч. 1. Львов, 1991. – С. 89.
12. Дорофеев, В.Ю. Решение задач о колебаниях пологих подкрепленных оболочек в уточненной постановке / В.Ю. Дорофеев. – Рук. Деп в ВИНИТИ 4.07.84. Деп. от № 4837-84Деп. – 43 с.
13. Дорофеев, В.Ю. Уравнения движения пологой подкрепленной оболочки с учетом сдвигов и инерции вращения / В.Ю. Дорофеев // Сб. науч. тр. КТИРПХ: Эксперимент. и числ. Методы оценки прочн. к-ций. – Калининград, 1989. – С. 26-37.
14. Дорофеев, В.Ю. Вынужденные колебания пологих оболочек, подкрепленных ребрами одного направления / В.Ю. Дорофеев // там же. – С. 37-41.
15. Жемчужникова, И.В. Методика расчета на устойчивость ребристых слоистых ортотропных оболочек вращения / И.В. Жемчужникова // Тр. 16 науч. конф. мол. ученых ин-та мех. АН УССР.: Киев, 21-24 мая, 1991. Ч. 1/ Киев,1991. – С. 75-79. Деп. в ВИНИТИ 12.11.91, № 4259-В91.
16. Жгутов, В.М. Математические модели деформирования ортотропных и изотропных ребристых оболочек при учете ползучести материала / В.М. Жгутов // Инж.-строит. ж. – 2009. – № 7. – С. 46-54.
17. Жгутов, В.М. Прочность и устойчивость упругих ортотропных и изотропных ребристых оболочек. I / В.М. Жгутов // Там же. – 2009. – № 7. – С. 55-64.
18. Замула, Г.Н. Расчетно-экспериментальное исследование закритической прочности подкрепленных композитных анелей / Г.Н. Замула, В.П. Фомин, С.О. Джанхотов // Прочн., колеб. и ресурс авиац. к-ций и соор.: Сб. статей (к 75 лет. со дня рожд. И.А. Ляховенко). – М., 2009. – С. 26-37.
19. Заруцкий, В.А. Собственные колебания ребристых цилиндрических оболочек при низкой сдвиговой жесткости материала / В.А. Заруцкий, Н.Я. Прокопенко // Прикл. мех. (Киев). 2005, 41, № 4. – С. 66-74.
20. Заруцкий В.А. О влиянии деформаций поперечного сдвига на устойчивость многослойных ортотропных ребристых цилиндрических оболочек / В.А. Заруцкий, Ю.В. Сюсаренко // Там же. – 1994, 30, № 4. – С. 91-96.

21. Заруцкий В.А. К оценке критических нагрузок потери устойчивости ребристых и сферических оболочек / В.А. Заруцкий, В.Ф., Сивак // Там же. – 1999.– 35, № 9. – С. 47-50.
22. Игнатьев, О.В. Геометрически нелинейные модели оболочек ступенчато-переменной толщины и численные методы их исследования: Дис. …д-ра техн. наук. – Спб. – 2001. – 246 с.
23. Ильин, В.П. Устойчивость ребристых оболочек при больших перемещениях / В.П. Ильин, В.В. Карпов.– Л.:Стройиздат, 1986. –168 с.
24. Карпов, В.В. Основные соотношения и дифференциальные зависимости для гибких пологих оболочек, подкрепленных ортогональной сеткой ребер, с учетом деформации поперечного сдвига. / В.В. Карпов. Рукопись деп. в ВИНИТИ Ленингр. инженерно-строительным институтом. № 4335-82. Деп. 1982. 43 с.
25. Кудрявцев В.К. Устойчивость упругих пологих ребристых оболочек / Математические моделирование, числены методы и комплексы программ: Межвуз. темат. Сб. тр./ СПбГАСУ. – СПб., 2006. –с. 44-48.
26. Кудрявцев В.К. Напряженно-деформированное состояние и устойчивость ребристых пологих оболочек с учетом ползучести материала / Дис.…канд. техн. наук. – Спб. – 2001. – 246 с.
27. Лоза, Л.В. Расчет сетчатых и подкрепленных оболочек вращения с учетом поперечного сдвига: Дис. …канд. техн. наук /ВолгГАСА – Волгоград – 2001. – 150 с.
28. Попов, О.Н. Влияние симметричной общей начальной погиби на напряженно-деформированное состояние и устойчивость пологих цилиндрических оболочек / О.Н. Попов, М.О. Моисеенко, Т.А. Трепутнева // Строит. мех. и расчет сооруж. – 2010, № 4. – С. 34-39.
29. Рикардс, Р.Б. Оптимизация ребристых оболочек из композитов, работающих на устойчивость при внешнем давлении / Р.Б. Рикардс, М.В. Гольдманис // Мех. композитных материалов. – 1980. – № 3. – С. 465-475.
30. Титов, С.О. Критерии устойчивости подкрепленных оболочек для модели типа Тимошенко при действии быстро возрастающих во времени нагрузок // Теор. и прикл. гидродинам. Ч. 2. Киев. 1988. – С. 125-131 / Рук. Деп в УкрНИИНТИ 19.06.88. № 2042-Ук 88.
31. Филиппов, Д.С. Влияние учета поперечных сдвигов на устойчивость ребристых оболочек // Докл. 57-й науч. конф. проф., преп., науч. сотр., инж. и асп. ун-та СПбГАСУ. – Спб., 2000. – Ч. 1. – С. 44-46.
32. Trentin C. Postbuckling performance of stiffened fibre composite panels / Trentin Christian, Alesi Hans, Scott Murray L. // Nat. Conf. Publ. / Inst. Eng., Austral. – 1993. – № 93/6. – [Pt 1]. – P. 81-86.
33. Xiang, Y. Plate vibration with arbitrarily oriented stiffeners based on Mindlin – Engesser formulation / Y. Xiang, S. Kitipornchai, K.M. Liew, M.K. Lim // Res. Rept. / Univ. Queensl. Dep. Civ. Eng. – 1993. – № 143. – P. I-II, 1-30.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОРПУСА

Невзоров И.А., Резанов И.Ю., Кулешов А.Н.

Научный руководитель: Буров В.Г. к.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: nevzorov88@inbox.ru

Сегодня во всем мире активно ведутся разработки не только альтернативных источников энергии, но и разработки способов ее экономии. Обычные лампы накаливания постепенно вытесняются с рынка РФ в пользу энергосберегающих ламп. Среди энергетически эффективных источников света лидером являются светодиодные источники. Эффективность светодиодов в 10 раз превосходит обычные лампы накаливания российского производства и в 4 раза – так называемые компактные люминесцентные лампы. Также срок службы светодиодов составляет ориентировочно 100000 часов, что в разы превышает срок службы обычных и люминесцентных ламп.

Компания ООО «НПК ЭкоЭнергоТех» активно занимается внедрением энергоэффективных осветительных приборов для различных сфер деятельности. Одним из совместных проектов кафедры «Материаловедения в машиностроении» Новосибирского государственного технического университета и ООО «НПК ЭкоЭнергоТех» является создание относительно недорогого светового прибора Астра АС05-220 для бытового использования. В рамках проекта были поставлены следующие задачи:

- спроектировать конструкцию светильника;
- оптимизировать изделие по технологичности;
- создать несколько прототипов;
- разработать технологию мелкосерийного производства корпуса светильника.

При разработке конструкции светильника было необходимо обеспечить высокую теплоотдачу корпуса, рассеивание точечного света диодов, срок службы всех компонентов более 15 лет, низкую цену, а также эстетичность и дизайн продукта.

Была создана трехмерная модель светильника в САПР SolidWorks (рис.1). Габаритные размеры прибора составляют 110х46 мм. С внешней стороны корпуса 1 (рис. 2) располагается печатная плата 3 на алюминиевой основе с 28 светодиодами, мощность каждого из которых составляет около 0.2 Вт. Корпус светильника сделан из алюминия и имеет радиаторные ребра, что обеспечит низкую рабочую температуру прибора, а, следовательно, и длительный срок службы всех его компонентов. Светорассеиватель 2 имеет множество граней на внутренней поверхности, которые будут создавать необходимое рассеивание.

Светодиодная плата и светорассеиватель крепятся к корпусу самонарезающими винтами 5 диаметром 3 мм. Во избежание попадания пыли и влаги под светорассеиватель на корпусе предусмотрена канавка шириной 2 мм для фиксации резинового уплотнительного кольца 4.

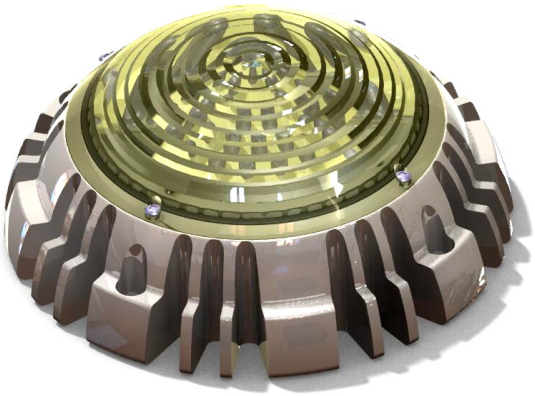


Рис. 1. 3D модель светильника Астра АС05-220

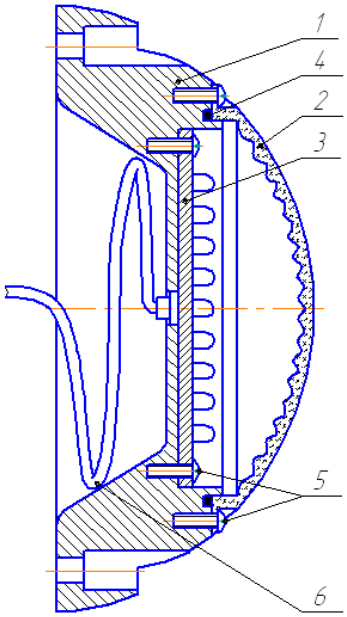


Рис. 2. Конструкция светильника Астра АС05-220

С внутренней стороны светильника создано специальное поднутрение для укладки питающего провода 6 при монтаже светильника. Поднутрение имеет коническую форму, сопряжение с другими поверхностями скруглены, что исключает перетирание провода о кромки корпуса.

Учитывая высокую сложность геометрии корпуса светильника и наличие 12 крепежных отверстий, было принято решение для его производства использовать токарно-фрезерный обрабатывающий центр DMG CTX 310 с системой ЧПУ Siemens. Управляющая программа для обработки детали была написана посредством программного пакета Siemens Sinumerik 840D.

Важной технологической задачей являлось фрезерование ребер охлаждения за минимальное время. Глубина ребра составляет 12 мм, длина 30 мм. При использовании концевой фрезы равной длине ребра невозможно вести обработку на высоких подачах. Создание специального приспособления для базирования заготовки на втором технологическом установе (рис.3) позволило фрезеровать ребра по 15 мм с каждой стороны. Обработка фрезами вдвое меньшей длины сократила время технологического перехода почти в 3 раза за счет увеличения подачи.

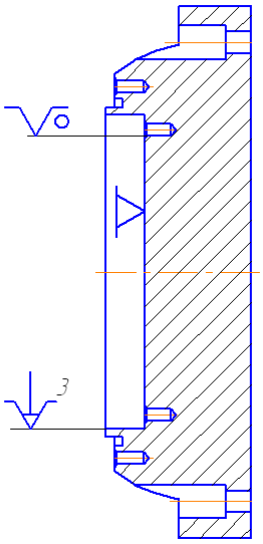


Рис. 3. Схема установки заготовки в приспособлении

Для изготовления детали использовался стандартный прокат из материала Д16Т диаметром 110 мм. На заготовительной операции отрезались диски шириной 45 мм.

На первом технологическом установе обрабатывалась часть наружной фасонной поверхности и внутренняя цилиндрическая поверхность, являющаяся технологической базой на втором установе. Затем при помощи приводного инструмента были получены 12 отверстий, расположенных параллельно оси симметрии на различном расстоянии от нее, и 4 цековки. После этого фрезеровалась канавка шириной 2 мм под герметизирующий материал и ребра охлаждения на половину глубины.



Рис. 4. Корпус. Внешняя сторона



Рис. 5. Корпус. Тыльная сторона

На втором установе дорабатывалась наружная фасонная поверхность, формировались внутренняя коническая поверхность и осевое отверстие. Ребра охлаждения в черновую фрезеровались на оставшуюся глубину, а затем в чистовую на полную глубину, чтобы исправить несовпадение ребер из-за погрешности базирования и улучшить качество поверхности. Оперативное время обработки корпуса светильника (рис. 4, 5) составило 15 мин.

Светорассеиватели из оргстекла для прототипов также были изготовлены на станке DMG CTX 310. Однако для серийного производства целесообразней будет использовать менее дорогостоящую и более производительную технологию литья монолитного поликарбоната.

Таким образом, была разработана конструкция светодиодного светильника с учетом всех предъявляемых требований, оптимизирована ее технологичность, создано 4 прототипа и отработана технология мелкосерийного производства корпуса на станке с ЧПУ. Конечная стоимость светильника Астра АС05-220 составит около 1000 руб.

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Ойнонен А.А., Гришанов А.В.

Научный руководитель: Гришанов В. Н., доцент, к.т.н.

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (Национальный исследовательский университет), 443086 г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: grand_forever@inbox.ru

Лазерные измерительные системы геометрических параметров (ЛИСГП) изделий находят всё более широкое применение во многих отраслях промышленности, особенно в машиностроении. Интерес к этим системам вызван их высокой точностью и производительностью в сочетании с бесконтактным способом производства самих измерений и цифровой формой результатов. С развитием новых информационных CAD/CAM-технологий возрастает актуальность внедрения компьютеризированных систем измерения геометрии в технологических процессах сборки и испытаний. Внедрение ЛИСГП позволит в ряде производственных процессов замкнуть контур обратной связи, т.е. перейти от CAD/CAM-технологий к CAD/CAM/CAMeas-технологиям (measurement – измерение).

ЛИСГП могут функционировать на различных принципах, в реализации которых превалируют те или иные свойства лазерного излучения, обусловленные его когерентностью. Монохроматичность используется для защиты от фонового излучения, направленность, благодаря концентрации энергии, позволяет проводить измерения на протяжённых трассах, пространственная и временная когерентности лежат в основе разнообразных интерференционных схем измерения. Использование коротких и сверхкоротких лазерных импульсов подсветки сводят многие задачи динамических измерений к статическим, устраняя влияние вибраций и смещений объекта. Управление параметрами излучения как в пространственной (структурированные лазерные пучки), так и временной (длительность импульсов, частота электромагнитной волны) способствует дальнейшему расширению спектра дистанционных бесконтактных методов измерения геометрических параметров изделий.

В ЛИСГП проблема идентификаци точек объекта снимается структурированной лазерной подсветкой. Предложены разнообразные структуры лазерных пучков для применения в подобных системах [1]: коллимированный лазерный пучок, лазерная плоскость, крестообразные, конические и

решетчатые структуры. Способы структурированного подсвета, особенно с применением лазера, имеют более простые схемные реализации по сравнению с другими техническими решениями дистанционных бесконтактных измерений. За счет структурированной подсветки с помощью одного двумерного датчика воспринимается и анализируется глубина сцены, т.е. трехмерная информация.

Выбранная система параметров должна гарантировать идентификацию и локализацию возникающих ошибок с помощью имеющихся средств автоматического контроля. Согласование гибкой универсальной технологии контроля с конкретным технологическим процессом и сопряжение контрольно-измерительной аппаратуры с оборудованием автоматизированного производства осуществляются с помощью согласующих устройств и программно-аппаратных решений, ориентированных на специфику данного процесса. Существенное снижение затрат на выполнение операций автоматического контроля может быть обеспечено за счет рационального выбора места этих операций в технологической цепочке, в структуре производственной ячейки или производственного участка. Внедрение оптико-электронных средств контроля возможно без коренной модернизации технологии и с незначительными капитальными затратами.

Ещё одно преимущество измерений на изображениях обусловлено компактностью современных цифровых фото- и телекамер, т.е. источников измерительной информации, Оно состоит в том, что цифровые датчики изображений легко приблизить к измеряемому объекту, в отличие от, например, координатно-измерительных машин, действие которых предполагает размещение измеряемого объекта на их столе. Более того, лазерные нуль-индикаторы отклонения измерительной головки позволяют снизить погрешности измерений самих координатно-измерительных машин.

Диапазон линейных размеров и перемещений, доступных измерению, определяется в первую очередь оптическими системами, формирующими изображение на матричном фотоприемнике. О широте этого диапазона можно судить хотя бы по примерам успешной стыковки телекамер с микроскопом и телескопом, когда изменение масштаба линейных размеров изменяется от долей микрометра до световых лет. У последних поколений инструментальных и металлографических микроскопов даже отсутствует визуальный канал, а орбитальные системы наблюдения вообще не предполагают присутствия оператора.

Преодолеваются и чисто формальные препятствия на пути применения дистанционных бесконтактных измерителей размеров и ориентации, основанных на методах автоматизированной обработки изображений, – недостаточно развитая нормативная база. Здесь попутно с разработкой собственно прибора приходиться создавать и узаконивать методику его аттестационных испытаний, основное содержание которых сводится к сравнению результатов измерений геометрического параметра разработанным прибором и по стандартной, чаще всего, контактной методике. Практика внедрения подобных приборов показывает, что это формальное препятствие вполне преодолимо, т.к. практическая метрология предлагает аттестованные по геометрическим параметрам наборы контрольных образцов [2].

Основные проблемы в практике комплексного применения ЛИСГП, основанных на обработке изображений состоят в оценке их метрологических характеристик с учетом используемых алгоритмов извлечения измерительной информации из изображений и структуры поля излучения, выявлении информационного потенциала пространственной структуры поля зондирующего лазерного пучка и априорной информации о топологических свойствах объекта измерения, в разработке методов экспериментального подтверждения метрологических характеристик и тестирования программного обеспечения.

В области измерений линейных размеров корпусных изделий аэрокосмического назначения с характерной длиной ~ 1…10 м и допустимыми погрешностями 0,01…1 мм (фюзеляж, космические аппараты, разгонные блоки, обтекатели и т.п.) оптимальным сочетанием рабочих дистанций, погрешностей измерений и их производительности в настоящее время обладают лазерные компьтеризированные системы типа FARO Laser Tracker, MV200 и т.п. Они имеют рабочую зону измерений в линейной мере до 100 м, а в угловой: 270^{o} по азимуту и не менее $\pm 50^{o}$ по углу места. Погрешности измерения расстояний на дистанциях ~ 1 м составляют 10 мкм и приблизительно пропорционально увеличиваются до 100 мкм на дистанциях ~ 10 м. Встроенная метеостанция позволяет частично нейтрализовать влияние параметров окружающей среды на результаты измерений. Высокая стоимость ЛИСГП быстро окупается по мере загрузки измерительными задачами за 1–2 года.

В ЛИСГП типа FARO Laser Tracker, MV200 используются триангуляционные, фазово-импульсные или время-импульсные принципы измерения координат. Триангуляционные измерения предполагают прямолинейное распространение света, а фазово-импульсные и время-импульсные ещё и постоянство скорости распространения излучения. Однако в условиях производственных помещений значение вертикального градиента температуры воздушного тракта может достигать 10 К/м [3], что вызывает искривление траектории распространения излучения, а вместе с этим, и погрешности угловых и дальномерных измерений. Поэтому контроль геометрии объектов рассредоточенных в пространстве и находящихся на удалении от устройства контроля и управления,

а излучение оптической головки распространяется в приземном слое открытой атмосферы требует исследования температурных условий в помещениях, где производится контроль изделий, и устранения температурных градиентов.

Кроме того, применение дистанционных бесконтактных методов измерений, основанных на взаимодействии электромагнитного излучения с поверхностью измеряемого изделия, необходимо принимать во внимание как кривизну поверхности [4], так и её оптические свойства [5], учитывая современную тенденцию в работе непосредственно по эксплуатационным поверхностям контролируемых изделий без применения специальных марок и навесных оптических элементов, хотя на нерабочие поверхности контролируемых изделий, например, режущего инструмента полезно нанесение покрытия с высоким коэффициентом отражения.

Таким образом, можно говорить о становлении нового класса измерительной техники, неотъемлемыми компонентами которой являются формирователи цифровых изображений структурированных лазерных пучков, а измеряемые параметры получаются в результате их обработки со специфическими проблемами ее проектирования. Процесс становления связан с преодолением многочисленных противоречий методологического, метрологического и технического характера, например, тенденции к повышению пространственного разрешения, т.е. к снижению погрешностей координатных измерений, и быстродействия. К сожалению, чисто механическое увеличение числа элементов матричного фотоприемника неизбежно увеличивает поток обрабатываемой информации, тем самым снижая быстродействие. Разрешение указанного противоречия достигается использованием алгоритмов субэлементного разрешения, априорных знаний об измеряемом объекте и переходом от обработки площадей к обработке контуров, т.е. к снижению размерности задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катыс Г.П. Обработка визуальной информации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Бабаджанов Л. С., Бабаджанова М. Л. Метрологическое обеспечение измерений геометрических параметров изделий методами неразрушающего контроля. //Измерит. техн., 2010. – № 11. – С. 22 – 24.
3. Араканцев К. Г., Тимофеев А. Н. Физическое моделирование двухволнового метода измерений в авторефлексионной оптико-электронной системе контроля смещений. //Оптич. журнал, 2009. – № 1. – С. 9 – 12.
4. Вертопрахов В.В. Влияние формы объекта и ориентации его поверхности на точность лазерных триангуляционных измерений. //Автометрия. – 1995. – № 6. – С. 64 – 68.
5. Минаев В. Л., Лощилов К. Е. Влияние эффекта изменения фазы отражённой волны на измерения формы поверхности в оптической профилометрии. //Измерит. техн., 2010. – № 7. – С. 36 – 38.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА АРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Орешков В.М. , Опарин А.В, Вальтер А.В.

Научный руководитель: Вальтер А.В., ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Россия, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: avwalter@rambler.ru

В работах [1-2] представлен способ формообразования изделий путем послойного лазерного синтеза армированных объемных изделий (ПСАОИ). Идея ПСАОИ заключается в том, что объем изделия не образующий форму (внутренний) должен быть получен высокопроизводительными субтрактивными технологиями (обработка резанием), а объем, образующий форму (выходящий на границы), должен добавляться к внутреннему при помощи послойного синтеза. Такой подход направлен в первую очередь на повышение производительности и энергоэффективности изготовления изделий сложной формы при сохранении преимуществ послойного синтеза.

Производительность процесса послойного синтеза есть объем получаемого изделия в единицу времени. Поскольку одно из отличий технологии послойного лазерного синтеза армированных объемных изделий от традиционного селективного лазерного спекания заключается в уменьшении послойно формируемого объема, то сокращение затрат времени можно определить как:

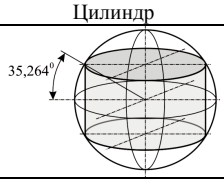
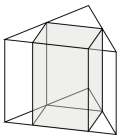
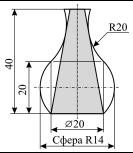
$$\Delta t = \left(1 - k_Q \frac{\Phi_L}{\Phi_\Sigma}\right) \cdot 100\%;$$

где Φ_L – послойно формируемый объем изделия, см^3; Φ_Σ – общий объем изделия, см^3; k_Q – коэффициент относительной объемной производительности ПСАОИ и прототипа. В качестве прототипа

при сравнении используется наиболее технически близкий к ПСАОИ способ селективного лазерного спекания.

Сокращение послойно формируемого объема зависит от формы изделия и формы выбранного армирующего элемента. Сокращение затрат времени можно оценить через соотношение объема изделия и объема наибольшего вписанного в него элементарного тела, такого как цилиндр, конус, куб, параллелепипед. В табл. 1 приведены величины сокращения послойно формируемого объема для некоторых тел.

Таблица 1. Величины сокращения послойно формируемого объема для некоторых тел

Форма изделия	Шар	Призма с треугольником в основании	Тело вращения
Форма вписанного тела	Цилиндр	Параллелепипед	Конус вращения
Изображение			
$\frac{\Phi_L}{\Phi_\Sigma}\cdot 100\%$	58%	50%	45%

На основании проведенных исследований [2, 3] были определены максимальные значения объемной производительности формирования слоев. Результаты расчетов в сравнении с аналогичными характеристиками установок СЛС компании «3D Systems, Inc.», предназначенных для изготовления полимерных изделий, приведены на рис. 1.

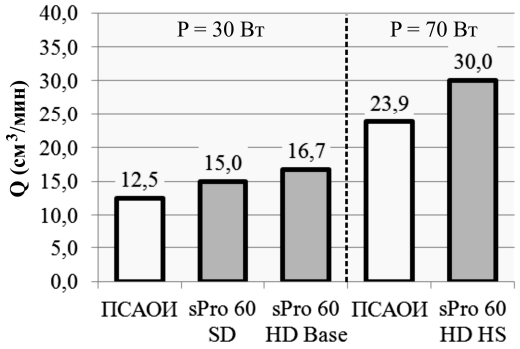


Рис. 1. Максимальные значения объемной производительности формирования слоев

Сравнительная оценка затрат времени на изготовление изделий трех тестовых форм (шар, призма и тело вращения) посредством ПСАОИ и существующих установок СЛС приведена на рис. 2. Оценка показывает, что сокращение послойно формируемого объема изделия в технологии ПСАОИ позволяет добиться снижения затрат времени на формирование тестовых изделий порядка 23÷46%.

Оценка энергоемкости ПСАОИ производилось с точки зрения затрат энергии на лазерное излучение, требуемых для формирования единицы объема изделия. Была произведена оценка удельной энергоемкости E (Дж/см^3) синтеза для различных способов формирования изделий (рис. 3). Сокращение энергоемкости при изготовлении изделий ПСАОИ в сравнении СЛС из-за уменьшения послойно формируемого объема составляет 22÷46%.

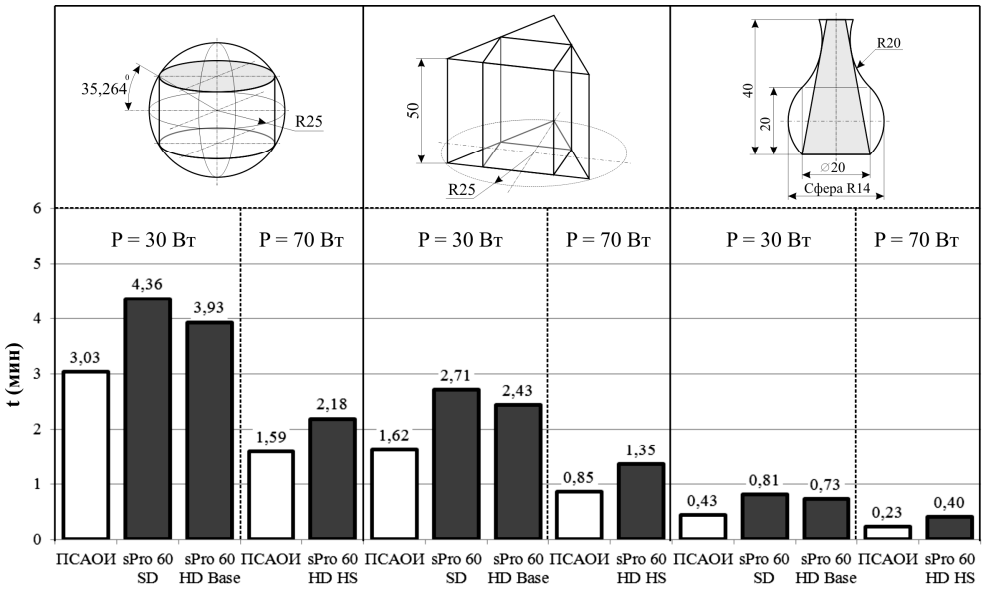


Рис. 2. Сравнительная оценка затрат времени для различных изделий

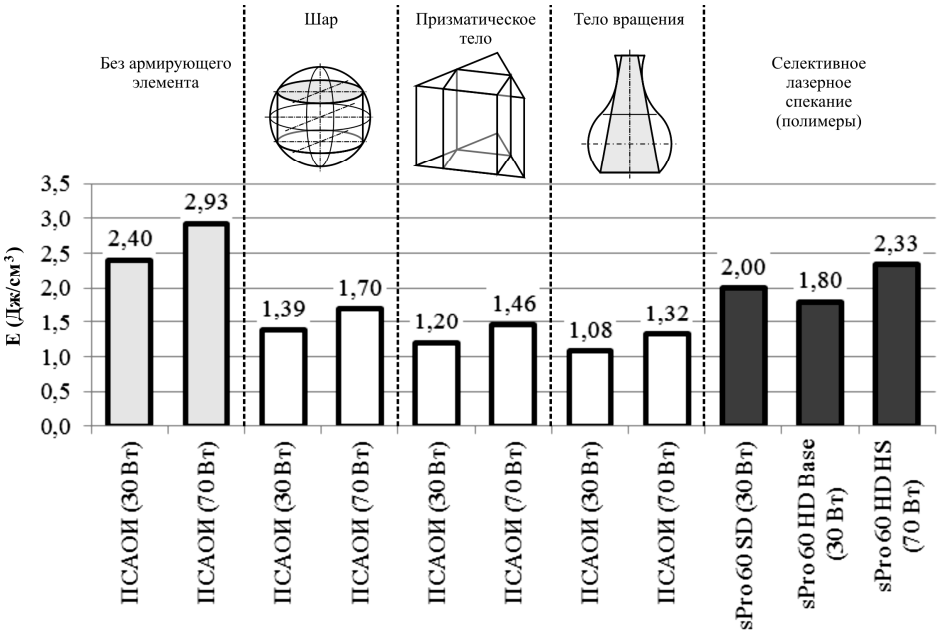


Рис. 3. Оценка удельной энергоемкости для различных способов формирования изделий

Таким образом, проведенные исследования показали существенное повышение производительности и энергоэффективности изготовления изделий предложенным способом в сравнении с прототипом.

Список литературы

1. Вальтер А.В., Орешков В.М., Опарин А.В. Способ послойного изготовления армированных объемных изделий // Заявка № 2010151804(074824) на выдачу патента РФ на изобретение.
2. Вальтер А.В., Петрушин С.И. Формообразование армированных изделий послойным синтезом // Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Издательство Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 39-42.
3. Вальтер А.В. Исследование бездефектности слоев полимерсодержащей суспензии, полученных лазерным спеканием // Современные проблемы машиностроения: труды V Международной научно-технической конференции; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 535 – 539.

АНАЛИЗ CAD-СИСТЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА СВЕТОДИОДОВ

Петухова Е.В., Яковлев А.Н.

Научный руководитель: Яковлев А.Н. к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: katcha@sibmail.com

В настоящее время в России производство световых приборов на основе светодиодов получило значительный импульс развития в связи с программой модернизации экономики и внедрения ресурсоэффективных технологий, как в промышленности, так и в жилищно-коммунальной сфере. Существующие предприятия по производству светодиодов и светильников на их основе затратны, что приводит к завышенной себестоимости светодиодных изделий. Оптимизация затрат возможна при условии создания автоматизированного предприятия по выпуску светодиодной продукции. Автоматизация повысит эффективность производства, конкурентоспособность выпускаемой продукции и сократит материальные затраты.

Для создания автоматизированного предприятия необходимо решить следующие задачи. Во-первых, необходимо сформировать автоматическое детальное оптимизированное производственное расписание работ, операции для станков, оборудования, персонала, а также сформировать всю необходимую для осуществления работ документацию – производственные программы, наряды, таблицы и диаграммы загрузки оборудования и др. Во-вторых, осуществить полное диспетчирование всех операций и их результатов (как положительных, так и отрицательных – брака, задер-

жек и др.), потока изготавливаемых деталей по операциям, заказам, партиям, сериям, работоспособности оборудования и др. В-третьих, при выявлении отклонений от запланированных программ в силу объективно сложившейся ситуации на производстве, и в случае появления новой внешней потребности (заказов и др.), должно производиться оперативное перепланирование с корректировкой всех составляющих производственного цикла.

Так как данное предприятие нацелено на производство светодиодов, значит основным процессом, на котором держится бизнес, является создание и выпуск светодиодной продукции. От эффективности организации производственных процессов зависит себестоимость продукции, а значит и ее рыночная конкурентоспособность. Все остальные отделы на производственном предприятии – сбыта, маркетинга, финансовый, управленческий и т.д. – существуют по большому счету только потому, что есть для чего закупать комплектующие. Таким образом, необходимо автоматизировать производственный цикл, а далее все остальные структуры предприятия.

В качестве CAD-систем рассмотрены два программных комплекса – T-FLEX и SolidWorks. Выбор этих программ обусловлен их необычайной популярностью на российском рынке.

SolidWorks. Программный комплекс SolidWorks – это система автоматизации проектных работ (САПР) в трёх измерениях, работает под управлением Microsoft Windows. Разработана компанией SolidWorks Corporation в качестве альтернативы двухмерным САПР. Приобрела популярность благодаря простому интерфейсу пользователя. Система работает на основе геометрического ядра Parasolid. Главная задача программы – предоставить пользователю мощность трёхмерной САПР системы по цене системы двухмерного САПР. SolidWorks предназначен для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения. Специализированные модули программного комплекса решают задачи на этапе производства и эксплуатации.

Решаемые задачи на этапе конструкторской подготовки производства (КПП):

1) 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учетом специфики изготовления (базовые конфигурации SolidWorks).

2) Создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ (базовые конфигурации SolidWorks, DWGeditor, SWR-Спецификация).

3) Дизайн (базовые конфигурации SolidWorks).

4) Реверсивный инжиниринг (SolidWorks Premium).

5) Проектирование коммуникаций (электрожгуты и объемный монтаж – SolidWorks Premium, SWR-Электрика; трубопроводы – SolidWorks Premium, SolidWorks Routing).

6) Инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, линейное и нелинейное приближение – SolidWorks Simulation; динамика механизмов – SolidWorks Motion; газо/гидродинамика – SolidWorks Flow Simulation; оптика и светотехника – OptisWorks).

7) Анализ размерных цепей (SolidWorks Premium, CETOL 6σ).

8) Подготовка данных для ИЭТР (базовые конфигурации SolidWorks, 3DVIA).

9) Управление данными и процессами на этапе КПП (SWE-PDM).

Решаемые задачи на этапе технологической подготовки производства (ТПП):

1) Анализ технологичности конструкции изделия (базовые конфигурации SolidWorks, DFMXpress/DFMProfessional).

2) Анализ технологичности процессов изготовления (литье пластмасс – SimpoeWorks, анализ процессов штамповки – BlankWorks/FastForm).

3) Разработка технологических процессов по ЕСТД, включая материальное и трудовое нормирование (SWR-Технология).

4) Проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения (базовые конфигурации SolidWorks, MoldWorks, ElectrodeWorks, Logopress и др.).

5) Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ (фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка – CAMWorks; лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы – cncKad; координатно-измерительные машины – CMMWorks).

6) Управление данными и процессами на этапе ТПП (SWE-PDM)[1].

T-FLEX. «T-FLEX CAD» – система автоматизированного проектирования, разработанная компанией «Топ Системы» с возможностями параметрического моделирования и наличием средств оформления конструкторской документации согласно системе стандартов ЕСКД. Система работает на основе геометрического ядра Parasolid. «T-FLEX CAD» является ядром комплекса «T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM» – набора средств для решения задач технической подготовки производства в различных отраслях промышленности. Комплекс объединяет системы для конструкторского и технологического проектирования, модули подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и инженерных расчётов. Все программы комплекса функционируют на единой информационной платформе системы технического документооборота и ведения состава изделий [2].

Решаемые задачи на этапе конструкторской подготовки производства (КПП):

1) трёхмерное параметрическое твердотельное моделирование («T-FLEX CAD 3D»)

2) параметрическое черчение и моделирование («T-FLEX CAD 2D»)

3) автоматизация черчения «» (T-FLEX CAD LT)

4) подготовка чертежей по 3D-моделям («T-FLEX CAD 3D SE»)

Решаемые задачи на этапе технологической подготовки производства (ТПП):

1) проектирование технологических процессов («T-FLEX Технология»)

2) техническое нормирование («T-FLEX Нормирование»)

3) подготовка программ для станков с ЧПУ («T-FLEX ЧПУ»)

4) имитация процесса обработки деталей («T-FLEX NC Tracer»)

5) конечно-элементный анализ («T-FLEX Анализ»)

6) динамический анализ механических систем («T-FLEX Динамика»)

7) зубчатые передачи («T-FLEX Расчёты»)

8) конструирование упругих элементов («T-FLEX Пружины»)

9) оптимизация раскроя листового материала («T-FLEX Раскрой»)

10) проектирование оснастки штампов («T-FLEX Штампы»)

11) проектирование оснастки пресс-форм («T-FLEX Пресс-формы»)

Анализ программных продуктов. Сравнивая T-FLEX CAD с SolidWorks можно, безусловно, обнаружить различия – в интерфейсе, в средствах параметризации, в структуре команд и т.д. Однако, по сути, эти системы принадлежат одному классу и ориентированы на решение схожих задач. В принципе, и функциональность, которая во многом определяется общим для всех систем ядром Parasolid, во многом совпадает.

По стоимости различия между T-FLEX и SolidWorks гораздо очевидней. T-FLEX обойдется примерно в четыре раза дешевле. К этому стоит приплюсовать бесплатные техническую поддержку и текущие обновления, а также полную поддержку русского языка и российских стандартов. Однако по производительности бесспорным лидером является SolidWorks, работающий в 3-5 раз быстрее своего российского аналога. Также SolidWorks несомненно выигрывает и в функциональном сравнении, рассматривая такие программы как OptisWorks, SWR-электрика, CircuitWorks, можно говорить о высоком уровне программного продукта, не сравнимом с T-FLEX.

Обе системы в своем составе содержат необходимый программный комплекс, чтобы решать задачи связанные с организацией документооборота, управлением инженерными данными, маршрутизацией документов, созданием различных отчетов, интеграцией с АСУТП, MRP/ERP-системами.

Программный комплекс T-FLEX менее предпочтителен для организации автоматизированного производства, так как отечественный производитель на рынке высокотехнологичного машиностроительного оборудования неконкурентоспособен, а станки и оборудование зарубежных компаний поступают уже настроенные на комплексы SolidWorks.

Решение по выбору программного продукта должно быть комплексным – по возможности использовать и SolidWorks и T-FLEX.

Список литературы

1. http://www.solidworks.ru
2. http://www.tflex.ru/

АНАЛИЗ СИСТЕМ МЕТОДОВ МАРКИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Провоторов А.В.

Научный руководитель: Орлов А.А.

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета,
602212 г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: GothicAlex@mail.ru.

Маркировка сегодня является неотъемлемой частью производства. Информация, наносимая на продукцию, служит для ее индивидуализации и идентификации, а также может содержать различного рода дополнительные сведения. Основными целями использования маркировки является идентификация, контроль потока объектов, сортировка, автоматизированная обработка, определение степени опасности. Перечисленные цели могут быть взаимосвязаны, например, для контроля потока объектов необходимо идентифицировать в нем каждый объект. Автоматизированная технология идентификации, основанная на маркировке, обеспечивает точность, экономию средств, возможность трассировки и наличие информации, необходимой для управления процессом производства.

В настоящее время на ОАО «Выксунский металлургический завод» (далее ОАО «ВМЗ») существует задача разработки и внедрения технологии маркировки, обеспечивающей достоверную и оперативной идентификацию объекта в потоке при наличии помех, механических повреждений, загрязнений и произвольном расположении идентифицируемого объекта (в частности трубопроводного изделия).

Целью работы является определение метода маркировки и разработка технологии (методики) и системы достоверной и оперативной идентификации трубопроводной продукции в условиях производства на ОАО «ВМЗ».

1. Анализ методов маркировки промышленных изделий

Опыт мировой и в частности российской промышленности показывает, что в настоящее время наиболее востребованными и часто используемыми методами маркировки изделий являются следующие методы.

- Метод ударно-точечной гравировки иглой.
- Лазерная маркировка.
- Электрохимическая маркировка.
- Каплеструйная маркировка.

Каждый из описанных методов имеет как свои преимущества, так и недостатки. Для их сравнения необходимо выделить основные характеристики, которые качественно оценивают данный метод и имеют большое значение в рамках промышленного производства.

- Высокая стойкость нанесения.
- Прослеживаемость.
- Высокая скорость нанесения.
- Низкая стоимость.
- Низкое потребление расходных материалов.
- Отсутствие повреждений на поверхности после маркировки.
- Виды маркируемых поверхностей.
- Высокое качество нанесения.
- Поддержка нескольких цветов нанесения.

Из проведенного системного анализа вытекают следующие выводы. Рассмотренные методы могут быть использованы для внедрения на производстве системы автоматического отслеживания деталей, благодаря высокой стойкости, прослеживаемости и качеству нанесения. Наиболее полно этим критериям соответствует метод лазерной маркировки. Методы электрохимической и каплеструйной маркировки уступают в стойкости нанесенных обозначений, а метод ударно-точечной маркировки не гарантирует высокого качества нанесения. Метод каплеструной маркировки в отличие от остальных поддерживает несколько цветов нанесения обозначений, что повышает степень распознаваемости изделий.

Исходя из потребностей ОАО «ВМЗ» по идентификации трубопроводной продукции наиболее оптимальным методом маркировки является метод каплеструйной маркировки с использованием штрих-кода, наиболее соответствующий предъявленным требованиям.

В выбранном методе в качестве распознаваемого элемента используется штрих-код или штриховой код.

2. Виды штриховых кодов и их анализ

Штриховой код – знак, предназначенный для автоматизированных идентификации и учета информации о товаре, закодированной в виде цифр и штрихов.

Проведем обзор наиболее популярных типов штрих-кодов для оценки их применимости в условиях рассматриваемого производства:

Штрих-код EAN / UPC. Каждому продукту назначается уникальный 13 цифровой номер, или 8 цифровой номер для небольших по размерам товаров, например, пачки сигарет.

Штрих-код Interleaved 2 of 5 (ITF). Это высокоплотный, с изменяемой длиной, только цифровой штрих-код. Его обычно применяют в транспортировке и дистрибьюции товаров, где требуются очень большие номера и уникально обозначенные упаковки.

Штрих-код Codabar. Это один из наиболее безопасных кодов и часто применяется для маркировки образцов крови и т. д. Имеет изменяющуюся длину.

Штрих-код Code 39. Один из первых разработанных для нанесения штрих-кодов, наиболее часто используется в розничной торговле. 44 симовола могут быть закодированы, включая числа и все прописные буквы.

Штрих-код Code 128. Это высокоплотный буквенно-цифровой код, который использует полный набор символов из 128 ASCII. Он подразделяется на три комплекта символов, A, B и C. Используемый только в цифровой форме (Комплект C), штрих код чрезвычайно компактный.

Двухразмерные 2d-коды (штрих-коды). Многие 2d-коды были разработаны в первую очередь для того, чтобы упаковать больше закодированных данных на ту же площадь, которую занимает одноразмерный штрих-код. Один из наиболее популярных PDF417, может вместить 2000-2003 символов на место, занимаемое одноразмерным штрих-кодом, содержащим 20 символов.

Результатом проведенного анализа является определение подходящего типа штрих-кода для его нанесении на изделие при использовании метода каплеструйной маркировки. Наиболее оптимальным для рассматриваемого производства является штрих-код EAN / UPC. Это универсальный код, признанный стандартом в Европе и Америке.

3. Разработка методики автоматической идентификации изделий

Рассмотрим основные элементы систем автоматизированной идентификации изделий на предприятиях. В общем виде можно выделить следующие элементы.

1. Изделие с нанесенным штрих-кодом.
2. Сканер – устройство позволяющее считать штрих-код. Таким устройством также может быть видео-камера.
3. Система распознавания изображения штрих-кода.
4. Монитор – устройство для отображения информации в процессе идентификации.
5. База данных – локальное хранилище полученных данных.

Особенности рассматриваемого производства, а именно неровная форма изделий, предполагает внесение изменений в технологию идентификации, которая предусматривает нанесение штрих-кода на ровное неподвижное изделие, которое затем регистрирует сканирующие устройство.

В частности трубопроводные изделия имеют круглую форму, что затрудняет транспортировку в неподвижном состоянии. Возможны перекаты с последующим изменением положения нанесенного штрих-кода, что делает затруднительным или невозможным считывание информации.

Предложенная методика основана на следующем. Выходом из данной ситуации, является нанесение штрих-кода в двух местах на диагонально противоположных сторонах изделия. Для повышения вероятности успешной идентификации также следует увеличить размеры штрих-кода и установить дополнительный сканер на этапе считывания. Дополнительный сканер необходимо установить перпендикулярно расположению первого. Это обеспечит наибольшее покрытие поверхности детали. Общая схема процесса идентификации изделия с внесенными изменениями показана на рис. 1.

Все данные подходы обеспечивают достоверную и оперативную идентификации рассматриваемой продукции при наличии помех, механических повреждений, загрязнений и произвольного расположения объекта в потоке производства.

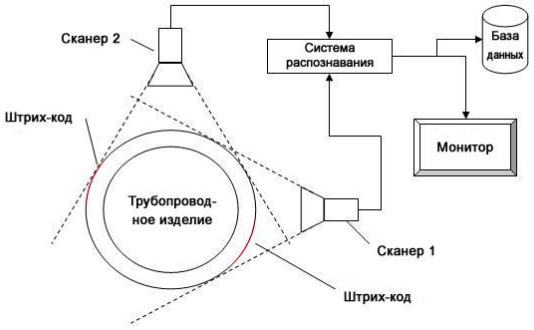


Рис. 1. Общая схема системы автоматической идентификации изделий

Заключение

В ходе проведенного исследования были рассмотрены и проанализированы технологии маркировки. Для осуществления поставленной задачи на рассматриваемом предприятии выбрана технология каплеструйной маркировки с использованием штрих-кода.

Выполнен анализ методов штрих-кодирования промышленных изделий по выбранным характеристикам. Анализ дал возможность выбрать оптимальный метод штрих-кодирования, позволяющий эффективно проводить идентификацию изделий в рассматриваемых условиях производства – это штрих-код стандарта EAN / UPC.

Выделенные методы скорректированы для установленных условий производства для получения наибольшей эффективности от внедрения системы автоматической идентификации изделий. Разработана методика, осуществляющая достоверную и оперативную идентификацию трубопроводной продукции в условиях производства на ОАО «ВМЗ».

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕНОСНОГО ЭЛЕКТРОПЕРФОРАТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ШАХТОВЫХ УСЛОВИЯХ КУЗБАССА

Прохоренко Н.Э.

Научные руководители: Понкрашкин Р.А., зав. кафедрой; Пудов Е.Ю., преподаватель

Филиал ГУ «Кузбасский государственный технический университет» в г. Прокопьевске
653033, Россия, г. Прокопьевск, ул. Ноградсткая, 19А
E-mail: nikita.prohorencko@yandex.ru

На территории Кемеровской области находится значительное количество угледобывающих предприятий, весомая часть добычи угля на которых ведется подземным способом. На шахтах области при ведении буро-взрывных работ (БВР) используются два типа перфораторов, такие как пневмо- и гидроперфораторы.

Одним из основных недостатков гидро- и пневмоперфораторов является их габаритнось, большая масса, а так же необходимость в проведении гидро- и пневматических коммуникаций при ведении работ. Все это создает определенные сложности в осуществлении рабочих процессов в подземных условиях.

В качестве альтернативного варианта для решения возникшей проблемы может послужить прототип электрического перфоратора, созданного для эксплуатации в шахтовых условиях. Несмотря на большое разнообразие электроперфораторов, специализированных на их эксплуатацию в строительстве, на горно-добывающих предприятиях Кузбасса их применение пока не имеет места.

Над практическим осуществлением идеи создания электроперфораторов для шахтовых условий в Советском Союзе упорно работала группа исследователей и конструкторов под руководством П.М. Алабужева. После многих попыток создания работоспособного электроперфоратора на базе известной идеи использования соленоида, в начале 80-х годов разработана и испытана в производственных условиях перспективная модель машины. Конструктивно перфоратор включал ударный и вращательный узлы. Ударный узел состоял из корпуса, катушек прямого и обратного хода, разделенных радиаторами системы охлаждения. В направляющей трубе боек совершал возвратно-поступательные движения, нанося удары по хвостовику и при обратном ходе – по амортизатору. Вода после охлаждения системы шла на промывку в шпур по каналу боковой промывки. С целью сокращения длины машины её ударный и вращательный узлы располагались параллельно друг другу. Катушка соленоида прямого хода после её включения и нанесения удара по хвостовику бура автоматически отключалась и включалась катушка соленоида обратного хода, при котором боек наносил удар по амортизатору, перемещая его и сжимая воздух в надпоршневой полости. В результате боек начинал двигаться, включалась катушка соленоида прямого хода, и наносился очередной удар по буру. В качестве привода в узле вращения применен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. При бурении электроперфоратором шпуров диаметром 43 мм в граните чистая скорость бурения составляла 1284 мм/мин, а к.п.д. ударного узла определялся 0,38, что сопоставимо с бурением гидроперфоратором. Но технические характеристики ударного электрического перфоратора данного конструктивного исполнения не подходили для его использования рабочим ручным способом – масса машины составляла около 160 кг. Также как и при бурении ГП при использовании электроперфоратора отсутствовал водо-масляный туман в забое, снизился уровень шума. За счет подачи в шпур подогретой и намагниченной воды повышался эффект пылеподавления при бурении. Электроперфоратором бурили также скважины длиной от 6 до 15 м диаметром 40, 45, 60 и 65 мм в микрокварцитах с коэффициентом крепости от 14 до 18. При бурении скважин длиной до 10 м и диаметром 60 мм чистая скорость бурения изменялась от 270 до 436 мм/мин, а при бурении шпуров длиной до 3 м и диаметром 45 мм скорость бурения составляла 679 мм/мин. Результаты опытов сравнивались с результатами бурения в этих же условиях пневматическим перфоратором ПК-75 с энергией удара 150 Дж. Чистая скорость бурения электроперфоратором во всех случаях была намного выше, в среднем – на 38%.Отмечается, что в электроперфораторе форма ударной волны аналогична форме ударной волны в гидроперфораторе, снизилась пиковая энергия удара и увеличилась длительность ударного импульса.

Проблема в создании электроперфоратора для шахт заключается в обеспечении взрывозащиты. Как известно, шахта является одним из самых опасных производственных объектов за счет возможности присутствия в рабочей зоне газа (метана), и образованной в результате ведения рабочего процесса взрывоопасной угольной пыли.

Возможность применения электроперфораторов в шахтовых условиях позволит получить ряд

преимуществ, среди которых можно выделить основные:

• более легкое конструктивное исполнение при аналогичных эксплуатационных характеристиках;

• отсутствие необходимости в проведении разного рода коммуникаций, за исключением электропровода.

Перечисленные преимущества способствуют более быстрому, маневренному и качественному проведению подготовительных работ.

Основой для решения поставленной задачи может послужить взаимствование используемых способов взрывозащиты от эксплуатируемых в подземных условиях различного вида перфораторов, а так же электросверел.

В качестве сравнения в табл. 1 представлены массо-габаритные и эксплуатационные характеристики пневмоперфоратора ПП54ВБ (рис. 1) и электроперфоратора AEG PN 11E (рис. 2).



Рис. 1



Рис. 2

По предварительным расчетам, преобразование конструктивного исполнения данной модели строительного электроперфоратора под условия горного производства в соответствии со всеми необходимыми требованиями увеличит его эксплуатационную массу с 11,8 до 16-18 кг, что, тем не менее, является меньше эксплуатационной массы перфоратора ПП54ВБ.

На производстве часто возникает задача по выполнению мобильных работ и работ незначительного объема на маломощных пластах. В этом случае использование перспективного исполнения электроперфоратора для подземных горных работ является наиболее рациональным, удобным и приемлемым.

Мнения специалистов и экспертов угледобывающих предприятий сходятся на мысли о необходимости по разработке и внедрению портативного ручного электроперфоратора с техническими характеристиками, удовлетворяющими потребностям угольных предприятий Кемеровской области.

Таблица 1

Сравнение ПП54ВБ и AEG PN 11E

п/п сравнения	Пневматический перфоратор ПП54ВБ	Электрический перфоратор AEG PN 11E
Эксплуатационная масса, кг	31,5	11,8 (до преобразований) 16-18 (после преобразований)
Стоимость, руб.	25000 (стоимость обязательного дополнительного оборудования 10000-15000)	24580 (стоимость переоснащения 10000-12000)
Страна-производитель	Россия	Германия
Примечания.	Используется преимущественно с применением пневматической поддержки	(Возможна работа как в режиме сверла, так и перфоратора)
Энергия удара, Дж	55,5	27
Крутящий момент, Н*м	29,43	–
Количество ударов, у/мин	2400	Варьируемая до 2000

Имеющиеся данные по угольным шахтам Кузбасса и проводимым тематическим выставкам указывают на актуальность и необходимость в данный момент времени проведения научно-исследовательских работ по предложенному направлению.

Список литературы

1. Сафохин М.С., Александров Б.А., Нестеров В.И. Горные машины и оборудование: учебник для вузов. – М.: Недра, 1995.
2. Яцких В.Г., Спектор Л.А., Кучерявый А.Г. Горные машины и комплексы. М..: Недра, 1984.
3. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. М.: Недра, 1990.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМОЙ ЭКСКАВАТОРА И РАЦИОНАЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ КОВША

Пудов Е.Ю.

Руководитель: Хорешок А.А. – д.т.н., профессор

Филиал ГУ «Кузбасский государственный технический университет» в г. Прокопьевске, 653033, Россия, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19А
E-mail: pudov_evgen@mail.ru

На расчет наиболее приемлемых значений конструктивных параметров исполнительного органа экскаватора могут повлиять не только его собственные геометрические характеристики и особенности конструктивного исполнения, но так же и передающие ему усилия звенья кинематической цепи рабочего оборудования. В совокупности значения конструктивных параметров кинематической схемы рабочего оборудования экскаватора могут в значительной степени повлиять на распределение нагрузок в элементах ковша. Для экскаватора с рабочим оборудованием «обратная лопата» основными звеньями подобной схемы, способными повлиять на искомые параметры, являются стрела и рукоять.

В качестве конструктивного параметра, определение характеристик которого в данной задаче будет зависеть от особенностей кинематической схемы, будет принят угол внедрения передней кромки в грунт при различных возможных движениях рабочего оборудования при ведении экскавационных работ. Искомый параметр следует привязывать при расчетах к конструкции ковша, как к звену кинематической схемы. Принимаемые при действительных расчетах схемы учитывают только кинематическую связь основных конструктивных элементов рабочего оборудования без влияния на них силового оборудования и движителей. Это обусловлено целью поставленной задачи, основной смысл которой заключается в определении оптимальных значений конструктивных параметров исполнительного органа и грунторазрушающих элементов, направленном на повышение надежности их конструктивного исполнения.

Для рассматриваемой схемы рабочей области экскаватора кинематическая цепь может быть представлена следующим образом, как показано на рис. 1. На рисунке в качестве первого звена приведена стрела и ее система координат в основном шарнире, второго звена – рукоять с системой координат в шарнире присоединения к стреле, третьего звена – ковш с системой координат в шарнире присоединения к рукояти. По умолчанию для рабочего оборудования и звеньев его кинематической схемы существуют граничные положения, определяющие рабочую область. Для дальнейших расчетов понадобятся положения, характеризующие максимальное распрямление звеньев. Это необходимо для более наглядного объяснения и интерпретации решений. При определении дальнейших расчетных схем будем руководствоваться упрощенными изображениями элементов, в том числе и ковша, который изобразим в виде кинематического звена, характеризуемого отрезком, определенным между шарниром присоединения ковша к рукояти и торцом передней кромки (см. рис 2).

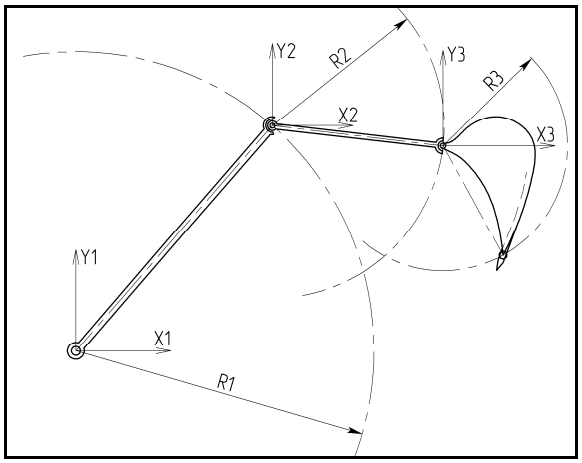


Рис. 1. Кинематическая цепь рабочего оборудования экскаватора

Было выявлено, что минимальные напряжения в конструктивных элементах исполнительного органа соответствуют сонаправленному относительно вектора прикладываемой нагрузки расположению передней кромки и грунторазрушающих элементов. В связи с этим необходимо руководствоваться тем, чтобы в расчетных схемах определять параметр, характеризующий угол расположения передней кромки относительно конструкции ковша с учетом выявления возможных рабочих движений, обусловленных кинематической схемой и ее параметрами.

Искомым параметром будет являться угол γ, а точнее – интервал возможных значений этого угла. Угол γ – это угол между осью-определителем ковша, как кинематического звена, и осью передней кромки (грунторазрушающих элементов). В то же время этот угол характеризует и отклонение от оси-определителя направления прикладываемой нагрузки. Таким образом, выявив

интервал возможных значений угла γ для вектора нагрузок, будет определено необходимое конструктивное расположение передней кромки, обуславливающего наименьшие возникающие напряжения в элементах конструкции ковша.

В приводимых далее расчетах будут рассмотрены схемы рабочих движений исполнительного органа с учетом возможных вращений кинематических звеньев цепи. Это обусловлено возможностью таки образом определить максимальную и минимальную амплитуду движения ковша, что необходимо для выявления интервала значений параметра γ, то есть γ_{max} и γ_{min}.

Следует отметить, что возможность регулирования оператором экскавационной техники положения ковша не влияет на специфику расчета интервала значений γ в соответствии с тем, что поставленная задача направлена на выявление граничных значений параметра, за пределами которых возникают повышенные нежелательные напряжения в элементах конструкции ковша, а упомянутая возможность управления движением исполнительного органа должна лишь способствовать достижению желаемой характеристики внедрения в грунт.

На рис. 2 показана схема движения исполнительного органа только за счет вращения звена R3 относительно оси O3. В данном случае угол α_{32} – это угол между осями R2 и R3 при максимально раскрытом положении ковша. В данной расчетной схеме величины звеньев и значения углов между ними не оказывают влияния на γ, основным является параметр R3. Таким образом, при Rвр=R3 получим $\gamma_{min} = \gamma 3 = 90^{o}$

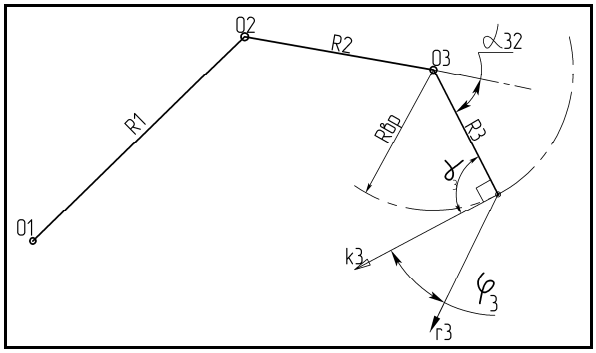


Рис. 2. Движение звена R3

В случае совместного вращения звеньев R3 и R2 относительно центра O2, величина Rвр необходима, как определитель значения радиуса вращения группы звеньев, касательная k32 к которому совместно с R3 и задает значение искомого угла γ32.

Таким образом, при Rвр=R32 получим

$$\gamma = \gamma 32 = \gamma 3 - arctg\left(\frac{R_3 \cdot \sin\alpha_{32}}{R_2 + R_3 \cdot \cos\alpha_{32}}\right) + \alpha 32$$

В данной расчетной схеме на γ оказывают влияние величины звеньев R2 и R3 и значение угла α23 между ними.

На рис. 3 представлена схема определения контура движения передней кромки в случае совместного вращения звеньев R3, R2 и R1 относительно центра O1.

Величина Rвр=R321 – определитель значения радиуса вращения группы звеньев, касательная k321 к которому совместно с R3 задает значение искомого угла γ321.

В данной расчетной схеме на γ=γ321 оказывают влияние величины всех звеньев кинематической цепи и значения углов α32 и α21, которые являются значениями параметров конкретного конструктивного исполнения рабочего оборудования экскаватора.

Угол γ321 является верхним граничным значением для определения интервала возможных значений γ, превышение которого, согласно проводимой методике расчета, приведет к появлению увеличенных возникающих напряжений в элементах конструкции ковша при ведении экскавационных работ.

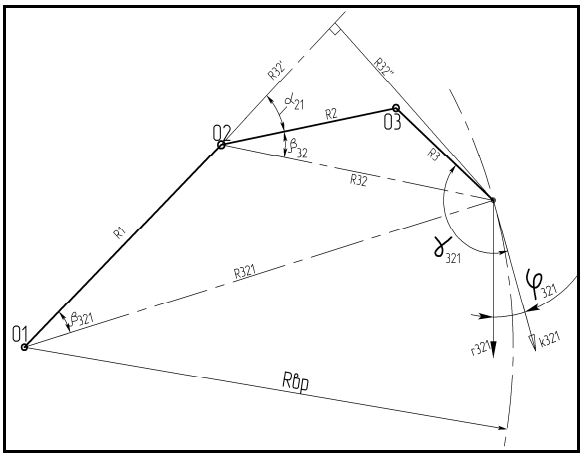


Рис. 3. Движение звеньев R3, R2 и R1

Таким образом, при Rвр=R321 получим

$$\gamma_{max} = \gamma 321$$

Проведенные расчеты позволили выявить диапазон значений для параметра γ, придерживаясь которого возможно избежать появления излишних возникающих напряжений в элементах конструкции ковша:

$$\gamma_{min} < \gamma < \gamma_{max}$$

Выявление диапазона возможных значений угла γ по предложенной методике включает в себя возможность варьирования $\gamma 3 = \gamma_{min}$ в зависимости от определенного наиболее рационального значения угловых параметров внедрения грунторазрушающих элементов ковша экскаватора в почву.

Решение данной задачи является составной частью при выведении методики по определению наиболее рациональных конструктивных характеристик исполнительного органа ковша гидравлического экскаватора схемы «обратная лопата» и его грунторазрушающих конструктивных элементов.

Список литературы

1. М.С. Сафохин «Горные машины и оборудование » / М.С. Сафохин, Б.А. Александров, В.И. Нестеров. – М: Недра, 1995.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ ПОСЛЕ ВЫГЛАЖИВАНИЯ МИНЕРАЛОКЕРАМИКОЙ

Романенко Е.Ф.

Научный руководитель: Гадалов В.Н., д.т.н., профессор

Юго-Западный государственный университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
E-mail: balefed@yandex.ru

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине. Измеряется в микрометрах (мкм). Шероховатость относится к микрогеометрии твердого тела и определяет его важнейшие эксплуатационные качества – износостойкость от истирания, прочность, плотность (герметичность) соединений, химическая стойкость, внешний вид. В зависимости от условий работы поверхности назначается параметр шероховатости при проектировании деталей машин; также существует связь между предельным отклонением размера и шероховатостью [1].

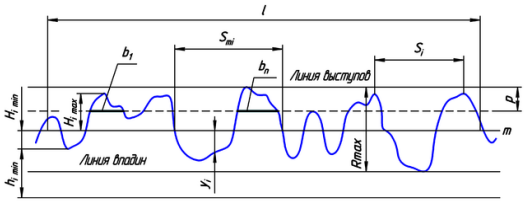


Рис. 1. Нормальный профиль и параметры шероховатости поверхности, где: l – базовая длина; m – средняя линия профиля; S_{mi} – средний шаг неровностей профиля; S_i – средний шаг местных выступов профиля; H_{imax} – отклонение пяти наибольших максимумов профиля; H_{imin} – отклонение пяти наибольших минимумов профиля; h_{imax} – расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; h_{imin} – расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; Rmax – наибольшая высота профиля; y_i – отклонения профиля от линии m; p – уровень сечения профиля; b_n – длина отрезков, отсекаемых на уровне p

Высотные параметры: Ra – среднее арифметическое отклонение профиля; $Ra = \frac{1}{l}\int_0^l [y_i]dx$ или $Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$. Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам $Rz = \left(\sum_{i=1}^{5} H_{i\max} + \sum_{i=1}^{5} H_{i\min}\right)/5$. Шаговые параметры: t_p – относительная опорная длина профиля, где p – значения уровня сечений профиля из ряда 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%. $t_p = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{n} b_i$. Ra, Rz и Rmax определяются на базовой длине l, которая может принимать значения из ряда 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм. Параметр Ra является предпочтительным [2].

Упрочнение рабочих поверхностей металлорежущих инструментов из порошковой быстрорежущей стали повышенной теплостойкости (630…650 ºС) Р12М3К8Ф2-МП состава по ТУ 14-1-3647-83: С-1,0 %; W-12,0 %; Mo-3,1 %; Cr-4,0 %; V-2,1 %; Co-8 % осуществляли на установке «ЭЛФА-541» методом локального электроискрового нанесения покрытий (ЛЭНП). ЛЭНП подвергали обычные и фасонные фрезы, спиральные сверла, резцы: для чернового и чистового точения, отрезные, а также фасонные [3]. В качестве электродов использовались цилиндрические стержни диаметром 1…1,5 мм из самофлюсующегося порошкового сплава системы Ni-Cr-B-Si-C на никельхромовой основе состава (% вес.): Ni 80; Cr 15; B 2-3; Si 3-2 и C 0,1-0,7. Этот материал разработан в США и получил название «колмоной».

Электроискровое нанесение покрытий имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами:

- высокая прочность сцепления нанесенного материала с основой (за счет механического перемешивания и взаимного диффузионного проникновения материалов электродов в формируемом слое);
- локальность проведения процесса (обработку можно осуществлять в строго заданных местах радиусом от долей миллиметра и более, не защищая при этом остальную поверхность детали);
- возможность использования в качестве легирующих материалов как чистых металлов, так и многих сплавов, металлокерамических композиций, тугоплавких соединений и т.п.;
- отсутствие нагрева или незначительный нагрев детали в процессе обработки, который не может изменить ее физико-механические свойства и геометрию;
- простота технологического процесса, малогабаритность и транспортабельность оборудования;
- возможность применения для увеличения твердости, износо-, жаро-, коррозионной стойкости металлических поверхностей, упрочнения и восстановления размеров деталей машин и инструмента, снижения склонности к схватыванию поверхностей при трении, проведения на обраба-

тываемой поверхности микрометаллургических процессов для образования на ней необходимых соединений, подготовки поверхности под другие виды обработки (создание переходных слоев, получение определенной шероховатости).

Локальное электроискровое нанесение покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента в местах интенсивного износа по задней и передней поверхностям сопровождается образованием микрорельефа со скругленными выступами и впадинами. При этом, в отличие от механической обработки, микрорельеф не имеет острых гребешков. Однако качество поверхности инструмента после ЛЭНП часто не соответствует техническим условиям. Так шероховатость Ra режущей кромки инструмента после ЛЭНП составляет 4…6 мкм, а необходимо 0,2…0,4 мкм. Этот существенный недостаток решается применением комбинированной обработки, состоящей из: ЛЭНП, затем алмазное или минералокерамическое выглаживание; ЛЭНП плюс лазерная обработка.

В процессе выглаживания поверхностей в месте контакта деформирующего элемента и обрабатываемой детали возникают значительные контактные напряжения. При определенном усилии выглаживания происходит пластическая деформация поверхностного слоя, в результате чего сминаются микронеровности и изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя. На выглаженной поверхности возникают значительные остаточные напряжения сжатия. Детали с поверхностью, обработанной выглаживанием, обладают повышенными эксплуатационными свойствами: высокой износостойкостью и усталостной прочностью.

Операция выглаживания осуществлялась на токарно-винторезном станке 1К62 с помощью устройства, рассмотренного в работе [4]. В качестве инструмента применялся выглаживатель из минералокерамики ВОК-60, относящейся к классу оксидно-карбидной режущей керамики состава: Al_2O_3 – 76; TiC – 20; (WCo)C – 3…5; Mg<1 (в ат. %), квадратного сечения 2×2 мм, длиной до 15…20 мм, с радиусом рабочей поверхности 4,5…6,5 мм. Оптимальные режимы условий обработки для выглаживания минералокерамикой были установлены экспериментально с целью обеспечения максимальной стойкости выглаживателя из минералокерамики ВОК-60 и требуемого параметра шероховатости. Шероховатость обработанной поверхности существенно зависит от режимов выглаживания: усилия выглаживания и подачи. Число проходов и скорость выглаживания влияют на шероховатость и микротвердость обработанной поверхности в меньшей степени.

Шероховатость измерялась с помощью профилографа-профилометра Абрис-ПМ7 через комплексный параметр шероховатости (Δ), предложенный авторами в работе [5].

$$\Delta = \frac{R\max}{r \cdot \overline{b^{\frac{1}{\nu}}}}, \qquad (1)$$

где Rmax – наибольшая высота профиля; r – средний радиус кривизны вершин выступа; b и ν – параметры начального участка опорной кривой, построенной в абсолютных координатах, которые определяются по формулам (2) и (3) соответственно.

$$b = t_{Rp}\left(\frac{R\max}{Rp}\right)^{\nu}, \qquad (2)$$

$$\nu = 2 \cdot t_{Rp} \cdot \frac{Rp}{Ra} - 1, \qquad (3)$$

где Ra – среднее арифметическое отклонение профиля; t_{Rp} – относительная опорная длина профиля на уровне Rp; Rp – расстояние от линии выступов до линии, отсекающей площадь профиля на две равные части.

После выглаживания минералокерамикой покрытий значение Ra составило 0,28…1,28 мкм. Определенный по формуле (1) комплексный параметр шероховатости до выглаживания был 1,55, после выглаживания 0,08…0,14.

Анализ полученных результатов показывает, что качество поверхности, образованной после ЛЭНП, по параметрам шероховатости Ra и Rmax является недостаточным. Комплексный параметр шероховатости (Δ) позволяет на порядок более точно оценить шероховатость поверхности после алмазного или минералокерамического выглаживания электрофизических покрытий, в частности ЛЭНП.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. [Текст] / В.И. Анурьев // М.: Машиностроение, 2001.
2. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
3. Гадалов, В.Н. Локальное избирательное нанесение электрофизических покрытий на металлообрабатывающий инструмент [Текст] / В.Н. Гадалов, Ю.П. Камышников, Д.Н. Романенко [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. №4. С. 33-36.
4. Гадалов В.Н. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.В. Чернышова, В.В. Самойлов [и др.] // Технология металлов. 2010. №4. С. 41-44.
5. Бурумкулов Ф.Х. Восстановление и упрочнение деталей, инструментов с использованием концентрированных источников тепла [Текст] / Ф.Х. Бурумкулов, В.И. Иванов, В.П. Лялякин [и др.] // Технология металлов. 2005. №6. С. 42-46.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОШИБКИ В ЗНАЧЕНИЯХ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ КУЛИСЫ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА МАНИПУЛЯТОРА

Середа Н.А.

Научный руководитель: Фёдоров С.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: sereda-klg@mail.ru

В линиях ряда производств наиболее сложным и трудоёмким является выполнение вспомогательных операций, например, операции передачи объектов обработки из одной позиции в другую или от машины к машине. Поэтому исследование устройств, заменяющих движение рук оператора и механизирующих вспомогательные операции, является актуальным.

Разработано новое манипуляционное устройство [1], содержащее передаточный механизм 1, исполнительный механизм 2 с губками 3 для захвата изделий и привод 4. На рис. 1 представлена кинематическая схема разработанного устройства (манипулятора) для передачи изделий.

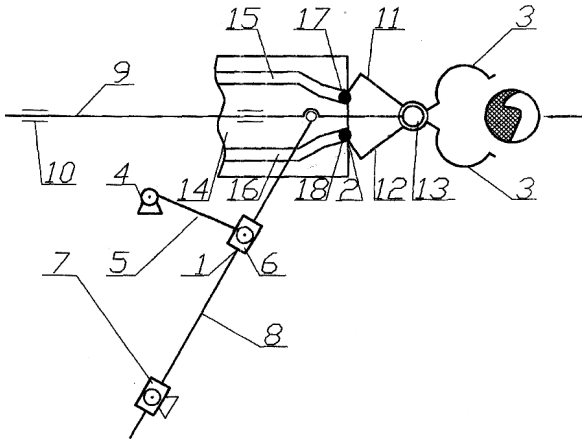


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора для передачи изделий

Передаточный механизм 1 выполнен в виде многозвенного кривошипно-кулисного механизма, он включает ведущее звено – кривошип 5, укреплённый на валу привода 4, ползун 6, шарнирно связанный с кривошипом, поворотное звено 7, выполненное в виде пустотелой призмы, шарнирно связанной со стойкой, кулису 8, подвижно соединённую с ползуном 6 и звеном 7, выходное звено 9, установленное в неподвижных прямолинейных направляющих 10 и шарнирно связанное с кулисой 8.

Исполнительный механизм устройства включает: выходные звенья 11 и 12 с губками 3 для захвата изделий, шарнирно связанные с выходным звеном 9 передаточного механизма посредством пальца 13, укреплённого в концевой части выходного звена, неподвижный кулачок – копир 14 с фигурными пазами 15 и 16 для взаимодействия с роликами 17 и 18, смонтированными на свободных концах выходных звеньев.

Губки 3 для захвата изделий выполнены по форме передаваемых изделий и закреплены на выходных звеньях жёстко, но разъёмно. На границах ходов выходных звеньев губки, имитирующие движение выходных звеньев, занимают разжатое положение. Одна из границ ходов выходных звеньев соответствует позиции «схват» изделия, другая – позиции «выдача» изделия.

Как показано на рис. 2, минимальная длина кулисы наблюдается в середине интервала прямого и обратного хода и равна выражению

$$l_{8\min} = l_{10} + l_5 + a, \qquad (1)$$

где l_{10} – длина стойки; l_5 – длина кривошипа; a – параметр, выбираемый конструктивно.

Максимальная длина кулисы наблюдается в крайних положениях передаточного механизма и равна:

$$l_{8\max} = \sqrt{(l_{10} + l_5 + a)^2 + (\frac{h}{2})^2}\,, \qquad (2)$$

где h – величина хода кулисы 8, м

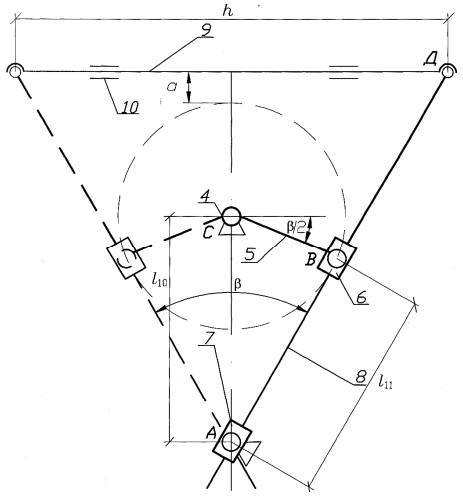


Рис. 2. Схема передаточного механизма манипулятора

Определённый практический интерес [2-4] представляет задача точного определения максимальной длины кулисы передаточного механизма. При этом исходим из того, что различия между

фактической и номинальной длиной кулисы определяются ошибками Δl_{10}, Δl_5, Δa и Δh.

Функцию (2) представим в неявном виде:

$$l_{8\max} = f(l_{10}, l_5, a, h) \qquad (3)$$

Запишем полный дифференциал функции (3):

$$dl_{8\max} = \frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_{10}} \cdot dl_{10} + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_5} \cdot dl_5 + \\ + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial a} \cdot da + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial h} \cdot dh$$

Заменим знаки дифференциала знаками первичных ошибок:

$$\Delta l_{8\max} = \frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_{10}} \cdot \Delta l_{10} + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_5} \cdot \Delta l_5 + \\ + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial a} \cdot \Delta a + \frac{\partial l_{8\max}}{\partial h} \cdot \Delta h,$$

где Δl_{10}, Δl_5, Δa, Δh – первичные ошибки в определении аргументов соответственно l_{10}, l_5, a и h.

Частные производные при первичных ошибках в предыдущем уравнении составляют:

$$\frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_{10}} = \frac{\partial}{\partial l_{10}}\left(\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}\right) = \\ = \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(1+l_5+a) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}};$$

$$\frac{\partial l_{8\max}}{\partial l_5} = \frac{\partial}{\partial l_5}\left(\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}\right) = \\ = \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(l_{10}+1+a) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}};$$

$$\frac{\partial l_{8\max}}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a}\left(\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}\right) = \\ = \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(l_{10}+l_5+1) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}};$$

$$\frac{\partial l_{8\max}}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial h}\left(\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}\right) = \\ = \frac{(l_{10}+l_5+a)^2 + h}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}}.$$

Окончательное выражение для определения максимальной ошибки в значениях максимальной длины кулисы передаточного механизма примет вид:

$$\Delta l_{8\max} = \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(1+l_5+a) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}} \cdot \Delta l_{10} + \\ + \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(l_{10}+1+a) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}} \cdot \Delta l_5 + \\ + \frac{(l_{10}+l_5+a)\cdot(l_{10}+l_5+1) + (\frac{h}{2})^2}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}} \cdot \Delta a + \\ + \frac{(l_{10}+l_5+a)^2 + h}{\sqrt{(l_{10}+l_5+a)^2 + (\frac{h}{2})^2}} \cdot \Delta h$$

Фактическое значение l_ϕ будет соответствовать выражению:

$$l_\phi = l_{8\max} \pm \Delta l_{8\max},$$

где $\boldsymbol{l_{8\,max}}$ – максимальная длина кулисы, определяемая по формуле (2); $\boldsymbol{\Delta l_{8\,max}}$ – максимальная ошибка в значениях максимальной длины кулисы передаточного механизма.

Определённая ошибка в значениях максимальной длины кулисы передаточного механизма даёт возможность выбрать предпочтительный класс точности для изготовления звеньев механизма, т. е. класс с меньшими значениями первичных ошибок Δl_{10}, Δl_5, Δa и Δh.

Список литературы

1. Пат. 2356726 РФ, МПК B25J 18/04. Манипулятор для передачи изделий / А.С. Горлатов, Н.А. Середа (Россия). – 2007136532/02. – Заявл. 02.102007. – Опубл. 27.05.2009 в БИПМ, 2009. – № 15.
2. Заблонский К.И. Теория механизмов и машин / К.И. Заблонский, И.М. Белоконев, Б.М. Щекин. – Киев: Вища шк., 1989. – 376 с.
3. Колчин Н.И. Теория механизмов и машин. Структура и кинематика механизмов, динамика машин и трение / Н.И. Колчин, И.С. Мовнин. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 616 с.
4. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 2003. – 384 с.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА ДАВЛЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ПАРЕ ТРЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА МАНИПУЛЯТОРА

Середа Н.А.

Научный руководитель: Фёдоров С.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: sereda-klg@mail.ru

Манипуляционные механизмы для передачи штучных изделий представляют собой устройства, выполняющие следующие операции: «схват» изделия, удерживание, перенос изделия из позиции в позицию, освобождение и «выдачу» изделия. Эффективность работы подобных устройств, очевидно, определяется не только геометрическими и кинематическими показателями, но и зависит от числа степеней подвижности, от характера траектории движения выходных звеньев, числа кинематических пар (**пар трения**) и других характеристик.

На рис. 1 представлена кинематическая схема разработанного устройства для передачи штучных изделий [1]. Оно содержит передаточный механизм 1, исполнительные механизмы 2 и 3 с губками 4 для захвата изделий и привод, последний на рис. 1 не показан.

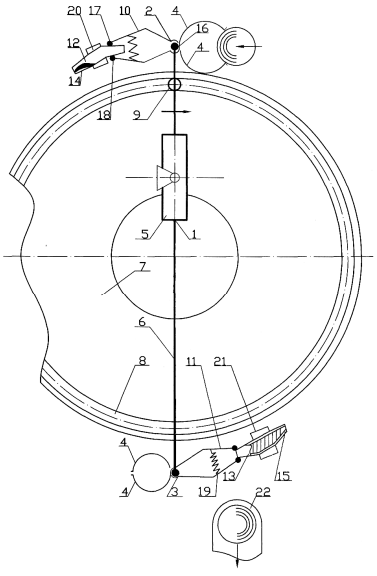


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора

Передаточный механизм включает ведущее звено 5, выполненное в виде пустотелого стержня, жёстко связанного в средней его части с валом привода, выходное звено 6, выполненное двуплечим и подвижно сопряжённое с ведущим звеном, и неподвижный кулачок – копир 7 с фигурным пазом 8 для взаимодействия с роликом 9 выходного звена.

Каждый из исполнительных механизмов включает ведущее звено, функцию которого выполняет выходное звено 6 передаточного механизма, выходные звенья 10 и 11 с губками 4 для захвата изделий, смонтированные на концах плеч выходного звена передаточного механизма, раздвижные клинья 12 и 13 с фигурными пазами 14 и 15 на их боковинах. Раздвижные клинья смонтированы в позициях «схват» изделия и «выдача» изделия.

Манипулятор для передачи штучных изделий работает следующим образом.

При работе привода ведущее звено 5 передаточного механизма, закреплённое на валу привода, совершает вращательное движение с постоянной скоростью. При этом выходное звено 6, сопряжённое с ведущим звеном посредством шлицевого соединения, также совершает вращательное движение. Кроме того, в результате взаимодействия ролика 9 с фигурным пазом 8 неподвижного кулачка 7,

выходное звено совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей продольной оси. Сложное движение выходного звена 6 в функции ведущих звеньев исполнительных механизмов 2 и 3 генерирует движение выходных звеньев 10 и 11 с губками для захвата изделий.

На участках движения выходных звеньев 10 и 11 в сжатом положении губок 4 пружина 19 обеспечивает жёсткое сцепление выходных звеньев с пальцем 16, при этом звенья 10 и 11 и выходное звено 6 образуют жёсткую поворотную систему. При взаимодействии роликов 17 и 18 с фигурными пазами 14 и 15 на боковинах раздвижных клиньев 12 и 13 обеспечивается поворот выходных звеньев 10 и 11 и разжатие (сжатие) губок 4. В период взаимодействия роликов 17 и 18 с пазами клиньев выполняется операция «схват» изделия (подача изделия в губки) или операция «выдачи» изделия на склиз 22.

За период кинематического цикла, равного времени одного оборота ведущего звена 5 передаточного механизма, манипулятор совершает два рабочих цикла. Интервалы ходов исполнительных механизмов 2 и 3 манипулятора совмещены во времени. Так, при рабочем ходе (с изделием) исполнительного механизма 2 механизм

3 совершает холостой ход (без изделия) и, наоборот. При работе манипулятора обеспечивается непрерывность процесса передачи изделий из позиции «схват» изделия в позицию «выдача» изделия.

В сравнении с прототипом разработанный манипулятор обеспечивает в два раза большую производительность при прочих равных условиях, например при том же времени кинематического цикла, т. е. при той же частоте вращения ведущего звена передаточного механизма.

Традиционно для оценки силовой работоспособности механизма, содержащего высшую пару трения, принято использовать угол давления α. Угол давления [2-4] в некоторой степени характеризует мгновенное значение КПД механизма. Анализ силовой работоспособности проведём по схеме, представленной на рисунке 2. В таблице 1 представлены величины углов давления α, полученные измерением на схеме (см. рис. 2).

Рис. 3 содержит график зависимости угла давления от угла поворота ведущего звена передаточного механизма манипулятора, построенный по данным табл. 1, а также сглаженный график изменения угла давления.

Таблица 1

Значения углов давления α

Угол поворота, град.	Угол α, град.	Угол поворота, град.	Угол α, град.
0	0	180	0
10	5	190	5
20	9	200	9
30	13	210	13
40	18	220	18
50	21	230	21
60	23	240	24
70	27	250	26
80	28	260	28
90	28	270	28
100	28	280	28
110	26	290	26
120	24	300	24
130	20	310	21
140	18	320	17
150	13	330	13
160	10	340	9
170	5	350	5
180	0	360	0

Анализ графика на рис. 3 показывает, что функция силовой работоспособности передаточного механизма манипулятора имеет максимумы на границах интервалов прямых и обратных ходов (там, где угол давления принимает минимальное значение), что способствует повышению силовой работоспособности механизма, поскольку наибольшая силовая работоспособность механизма обеспечивается в моменты наибольшего нагружения губок для передачи изделий.

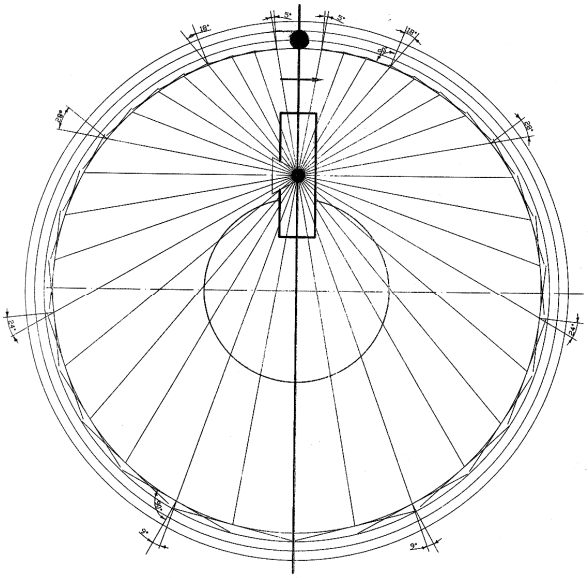


Рис. 2. К определению силовой работоспособности передаточного механизма манипулятора

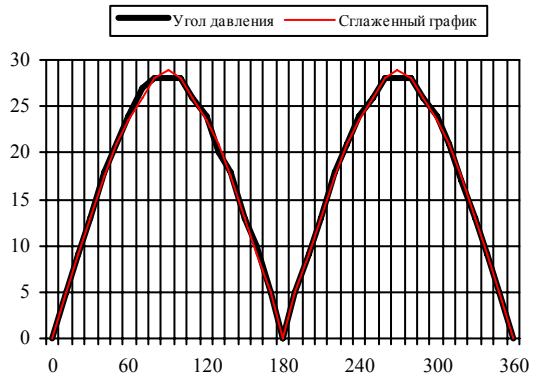


Рис. 3. График зависимости угла давления от угла поворота ведущего звена передаточного механизма манипулятора

Список литературы

1. Пат. 2376130 РФ, МПК B25J 18/04. Манипулятор для передачи изделий / А.С. Горлатов, Н.А. Середа (Россия). – 2008122804/02. – Заявл. 05.06.2008. – Опубл. 20.12.2009 в БИПМ, 2009. – № 35.
2. Машиностроение: Энциклопедия. Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин: в 3-х т. / под общ. ред. К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1995. – Кн. 2. – 624 с.
3. Механика машин / И.И. Вульфсон, М.Л. Ерихов, М.З. Коловский и др. – М.: Высш. шк., 1996. – 511 с.
4. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 2003. – 384 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

[1]Симонов Е.А., [2]Шерстюк Н.Н.

Научный руководитель: Касаткин В.О.

[1]Железногорский филиал СФУ, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова, 12а
[2]Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, Аэрокосмический колледж,
660123, Красноярский край, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31а

Метод диффузионной сварки в вакууме имеет ряд важных преимуществ: позволяет получать соединения разнородных металлов, отличающихся по своим физико-химическим свойствам (керамики с медью, титаном, жаропрочных и тугоплавких металлов и сплавов, электровакуумных стёкол, оптической керамики, сапфира, графита с металлами, композиционных и порошковых материалов), которые не возможно получить другим способом, изготавливать изделия из многослойных композитных материалов. Расход энергии при диффузионной сварке в 4...6 раз меньше, чем при сварке плавлением и при контактной сварке. Диффузионная сварка гигиенична: нет вредных излучений, брызг металла, мелкодисперсной пыли, как при многих других способах сварки. Но главное преимущество диффузионной сварки – это возможность образования соединения с минимальной деформацией деталей, не превышающей 5%.

Качество соединения при диффузионной сварке в вакууме определяется комплексом технологических параметров, основные из которых – температура, давление, время выдержки. Диффузионные процессы, лежащие в основе формирования сварного соединения, являются термически активируемыми, поэтому повышение температуры сварки стимулирует их развитие. Для снижения сжимающего давления и уменьшения длительности сварки температуру нагрева свариваемых деталей целесообразно устанавливать по возможности более высокой; металлы при этом обладают меньшим сопротивлением пластической деформации. Вместе с тем необходимо учитывать возможность развития процессов структурного превращения, гетеродиффузии, образования эвтектик и других процессов, приводящих к изменению физико-механических свойств свариваемых металлов.

При диффузионной сварке одноименных металлов сварное соединение достигает равнопрочное основному материалу в том случае, когда структура зоны соединения не отличается от структуры основного материала. Для этого в зоне контакта должны образовываться общие для соединяемых материалов зерна. Это возможно за счет миграции границ зерен, осуществляемой либо путем первичной рекристаллизации, либо путем собирательной рекристаллизации.

Недостатки диффузионной сварки – дополнительные затраты времени на высокоточную сборку заготовок и вакуумирование камеры, в которой производится сварка.

Затраты времени при диффузионной сварке складываются из времени сборки заготовок, вакуумирования камеры, нагрева и охлаждения. При штучном производстве следует так же учитывать затраты времени на перенастройку оборудования.

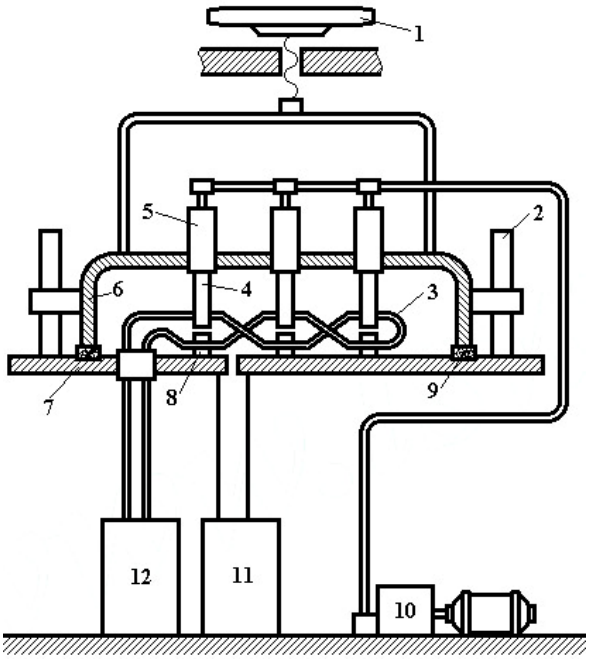


Рис. 1. Схема установки для диффузионной сварки в вакууме: 1 – винт; 2 – направляющие; 3 – индуктор; 4 – жаропрочный пуансон; 5 – гидравлический цилиндр; 6 – стальная камера; 7 – подставка; 8 – подставка; 9 – вакуумная резина; 10 – масляный насос; 11 – вакуумный насос; 12 – генератор

В настоящее время промышленностью выпускаются установки для диффузионной сварки, оснащенные несколькими камерами, что позволяет одновременно производить сборку, вакуумирование и сварку. Разработка и создание установок для диффузионной сварки ведется в направлении унифицирования систем и сварочных камер. Так-

же широко применяются приспособления для сварки нескольких образцов одновременно. Что позволяет сократить время сборки и вакуумирования на одно изделие, но затрудняет перенастройку установки. Таким образом, применение многокамерных установак и приспособлений для одновременной сварки нескольких образцов оправданно в случае серийного производства.

Для сокращения времени нагрева вместо малопроизводительного радиационного нагрева широко применяют нагрев токами высоких частот. Данный способ характеризуется высокой производительностью и возможностью нагрева выше полутора тысяч градусов. Из недостатков следует отметить возможность нагрева исключительно токопроводящих материалов, также для равномерного нагрева сечения необходимо обеспечить равное удаление витков индуктора от поверхности изделия. Кроме того, установка для нагрева токами высоких частот позволяет нагревать образцы с индуктивностью колеблющейся в определенном интервале, для расширения которого необходима изменить емкость согласующего устройства.

Формирование диффузионного соединения определяется такими физико-химическими процессами, протекающими при сварке, как взаимодействие нагретого металла с газами окружающей среды, очистка свариваемых поверхностей от оксидов, развитие высокотемпературной ползучести и рекристаллизации. В большинстве случаев это диффузионные, термически активируемые процессы.

Для уменьшения скорости окисления свариваемых заготовок и создания условий очистки контактных поверхностей от оксидов при сварке могут быть применены газы-восстановители, расплавы солей, флюсы, обмазки, но в большинстве случаев используют вакуум или инертные газы.

В исследовательской лаборатории необходимо выполнять сварку образцов различной конфигурации и размера. От простых стержней и пластин до сложных пространственных фигур сочетающих несколько сварных соединений, таких как магнитопроводы. Для качественного выполнения сварки столь разных изделий необходима замена индуктора, сопряжена со значительными затратами времени на его изготовление и перенастройку согласующего устройства. Поэтому наиболее перспективно использование металлических водоохлаждаемых концентраторов, представляющих собой разъемный корпус, внешняя поверхность которого повторяет форму индуктора, а внутренняя изделия. Этот способ не только позволяет обеспечить равномерный нагрев сечения, но и регулировать ширину зоны тепловложения.

Был изготовлен и опробован концентратор для изделий цилиндрической формы диаметром до 20 мм. В качестве материала бала выбрана коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т.

В настоящее время в лаборатории диффузионной сварки СибГАУ произведена модернизация установки СВДУ – 50, в ходе которой был заменен форвакуумный насос 2НВР 5ДМ на более производительный НВР 16Д. Также установка оснащена современным источником индукционного нагрева, сменными индукторами, закладными концентраторами и трансформатором с возможностью ступенчатой регулировки коэффициента трансформации.

Производительность модернизированной установки бала опробована в процессе сварки ряда лабораторных образцов цилиндрической формы, диаметром 10 мм. Сталь 45 + медь М1.

Режим сварки:

Температура 850^{o}С.

Вакуумирование до давления $5 \cdot 10^{-3}$МПа.

Усилие сжатия 0,75 кгс/м^2.

Время выдержки 10 мин.

Сокращение времени нагрева за счет внедрения индукционного нагрева с 40 до 5 минут. Время вакуумирования сократилось с 45 до 30 минут. Продолжительность цикла сварки уменьшилась с 145 до 95 минут.

В дальнейшем планируется продолжить исследования, подробнее изучить свойства концентраторов различной формы, а также исследовать материалы, пригодные для изготовления концентратора, и определить оптимальный из них.

Список литературы

1. Диффузионная сварка материалов: Справочник / под редакцией Казакова Н.Ф.- М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
2. Новиков В.Г., Екимов А.И., Прокопьев С.В. Достижения и перспективы развития диффузионной сварки. // Материалы конференции.- М.:МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1987. – 12 с.
3. Бачин В.А., Квасницкий В.Ф., Котельников Д. И., Новиков В. Г., Полушкин Г. П. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / под общ. ред. В.А. Бачина. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
4. Способ изготовления пьезоэлементов / В.Г. Новиков, А.И. Екимов, Л.Г. Семичева // Авт. св. СССР, № 963573, МКИ В 06 В1/06, 1982, Бюлл.
5. Диффузионная сварка разнородных материалов: А.В. Люшинский – М.: Машиностроение.
6. Сварка в машиностроении. Справочник в 4 томах. – М.: Машиностроение, 1997 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА МОДИФИЦИРОВАННОГО ЗУБА ЦИКЛОИДАЛЬНОГО КОЛЕСА НА ИЗГИБНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Симуткин А.Г., Ефременков Е.А.

Научный руководитель: Ефременков Е.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: artsim@pochta.ru

В настоящее время появились перспективные схемы передаточных механизмов, реализующих модульный принцип подшипникового исполнения, которые выполняют одновременно функции подшипника и передающего узла. Использование таких механизмов способствует уменьшению габаритных размеров и материалоемкости новых механизмов, позволяет создать унифицированные ряды передач, аналогичные рядам серийно выпускаемых подшипников. Очень эффективно применение передач такого типа в авиационной технике, где проблема снижения массы имеет первостепенное значение.

Одним из основных отличий от эвольвентного зацепления является то, что теоретически все промежуточные тела качения (ПТК) находятся в постоянном контакте с соответствующими поверхностями профильных колес (рис. 1), что позволяет реализовать непрерывность контакта и многопарность зацепления.

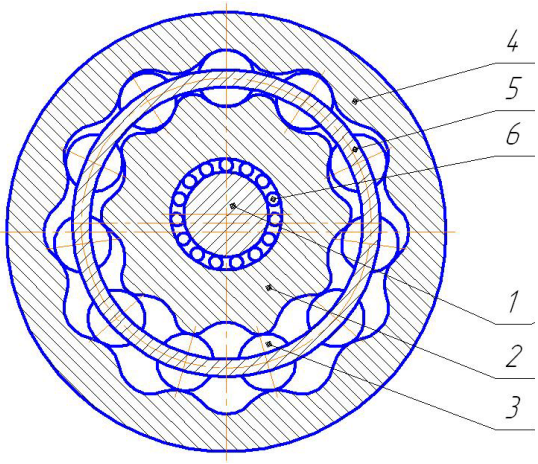


Рис. 1. Поперечное сечение передачи с промежуточными телами качения и свободным сепаратором: 1 – генератор; 2 – кулачок; 3 – ПТК; 4 – венец; 5 – сепаратор; 6-подшипник

В реальных же передачах с ПТК нередко возникновение проскальзывания тел качения, а иногда даже потеря работоспособности механизма. Чтобы добиться максимальной эффективности и оптимальных технических характеристик передачи необходимо использовать весь потенциал, что в свою очередь побуждает конструктора использовать нестандартные подходы при проектировании передачи. Одним из таких методов является модификация зуба циклоидального колеса (рис. 2).

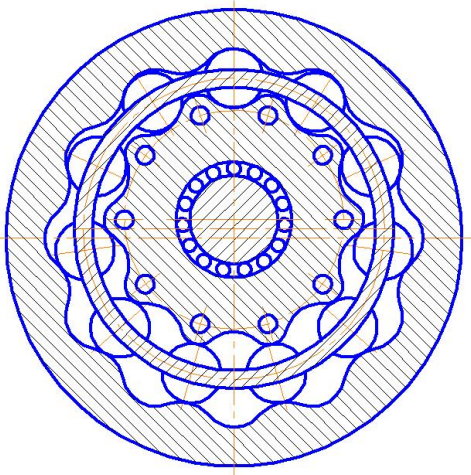


Рис. 2. Пример модификации циклоидального колеса

Модификация подразумевает конструктивную доработку профильного колеса, которая заключается в получении отверстий возле поверхности профиля зуба.

Циклоидальное колесо, выполненное с отверстиями возле поверхности профиля, позволит компенсировать нарушение непрерывности контакта тел качения с профилем из-за технологических погрешностей, возникающих при изготовлении. В этом случае при работе профиль колеса будет иметь возможность упругой деформации в более широком диапазоне, что позволит всем телам качения участвовать в передаче движения и усилий, не смотря на технологические погрешности изготовления. В то же время циклоидальное колесо с отверстиями обладает необходимой твердостью для восприятия контактных напряжений.

В начале исследования необходимо обратиться к рассмотрению профиля зуба. В нашем случае нагружение зуба можно представить в качестве балки с жесткой заделкой (рис. 3), где балкой является один из зубьев профильного колеса. На этот зуб последовательно, в процессе работы, будут действовать силы различной величины в различных точках профиля, это было подробно рассмотрено ранее [2, 3].

Перейдем непосредственно к решению поставленной задачи.

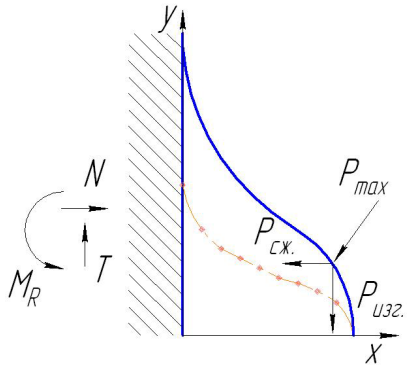


Рис. 3. Схема для расчета зуба на изгиб

Как видно из рисунка 3, изгиб зуба будет поперечным, но в отличие от классического случая, где нейтральная ось балки располагается вдоль прямой линии, нейтральная ось зуба постоянно меняет свое положение, в зависимости от рассматриваемого сечения.

При нахождении площади поперечного сечения необходимо знать высоту зуба вдоль оси *y*. Для этого воспользуемся формулой, определяющей точку профиля в зависимости от угла поворота производящего колеса φ_2 [1]:

$$Y = -X_{2A}\mathrm{Sin}\left(\phi_1 - \phi_2\right) + Y_{2A}\mathrm{Cos}\left(\phi_1 - \phi_2\right) - e_1\mathrm{Cos}\phi_1, \quad (1)$$

здесь:

$$X_{2\mathrm{A}} = \frac{r_{\text{тк}}\, r_2 \mathrm{Sin}\phi_2}{L},$$

$$Y_{2\mathrm{A}} = \frac{r_{\text{ц}}\, L + r_{\text{тк}}\left(r_2\mathrm{Cos}\phi_2 - r_{\text{ц}}\right)}{L}, \quad (2)$$

$$O'P = L = \sqrt{r_2^2 + r_{\text{ц}}^2 - 2r_2 r_{\text{ц}}\mathrm{Cos}\phi_2}, \quad (3)$$

$$\phi_1 = \frac{\phi_2}{\left(1 - \frac{1}{Z_2}\right)}, \quad (4)$$

$$r_1 = r_2\left(1 - \frac{1}{Z_2}\right). \quad (5)$$

$$r_{\text{ц}} = r_2\chi. \quad (6)$$

Z_2 – число тел качения; r_2 – радиус производящей окружности; χ – коэффициент смещения, принимаемый в пределах 1,25…1,6 [3].

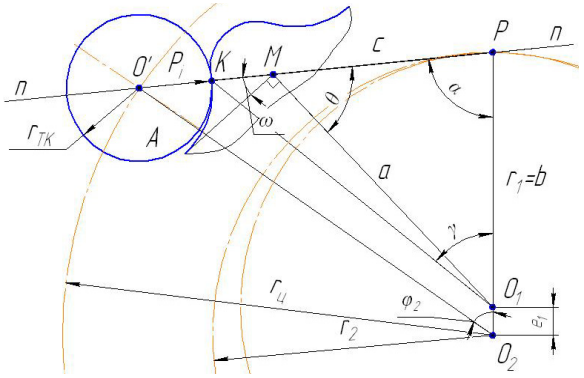


Рис. 4. Схема к определению углов

Большинство из вышеперечисленных параметров изображено на рис. 4.

Угол ω, угол между направлением максимальной нагрузки и осью *y* (рис. 3) можно найти из углов, представленных на рисунке 4. Так угол θ между сторонами треугольника ΔPMO_1 *a* и *c* определяется по теореме синусов:

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\theta}{c},$$

откуда

$$\sin\theta = \frac{\sin(\alpha)\cdot b}{a}. \quad (6)$$

В свою очередь ω получаем по следующей формуле:

$$\omega = 180° - 90° - \theta. \quad (7)$$

Таким образом, основные геометрические параметры, необходимые для расчета зуба на изгиб найдены. Затем определяем внутренние усилия, напряжения и деформации. Дальнейший расчет модифицированного зуба практически не имеет отличий от обычного, кроме изменения в площади поперечного сечения из-за присутствия в нем отверстия.

Последующие исследования будут непосредственно связанны с определением оптимальной формы и положения отверстия.

Список литературы

1. Ефременков Е.А. «Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: Дис. канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
2. Ефременков Е.А. Определение усилий в передаче с промежуточными телами качения и свободной обоймой // Автоматизация и прогрессивные технологии в атомной отрасли: VI межотраслевая научно-техническая конференция – Новоуральск, НГТИ, 23-25 сент. 2009. – Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2009 – т. 1. – с. 123-126.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – М.: М/с, 1966. – С. 308.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ МОДЕЛИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С МАЛОЙ РАЗНОСТЬЮ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР СРЕДСТВ

Смирнов А.П., Елисеев Д.Б., Вавилов Д.В.

Научный руководитель: Иптышев А.А., к.т.н., доцент

Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Email: bdysch86@gmail.com

Анализ справочной литературы и исследований в области проектирования и изготовления зубчатых передач позволяет сделать вывод о том, что повышение эффективности проектирования и, как следствие, конкурентоспособности промышленных предприятий и их продукции во многом зависит от уровня развития технологий проектирования и производства. Известно, что в регионах России, территориально удаленных от центров производства и потребления машиностроительной продукции, в частности в Красноярском крае, производство глобально конкурентоспособных изделий существенно ограничено объемом регионального рынка.

В таких условиях одним из наиболее эффективных способов обеспечения конкурентоспособности продукции является организация мелкосерийного производства с использованием прогрессивных технологий, таких как унификация использования режущего инструмента и диверсификация производства.

Например, анализ регионального рынка малой подъемно транспортной техники на территории Красноярского края показывает, что применение мелкомодульных зубчатых передач стандартного исходного контура ведет к увеличению габаритных размеров данного вида техники, что приводит к преобладанию устройств импортного производства (китайского, итальянского, немецкого производства). В данной работе предлагается для уменьшения их габаритных размеров и увеличения несущей способности данных типов устройств, уменьшить разность чисел зубьев и увеличить модуль передачи, не снижая ее технологичности, что может быть обеспечено за счет использования для формирования зубчатого колеса внутреннего зацепления стандартной шлицевой эвольвентной протяжки. Однако при проектировании подобных передач существуют ряд научно-технических проблем, связанных с синтезом зацепления по заданным показателям качества и расчетом конструктивных параметров.

В работе [1] была поставлена и решена задача определения области допустимых значений коэффициентов смещений зубчатой пары исходя из условия минимальной неравномерности вращения для базового варианта зубчатой передачи на примере ручной лебедки с одним варьируемым параметром – коэффициентом смещения шестерни. В результате численных экспериментов, проведенных при помощи пакета Visual Nastran 4D, были получены следующие кинематические характеристики:



Рис. 1. Кинематические характеристики типовых вариантов зубчатых передач

Отметим, что в модели передачи отклик системы на ступенчатое воздействие силы в виде передаточного отношения представляет собой колебательный процесс, при этом очевидно, что влияние управляющего параметра на неравномерность вращения велико.

Авторским коллективом [2] разработан программный модуль (рис. 2,3) для моделирования взаимодействия профилей, представленных в виде системы огибающих кривых, который позволяет определить характер и линию взаимодействия между зубьями с учетом однопарного и двухпарного зацепления и проводить выбор оптимальных геометрических параметров по условию заданных кинематических характеристик передачи.

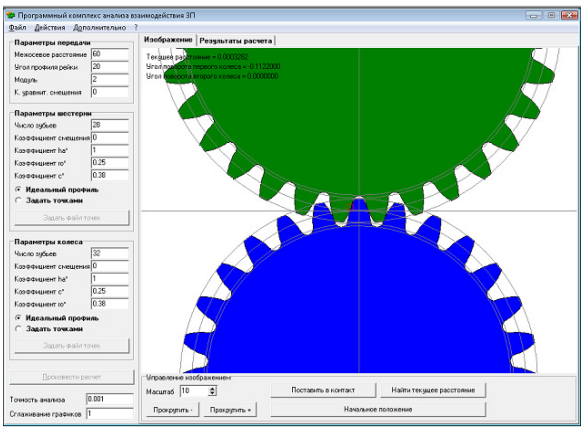


Рис. 2. Программный модуль анализа взаимодействия зубчатой передачи (пример с внешним зацеплением)

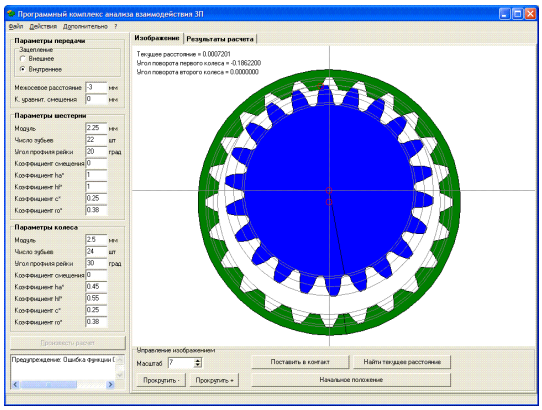


Рис. 3. Программный модуль анализа взаимодействия зубчатой передачи (пример с внутренним зацеплением)



Рис. 4. Модель, полученная в Visual Nastran 4D

Данный программный модуль, позволяет в автоматизированном режиме синтезировать зубчатую пару внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев исходя из следующих условий: собираемость передачи, отсутствие интерференции первого и второго рода, повышения несущей способности привода с разномодульной зубчатой пары при удовлетворительном уровне кинематических характеристик.

При этом программный модуль позволяет осуществить препроцессинг зубчатой передачи в программный комплекс SolidWorks 2010 в виде параметризованной твердотельной модели и провести углубленный анализ кинематических и динамических характеристик передачи и проработку конструктивных параметров конкретного устройства средствами Visual Nastran 4D, ANSYS, Cosmos Works др.

Список литературы

1. Соловьева О.А., Иптышев А.А. Повышение эффективности проектирования передач с внутренним зацеплением // Современные техника и технологии: материалы IX Юбил. междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2004. С.167 – 168.
2. Автоматизированный программный модуль для экспорта геометрии зубчатых колес в CAD-среду SolidWorks: программа для ЭВМ / А.П. Смирнов, Д.В. Вавилов, А.А. Иптышев, Д.Б. Елисеев. Свидетельство гос. регистрации № 2009613284.

РАЗОГРЕВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТОПЛИВНОМ БАКЕ МЕТОДОМ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ

Соломатин П.А.

Научный руководитель: А.Н. Капустин, ст. преп.

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, Россия, г. Юрга, ул.Заводская, 10
E-mail: rv_81@mail.ru

Эксплуатация машин зимой значительно сложнее, чем летом, обуславливается суровыми климатическими условиями. В некоторых районах страны (Сибири и Дальнего Востока) морозный период длится от 4 до 9 месяцев, при средних январских температурах -25...-35°С, а минимальные температуры достигают -50.. .-60°С.

Низкая температура окружающего воздуха вызывает изменение физических свойств смазывающих материалов, топлива, охлаждающей жидкости, ухудшая тем самым запуск и работу двигателя, механизмов силовой передачи.

Зимой вследствие комплексного влияния внешней среды существенно уменьшаются эксплуатационные показатели используемого МТА и значительно увеличивается количество отказов машин, чем в летний период из-за возникающих технических и технологических неисправностей.

Надежность всех машины в целом зависит от качества работы ее составляющих механизмов и систем, в том числе и системы питания.

Снижение качества работы топливоподающей системы тракторов в период зимней эксплуатации, определяется тем что, с понижением температуры дизельного топлива приводит к снижению его подвижности (увеличение вязкости, плотности) и выпадением твердой фазы в виде кристаллов парафина и льда, которые забивают фильтры и другие элементы системы, снижая прокачиваемость топлива через элементы системы питания.

Наиболее незащищенными элементами системы питания тракторов от воздействия низких температур, является топливный бак и питающий топливопровод, а остальные элементы данной системы находящиеся в подкапотном пространстве (фильтра грубой и тонкой очистки, топливные насосы высокого и низкого давления) менее подвержены влиянию климатических факторов т.к. расположены вблизи нагретых узлов двигателя.

Для повышения текучести топлива и улучшения его прокачиваемости через элементы системы питания тракторов при работе в суровых климатических условиях, существуют множество способов и приспособлений (рис. 1)

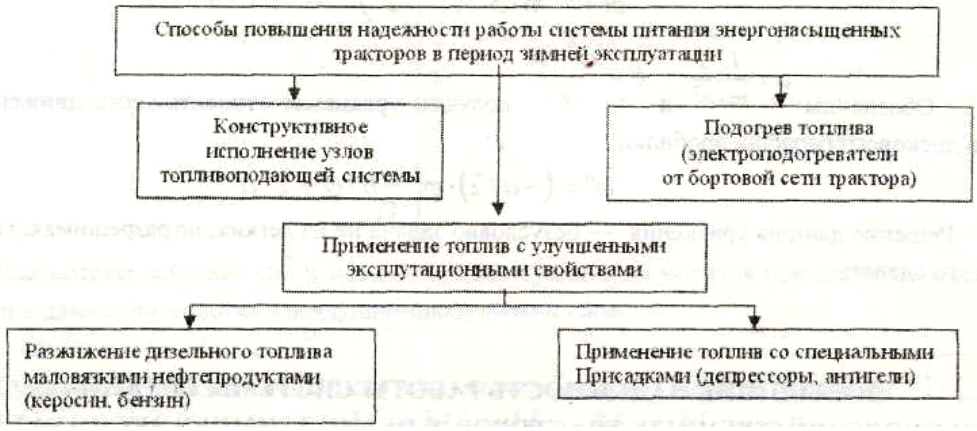


Рис. 1 Способы повышения надежности работы системы питания энергонасыщенных тракторов в период зимней эксплуатации

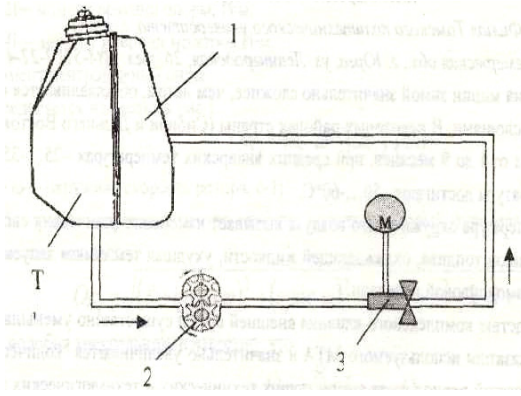


Рис. 2. Схема лабораторной установки по изучению процесса дросселирования топлива: 1 - топливный бак; 2 - насос НШ-32У; 3 - дроссель ДР-70

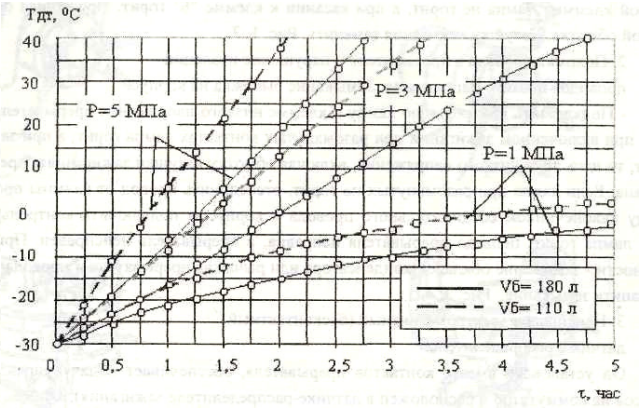


Рис. 3. Динамика разогрева дизельного топлива «3» в зависимости от давления дросселирования и температуры окружающей среды ($T_{ос}$= –32 °С)

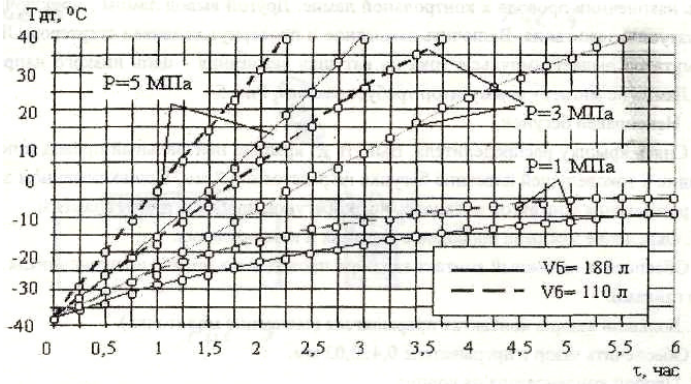


Рис. 4. Динамика разогрева дизельного топлива «3» в зависимости от давления дросселирования и температуры окружающей среды (Тос= -38 °С)

ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА НА ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ

Сотокина Ю.В., Князьков А.Ф.

Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652050, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: juliazem@bk.ru

Сварка на прямой полярности плавящимся электродом мало применяется в современной промышленности из-за неудовлетворительных технологических свойств сварочной дуги. Электрическая дуга на прямой полярности горит неустойчиво, катодное пятно беспорядочно передвигается, часто перемещаясь с капли на боковую поверхность электрода, что приводит к повышенному разбрызгиванию металла (15 – 18%) и неудовлетворительному формированию шва в диапазоне часто используемых токов дуги 200 – 300 А. Однако эффект блуждания и перемещения катодного пятна на боковую поверхность имеет и положительный момент: тепловой поток из дуги в электрод как бы раздваивается. Часть тепла дуги передается электроду через каплю, остальная часть – через боковую поверхность. Поэтому перегрев капли уменьшается, следовательно, теплосодержание капель на прямой полярности ниже, чем на обратной [1].

Несмотря на отмеченные недостатки у сварки на прямой полярности плавящимся электродом имеются и немаловажные преимущества. Например, расход потребляемой электроэнергии уменьшается в 1,5 раза [2], снижается склонность металла шва к образованию горячих трещин (благодаря уменьшению содержания углерода в металле шва), расплавление электродного металла увеличивается в 1,6 – 1,8 раз [3], не происходит перегрев капли электродного металла [1]. Указанные большие возможности и достоинства сварки на прямой полярности создают предпосылки для детального изучения этого способа, поиска новых технологических решений и технологий.

Технология управления переходом электродного металла в сварочную ванну при импульсном питании дуги разработана давно и применяется для сварки на обратной полярности [4], которая имеет свои недостатки – это увеличенное проплавление, которое отрицательно сказывается при сварке тонкого металла или при сварке на весу в разделку с зазором; перегрев и частичное испарение металла в зоне действия анодного пятна из-за малой его подвижности. При этом необходимо отметить, что дозирование энергии на плавление электродного металла при импульсном питании дуги сглаживает эти недостатки, по сравнению с обычной сваркой.

Задачей настоящей работы является выявить возможность использования сварки с управляемым механизмом коротких замыканий на прямой полярности. Для решения поставленной задачи сравнивали три различных метода образования коротких замыканий: при автоматической сварке на обратной полярности с переходом электродного металла во время коротких замыканий, обеспечиваемых параметрически; при автоматической сварке на обратной полярности с управляемым механизмом коротких замыканий и при автоматической сварке на прямой полярности с управляемым механизмом коротких замыканий.

На рис. 1 приведена осциллограмма тока и напряжения сварочного цикла с управляемым механизмом коротких замыканий синхронно с кинограммой.

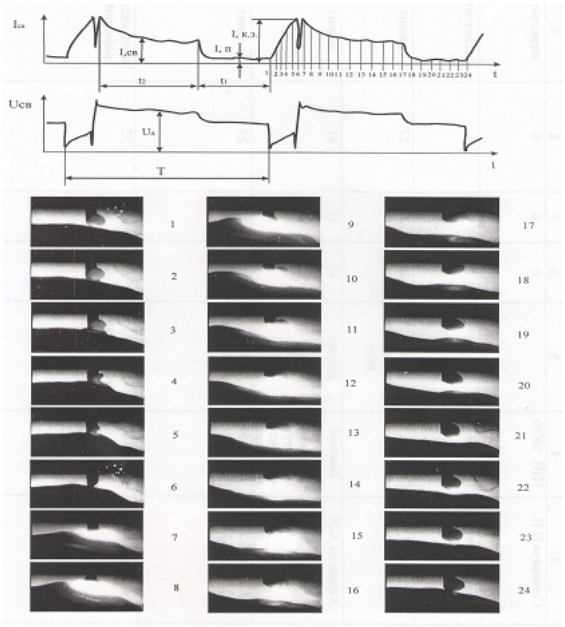


Рис. 1. Осциллограмма тока и напряжения сварочного цикла

Для сравнения проводили наплавку на металлическую пластину 09ГС, толщиной 8 мм. Использовалась проволока СВ-08Г2С диаметром 1,2 мм. Наплавка велась в среде защитного газа CO_2 (расход составлял 12 л/мин) на следующих режимах:

1) автоматическая сварка на обратной полярности с переходом электродного металла во время коротких замыканий, обеспечиваемых параметрически $V_{под}$=147 м/час, $V_{св}$=12 м/час, $U_{хх}$=28В;

2) сварка с управляемым механизмом коротких замыканий обратная полярность $V_{под}$=147 м/час, $V_{св}$=12 м/час, $U_{хх}$=36В, $t_{гор}$=10мс;

3) сварка с управляемым механизмом коротких замыканий прямая полярность $V_{под}$=236 м/час, $V_{св}$=12 м/час, $U_{хх}$=36В, $t_{гор}$=5мс.

Многократные наплавки и осциллографирование процесса на прямой полярности с управляемым механизмом коротких замыканий показали, что сварка на прямой полярности идет значительно стабильнее, чем на обратной (рис. 2 и рис. 3). Отсутствуют случайные короткие замыкания, длительность цикла каплеобразования постоянна, отсутствуют колебания тока короткого замыкания.

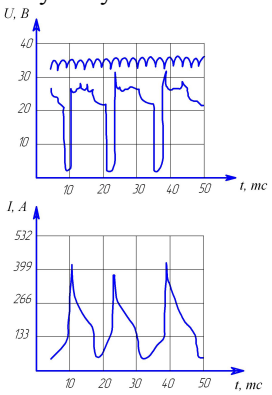


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения при сварке на обратной полярности: масштаб напряжения 10 В на 10 млс; масштаб тока 133 А на 10 млс

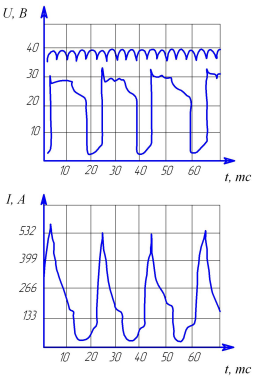


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения при сварке на прямой полярности: масштаб напряжения 10 В на 10 млс; масштаб тока 133 А на 10 млс

На рис. 4 представлены поперечные сечения швов. Рис. 4, а – поперечное сечение шва, полученного при автоматической сварке на обратной полярности с переходом электродного металла во время коротких замыканий, обеспечиваемых параметрически; рис. 4, б – автоматическая сварка на обратной полярности с управляемым механизмом коротких замыканий; рис. 4, в – автоматическая сварка на прямой полярности с управляемым механизмом коротких замыканий.



Рис. 4. Поперечные сечения швов

Рассчитали площади поперечных сечений наплавленного металла и зон проплавления, полученных при различных методах коротких замыканий. Результаты расчетов приведены на рис. 5.

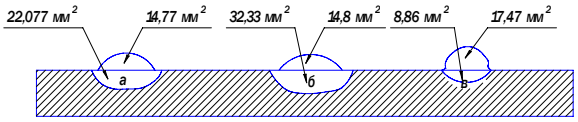


Рис. 5. Площади наплавленного металла и зон проплавления

Анализ расчетных данных показывает, что площадь поперечного сечения наплавленного металла при сварке с управляемым механизмом коротких замыканий на прямой полярности самая большая, а зона проплавления небольшая. Таким образом, самое большое количество наплавленного металла получается при сварке на прямой полярности с управляемым механизмом коротких замыканий.

Выводы

1. Сварка на прямой полярности с управляемым механизмом коротких замыканий идет стабильно, сварной шов формируется качественно. Это высокопроизводительный процесс сварки, который за счет более эффективного использования энергии дуги допускает увеличение скорости сварки (наплавки).

2. Применение метода управления механизмом коротких замыканий при сварке на прямой полярности позволяет существенно повысить физическую устойчивость горения дуги и технологическую устойчивость процесса.

3. Увеличение скорости расплавления электродного металла на прямой полярности позволяет оптимизировать процесс сварки (или наплавки).

4. Предложенную технологию можно применять как для сварки, так и для наплавочных работ, так как глубина проплавления основного металла небольшая.

Список литературы

1. Походня И.К., Суптель А.М. Теплосодержание капель электродного металла при дуговой сварке в защитных газах // Автоматическая сварка. – 1967. – №2. – С. 13–18.
2. Щекин В.А., Дюргеров Н.Г., Небылицын Л.Е., Барилов О.А. О процессе сварки в CO2 током прямой полярности // Сварочное производство. – 1972. – №5. – С. 19–20.
3. Суслов В.Н. О некоторых особенностях сварки в углекислом газе на прямой полярности // Сварочное производство. – 1956. – №12. – С. 18 – 21.
4. Патент РФ № 2120843, кл. B23K9/09, зарегистрирован 31.07.1997 г. в Государственном реестре изобретений РФ.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОИЗНОСОСТОЙКИХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8

Судницкий А.Г.

Научный руководитель: Гончаренко И.М., к.т.н., доцент, Тарасов С.Ю., д.т.н. профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ronaldalex@sibmail.com

Широкое внедрение станков с числовым программным управлением, обрабатывающих центров, автоматических линий и другого дорогостоящего оборудования требует значительной интенсификации режимов резания и вызывает, как следствие, повышенный расход режущего инструмента.

В процессе резания изнашиваются контактные площадки на передней поверхности и задней поверхностях режущих инструментов. В зависимости от условий резания и свойств инструментального и обрабатываемого материалов наиболее интенсивно изнашивается либо задняя поверхность инструмента, либо передняя.[2]

Одним из эффективных средств сокращения расхода инструмента при сохранении высокого уровня производительности металлообработки является применение инструмента с износостойкими покрытиями. Износостойкие покрытия позволяют получить рабочие поверхности инструмента с необходимыми служебными характеристиками, как правило, не изменяя свойств основного инструмента.

В настоящее время известен целый ряд методов нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент, однако в промышленности наиболее широкое применение нашел вакуумно-плазменный метод, который получил название «метод КИБ» (конденсация в условиях ионной бомбардировки).

Метод КИБ, позволяет наносить покрытие нитридов, карбидов и других соединений с металлами тугоплавких элементов как на инструмент, изготовленный из быстрорежущей стали так и на твердосплавный инструмент.

Применение режущих инструментов с износостойкими покрытиями позволяет решить целый комплекс важных износостойких задач:

1. Значительное повышение стойкости и надежности процессов металлорежущего инструмента.
2. Увеличение производительности процессов обработки деталей резанием.
3. Сокращение удельного расхода дорогостоящих инструментальных материалов и остродефицитных элементов (вольфрам, молибден, тантал, кобальт) для их изготовления.
4. Расширение эффективной области использования твердых сплавов.[4]

Плазменно-дуговой метод основан на использовании тепла плазмы для нагрева, размягчения и возможного расплавления напыляемого металла (сплава). В плазменной струе, состоящей из свободных электронов, ионов и частично нейтральных атомов азота (или другого плазмообразующего газа) создается высокая температура, позволяющая расплавить металл. Современные плазмотроны дают возможность регулировать тепловые, энергетические и газодинамические параметры процесса струйно-плазменного н внесения покрытий.

Данная методика имеет следующие преимущества:

1) эффективность;
2) малоотходность;
3) небольшие расходы наносимых материалов;
4) незначительная толщина покрытий исключает последующую механическую обработку;
5) практически полное отсутствие экологических проблем, связанных с его освоением;
6) гигиеничность;
7) комфорт и удобство производства.

Специфической особенностью метода КИБ существенная зависимость качества покрытие от большого количества технологических параметров. [1]

Схему влияния технологических параметров процесса нанесения покрытий представлена на рис. 1.



Рис.1 Схема влияния технологических параметров процесса нанесения покрытий

Исследуемый материал

В настоящее время для производства режущих инструментов широко используются твердые сплавы. Они состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала сцементированных небольшим количеством кобальта. Карбиды вольфрама, титана и тантала обладают высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при нагреве до 750–1100* С.

Одним из путей повышения эксплуатационных характеристик стандартных твердых сплавов группы ВК является нанесение покрытий из нитрида титана на режущую часть инструмента.

Свойства вакуумно-плазменных покрытий на основе tin

При нанесения покрытий несколько изменяется химический состав материалов, происходит насыщение их активными газами. Практически только при напылении в камере с нейтральной атмосферой можно получить покрытие с содержанием газов близким к содержанию их в исходном материале. Изменение свойств инструментальной матрицы после нанесения покрытия приводит к существенному изменению эксплуатационных характеристик инструмента и к увеличению его работоспособности. Стабилизация прочностных свойств, рост сопротивляемости контактных макро- и микроразрушению в условиях действия относительно высоких напряжений и температур особенно если они имеют переменный характер, приводят к улучшению режущих свойств инструмента и увеличение его надёжности. Прочность покрытия и его сцепление с основой зависят от многих факторов, одним из которых является толщина самого покрытия. По мере роста толщины покрытия в нем накапливаются остаточные напряжения и вследствие этого падает прочность. Формирование плазменных покрытий сводится к постепенному наслаиванию отдельных частиц, нагретых до температуры плавления, на практически холодную или предварительно незначительно нагретую основу. В результате этого в напылением покрытии возникают остаточные напряжения сжатия или растяжения. Они могут привести к растрескиванию покрытия, отслоению его от материала основы или в случае нанесения покрытия на тонкостенную основу приводят к ее деформации [5].

Методы контроля трибологических и адгезионных свойств исследуемой поверхности

Оценку износостойкости защитных покрытий по схеме «палец-диск» проводили на автоматизированной машине трения «TRIBOMETR». Непосредственно при испытании определяют коэффициент трения трущейся пары «изучаемое покрытие – контртело (диск), изготовленный из трудно-обрабатываемого материала.

Оценку адгезионной прочности проводили одним из наиболее надежных способов определения сил сцепления покрытия на приборе РЕВЕТЕСТ, в котором проводят царапанье изучаемой поверхности алмазной пирамидой типа Роквелла при непрерывно нарастающей нагрузке [3].

Эксперимент

На заранее подготовленные образцы («сырой» материал ВК8, материал с азотированной поверхностью) было нанесено вакумно-плазменное покрытие на основе TiN. Азотирование было проведено в целях увеличения адгезионных свойств поверхности, в дальнейшем будут проведены эксперименты с модификацией поверхностного слоя титаном.

Результаты

В ходе данной работы было выявлено что, коэффициент трения образцов с азотированной подложкой оказался ниже чем у образцов, на которые наносилось покрытие без предварительной обработки поверхности (рис. 2 и рис. 3). Исходя из этого мы можем смело говорить о том что износостойкость материала повысилась, что не мало важно для нашей страны в условиях дефицита вольфрама.

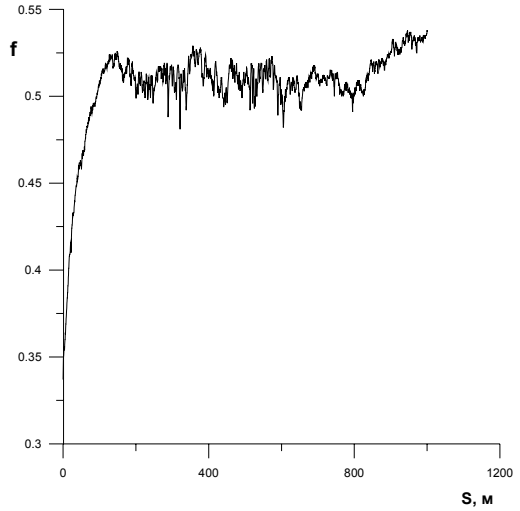


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от пути трения для образца без предварительной обработки подложки

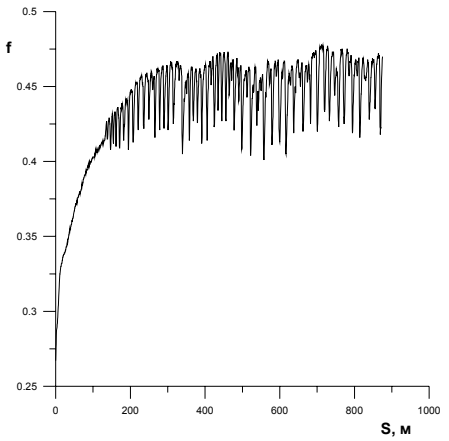


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от пути трения для образца с предварительной обработкой подложки

В данный момент ведутся исследования по получению характеристик адгезионных свойств исследуемых материалов. Смею предположить что и здесь мы получим положительный результат.

Список литературы

1. Верещака А.С. Режущий инструмент с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. –
2. Лаладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1958. -368 с.
3. Современные методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей. М.И Петржик, Д.В. Штанский, Е.А. Левашов. Научно-учебный центр СВС, Московский государственный институт стали и сплавов(технологический университет)
4. Тушинский А.Н., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий.–Новосибирск: Наука, 1986.–200 с.
5. Шулаев В.М., Андреев А.А. Сверхтвердые наноструктурные покрытия в ННЦ ХФТИ

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт" Украина

Поступила в редакцию 09.06.2008

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЯ ПБК И РЕЗЦА ЗР4.80 ДЛЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА РКУ-10

Тихонов И.А.

Научные руководители: Пудов Е.Ю., Хорешок А.А., д.т.н., профессор

Филиал ГУ «Кузбасский государственный технический университет» в г. Прокопьевске
653033, Россия, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19А
E-mail:tikhonovigor1988@rambler.ru

В Кузбассе значительная часть угольных предприятий используют подземный способ добычи полезных ископаемых. Этот способ предполагает использование специализированных машин, одной из которых является очистной комбайн. Несмотря на большое разнообразие моделей, резцы ЗР4.80 (РО80) (рисунок 1) являются наиболее распространенным режущим инструментом и применяются практически на всех выпускаемых в настоящее время шнековых очистных комбайнах (1К-101, К103, 2К-52МУ, КШ-1КГУ, КШ-3М, 1ГШ-68, 2ГШ-68Б, РКУ-16, 1КШЭ). Предназначаются резцы ЗР4.80 для выемки углей любой абразивности с сопротивляемостью резанию до 300 Н/мм, крепостью возможных породных включений и их суммарной мощностью не более 10% от вынимаемой мощности пласта. Резец армируется пластинкой твердого сплава с клиновидной формой передней поверхности. Со стороны задней поверхности хвостовика резец имеет упор, предназначенный для установки всех резцов на шнеке с одинаковым вылетом и уменьшения изгибающего момента от усилий резания и подачи в опасном сечении хвостовика. На боковых поверхностях упора имеются углубления для извлечения резца из резцедержателя. Крепление резца в кулаке безболтовое.

В настоящее время для закрепления резцов ЗР4.80 применяется крепление ПБК (рисунок 2). Оно представляет собой трехвитковую пружину 5, изготовленную из проволоки диаметром 5 мм и подвергнутую термообработке. Пружина удерживается в отверстии *4* и пазу *3* резцедержателя *2* за счет ее упругих сил и за счет установки ее концов *6* и *9* в расточках 7 и 5. Вторая сторона пружины входит в специальное углубление //, выполненное на задней стороне хвостовика *10* резца 1. Крепление ПБК обеспечивает надежное крепление и удержание резца в резцедержателе с минимальной потерей резцов, удобную и быструю замену резца, возможность установки в гнезде для безболтового крепления КР без изменения диаметра отверстия гнезда. Недостаток этого крепления – невозможность обеспечения плотного соединения резца с резцедержателем, что приводит к разбиванию гнезд резцедержателей при работе комбайна.

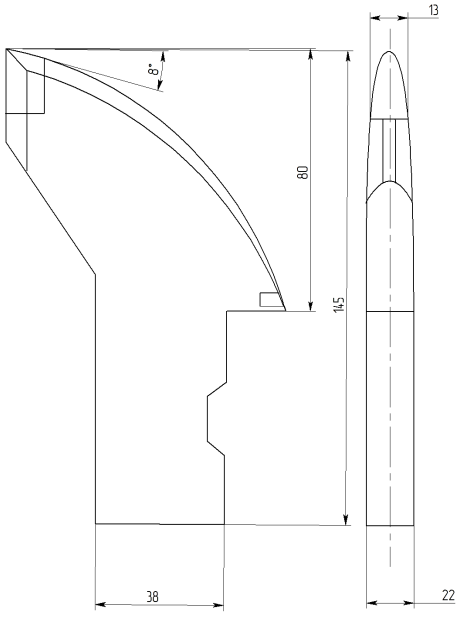


Рис. 1. Резец ЗР4.80

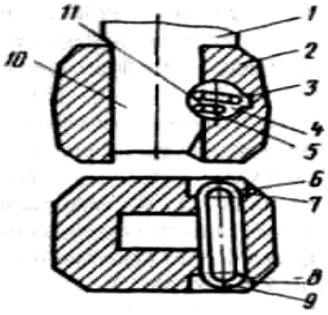


Рис. 2. крепление ПБК

Разбивание гнезд, в свою очередь, ведет к деформированию державки и потере резцов. Изменение конструкции резцедержателя для крепления резца, которое приведет к улучшению прочностных характеристик их взаимодействия, может способствовать решению данной проблемы.

Авторами предложено решение, основанное на возможности минимизации затрат, необходимых для изменения конструктивного исполнения уже зарекомендовавшего себя соединения, имеющего вышеупомянутый недостаток.

Если развернуть кулачек на 180 градусов, так чтобы паз под фиксирующую пружину оказался с лицевой стороны резца, то при прочих равных условиях мы получим определенное превосходство по прочностным характеристикам, которое выявлено на основе конечно-элементного анализа соединения кулачек – резец.

Расчет проводился посредством моделирования статического нагружения твердосплавной вставки резца усилием, действующим со стороны забоя, величиной 10КН. Закрепление резцедержателя – по нижнему торцу.

Максимальная деформация в таком случае составляет $67{,}4*10^{-3}$мм у предлагаемого варианта и $89*10^{-3}$мм у исходного, что уже в значительной степени предопределяет преимущества предложения, поскольку именно возникающие деформации способствуют пластическому деформированию державки резца, а как следствие – его потере.

На рис. 3 аналогично рассмотрены эквивалентные напряжения, возникающие под действием нагрузки, максимальное значение которых при исходном способе крепления составляет $2.19*10^{8}$Н/м^2, а при предлагаемом способе закрепления это значение составляет $1.66*10^{8}$Н/м^2.

Из рис. 4 видно, что коэффициент запаса прочности по эквивалентным напряжениям, который показывает, насколько мы близки к критическому значению возникающих напряжений, принимает минимальное значение при закреплении резца исходным методом равное 1,01 единицы.

При изменении схемы закрепления на предлагаемую, и проведении того же расчета, минимальное значение коэффициента запаса прочности увеличивается до 1.83. Положительным фактором является так же и то, что приведенное значение коэффициента запаса, в отличие от исходного варианта, оказался в зоне конечно-элементной сетки уже не державки резца, а в кулачке.

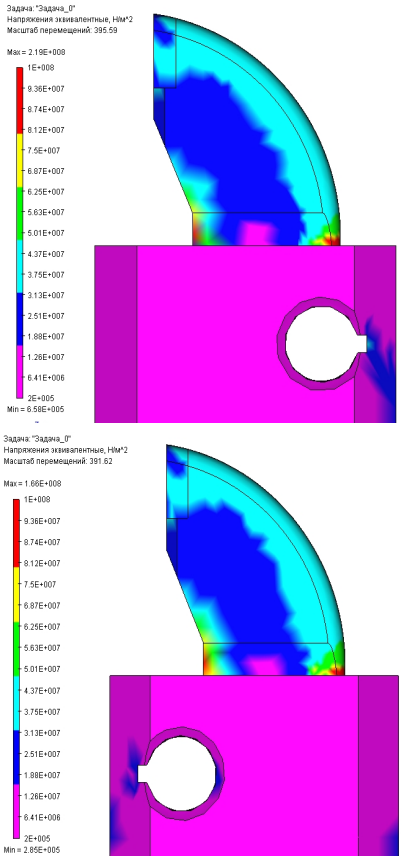


Рис. 3. Расчет эквивалентных напряжений

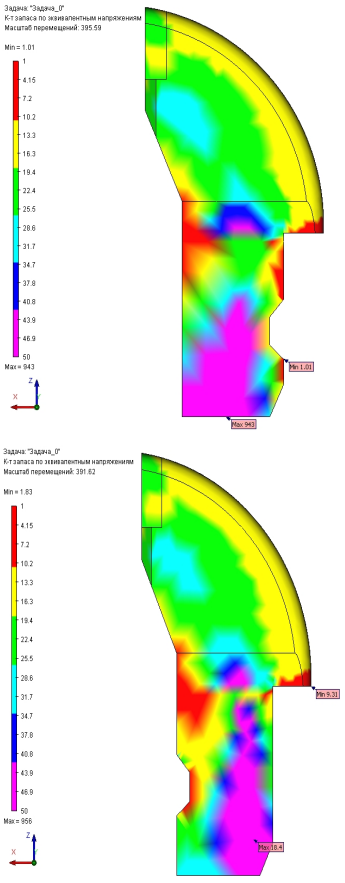


Рис. 4. Расчет коэффициента запаса

Произведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что предлагаемая схема закрепления резца в резцедержателе способна существенно улучшить характеристики взаимодействия резца и кулачка при работе комбайна: уменьшить деформации материала, снизить возникающие напряжения, и увеличить коэффициент запаса прочности. Все это способствует сокращению вероятности потери или поломки резца, а как следствие – принесет положительный экономический эффект от внедрения предложенного конструктивного исполнения на угледобывающих предприятиях Кузбасса.

Список литературы

1. Ю.А. Антонов, А.М. Цехин, С.Г. Показаньев, Горные машины и оборудование: инструкции и метод, указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 150402 «Горные машины и оборудование» всех форм обучения по дисциплине «Горные машины и оборудование подземных разработок»; ГУ КузГТУ . – Кемерово 2006.
2. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах.
3. М.С. Сафохин «Горные машины и оборудование » / М.С. Сафохин, Б.А. Александров, В.И. Нестеров. – М: Недра, 1995

ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ ДИНАМОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Туманов А.А.

Научный руководитель: Григорьев С. Н, д.т.н., профессор

МГТУ Станкин, 127055, Россиия, г. Москва, Вадковский пер., д. 3а
E-mail: ureh@gmx.com

Обработка фрезерованием является одним из самых распространенных способов формообразования в промышленности. В силу этого данный процесс является объектом постоянного изучения и оптимизации. При наблюдении за режущим инструментом во время фрезерования измерение силы резания дает возможность судить о состоянии инструмента и о самом процессе резания [1,2]. Знание сил сопротивления резанию различных металлов позволяет подобрать наиболее производительные режимы резания, полнее использовать возможности станка и инструмента. Для надежного мониторинга производства необходимо с высокой точностью определять силу резания и ее составляющие. Это особенно актуально при эксплуатации высокотехнологичного оборудования с ЧПУ, предназначенного для обработки сложных корпусных деталей.

Величина силы резания определяется ее непосредственным измерением с помощью специальных приборов (динамометров) или теоретическим расчетом. В последнем случае возникает ряд затруднений, обусловливаемых большим количеством факторов, влияющих на силу резания. Поэтому определение величины силы резания производится по упрощенным формулам. Получающаяся при этом погрешность в величине силы резания в большинстве случаев не имеет практического значения.

Из уровня техники известен универсальный динамометр УДМ конструкции ВНИИ [3]. К недостаткам данного известного динамометра следует отнести тот факт, что в силу пространственно ориентированной организации конструктивных элементов при фрезеровании концевыми фрезами на вертикальных фрезерных станках, объективно рассматриваемые составляющие силы резания могут быть измерены только на коротком участке нагрузочного стола динамометра, что не позволяет проводить длительный мониторинг составляющих силы резания. Существующие западные аналоги являются дорогостоящими и закрытыми разработками. Таким образом, разработка конкурентоспособного и доступного отечественного решения является актуальной задачей.

Изобретение (патент № 241147, заявка № 2009148348/28 от 25.12.2009) относится к области машиностроения, преимущественно для фрезерования концевыми фрезами и предназначено для измерения составляющих силы резания. Общий вид устройства в сборе и вид закрепленного динамометра на станке показаны на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

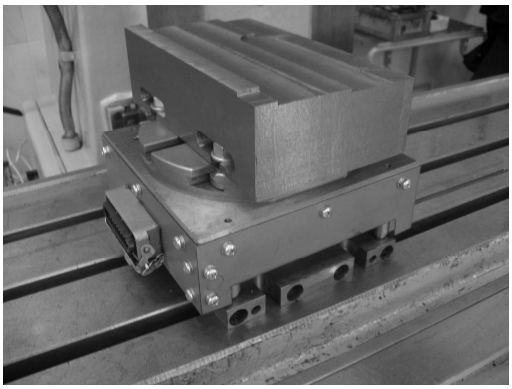


Рис. 1. Общий вид динамометра

Двухкомпонентный динамометр для измерения составляющих силы резания при фрезеровании, организован из двух взаимно перпендикулярно расположенных друг относительно друга верх-

него и нижнего нагрузочных средств прямоугольной формы в поперечном сечении, каждое их которых выполнено в виде нагрузочного стола Т – образного профиля, установленного по скользящей посадке в основании П – образной формы, и зафиксированного в нем от продольного перемещения относительно последнего средствами передачи информации, а от поперечного смещения средствами фиксации, при этом крышка стола верхнего нагрузочного средства функционально выполнена с возможностью размещения на его поверхности обрабатываемого изделия, а его основание конструктивно и функционально является крышкой стола нижнего нагрузочного средства. Разрез общего вида динамометра и поперечный разрез общего вида показаны на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

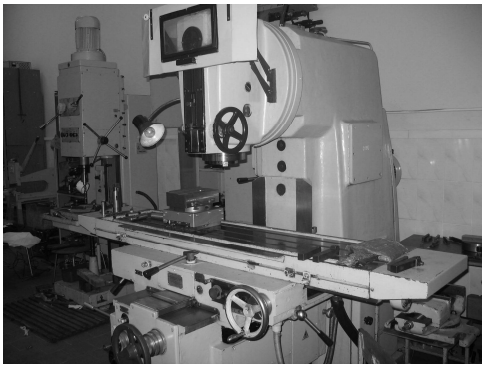


Рис. 2. Вид динамометра закрепленного на станке

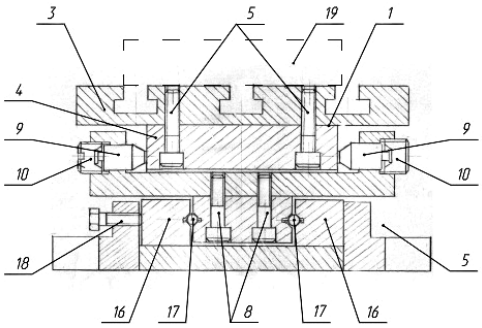


Рис. 3. Разрез общего вида динамометра

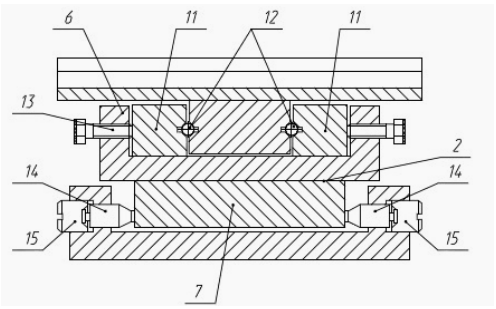


Рис. 4. Поперечный разрез общего вида динамометра

Принцип работы двухкомпонентного динамометра для измерения составляющих силы резания, заключается в следующем.

Динамометр устанавливают на станок, после чего на нагрузочном средстве 1 закрепляют обрабатываемую деталь 19, с помощью шпилек 10 и шпилек 15 осуществляется предварительный натяг тензометрических датчиков 9 и тензометрических датчиков 14; жесткая фиксация призматических направляющих 11 и призматических направляющих 16 осуществляется с помощью затяжных болтов 13 и затяжных болтов 18. Под действием силы резания, которая раскладывается на измеряемые составляющие, происходит перемещение соответствующих нагрузочных столов 1 и 2. Нагрузочные столы 1 и 2 продольно перемещаясь через стальные шарики 12 и 17 вдоль призматических направляющих 11 и 16 воздействуют на тензометрические датчики 9 и тензометрические датчики 14. Сигнал выводится на разъемное шасси (на чертеже не указано), подключенное к усилителю.

Изобретение позволяет обеспечить возможность точного измерения составляющих силы резания независимо от положения заготовки на загрузочном столе относительно центра динамометра, что в конечном итоге повышает удобство эксплуатации и наглядность испытаний.

Динамометр был изготовлен и прошел успешные испытания в МГТУ Станкин на кафедре "Высокоэффективные технологии обработки". Программа испытаний динамометра включала в себя: проверку линейности отображения прикладываемой нагрузки или разгрузки по направлениям составляющих силы резания, измеряемых с помощью динамометра; оценку взаимного влияния составляющих силы резания; оценка влияния расстояния точки приложения силы относительно центра динамометра на измеряемые составляющие силы резания; оценку инертности динамометра.

В ходе испытаний были определены линейные зависимости между прикладываемой силой резания в процессе фрезерования заготовки и показаниями информационно-измерительной системой с отклонением не превышающим 2%.

Взаимное влияние измеряемых составляющих силы резания не превышает 2%, что является высоким показателем для тензометрических динамометров.

Изменение координаты точки приложения силы резания в процессе фрезерования заготовки находится в пределах □125 мм от центра динамометра по взаимно перпендикулярным направлениям приводит к погрешности измерения в пределах 2%, что позволяет объективно контролировать силы при фрезеровании на заготовке с габаритами до 250x250x50 мм.

Список литературы

1. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М. Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.
2. Кочеровский Е. В., Лихцер Г. М. Диагностика состояния режущего инструмента по силовым характеристикам процесса резания. – М., 1988. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер.8 “Инструментальное и технологическое оснащение металлообрабатывающего производства: Обзор. информ. – ВНИИТЭМР. Вып. 7. – 40 с.
3. Руководство к универсальному динамометру УДМ конструкции ВНИИ – Москва 1969 г., прототип. – 21 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ

Филиппов А.А., Урлапкин А.В., Мамедов А.Ч.

Научный руководитель: Вакулюк В.С., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

В настоящем исследовании методом первоначальных деформаций изучалось влияние толщины деформированного (упрочнённого) поверхностным упрочнением слоя на остаточные напряжения в детали с глубокими симметричными надрезами (рис. 1).

Расчёт остаточных напряжений проводился методом конечных элементов (МКЭ) по изотропным первоначальным деформациям поверхностного слоя детали [1] в предположении плоской деформации. В силу симметрии исследуемой детали на конечные элементы треугольной формы разбивалась область (рис. 2), соответствующая четвёртой части детали. На рис. 2 указаны размеры детали и концентратора, а также толщина упрочнённого слоя δ (на рис.2 этот слой затемнён).

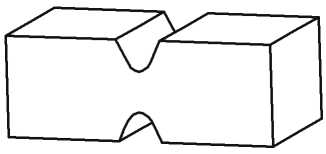


Рис. 1. Исследуемая деталь

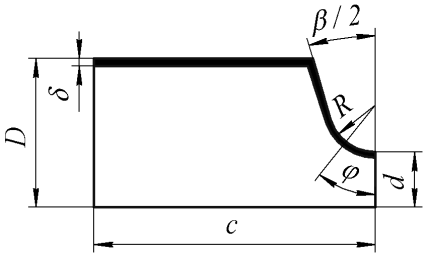


Рис. 2. Область детали, разбиваемая на конечные элементы

В расчётах принималось: величина первоначальной деформации $\varepsilon_0 = 1{,}56 \cdot 10^{-3}$, модуль продольной упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}3$. Геометрические параметры: наименьший поперечный размер d =1,0 мм и d =1,5 мм; наибольший поперечный размер D =2,5 мм и D =3,0 мм; угол раскрытия концентратора $\beta = 60^\circ$, 90° и 120°; радиус впадины концентратора R =0,25–1,25 мм; толщина упрочнённого поверхностного слоя δ =0,1 мм, 0,2 мм и 0,3 мм; длина детали $2c$ =12,5 мм. Размер c выбран из условия отсутствия краевого эффекта на распределение остаточных напряжений в области концентратора.

Результаты расчётов главных остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении детали приведены на рис. 3, где показана зависимость σ_3 от величины дуги впадины концентратора $S_0 = \frac{1}{2} R(\pi - \beta)$ при $\beta = 60^\circ$ на расстоянии 0,025 мм от поверхности для различных толщин упрочнённого слоя δ и одинаковой глубины концентратора (d =1,5 мм, D =3,0 мм и d =1,0 мм, D =2,5 мм). Обращает на себя внимание тот факт, что независимо от наименьшего размера детали d пересечение кривых для различных δ происходит при напряжении, близком к напряжению $(\sigma_3)_{\delta \to 0}$, соответствующего упрочнению бесконечно тонкого слоя и вычисленного по формуле работы [1]

$$\sigma = \frac{E\varepsilon_0}{1-\mu^2}\left(1 - \frac{\delta}{d}\right). \qquad (1)$$

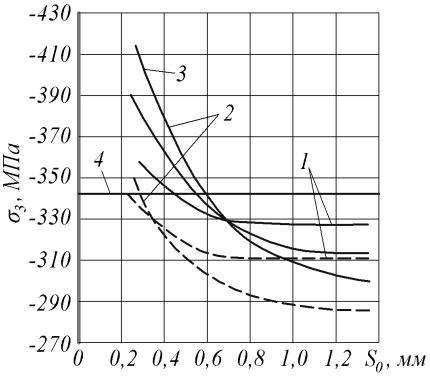


Рис. 3. Зависимость остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении детали от координаты S_0 (—— – d =1,5 мм, D =3,0 мм, β = 60°; – – – – d =1,0 мм, D =2,5 мм, β = 60°) на расстоянии 0,025 мм от поверхности при толщине упрочнённого слоя: 1 – δ =0,1 мм, 2 – δ =0,2 мм, 3 – δ =0,3 мм, 4 – $\delta \to 0$, вычислено по формуле (1)

Несовпадение ординаты точек пересечения кривых с $(\sigma_3)_{\delta \to 0}$ в нашем случае вызвано тем, что приведённые на рис. 3 значения σ_3 вычислены

МКЭ на расстоянии 0,025 мм от поверхности. Если полученные результаты экстраполировать на поверхность концентратора, то ордината точек пересечения кривых будет равна $(\sigma_3)_{\delta\to 0}$. Следовательно, существует некоторый критический размер $S_{0кр}$ ($R_{кр}$), при котором в исследованных пределах изменения δ увеличение толщины упрочнённого слоя не будет вызывать изменения сжимающих остаточных напряжений у поверхности детали. Определение $S_{0кр}$ ($R_{кр}$) для различных видов концентраторов позволит выявить влияние площади (полноты) эпюры сжимающих остаточных напряжений при их постоянной величине у поверхности на повышение сопротивления усталости деталей с концентраторами [2].

Из приведённых на рис. 3 данных следует, что для деталей с концентраторами напряжений при $S_0 < S_{0кр}$ увеличение толщины упрочнённого слоя вызывает повышение остаточных напряжений на поверхности дна концентратора и, наоборот, при $S_0 > S_{0кр}$ увеличение δ вызывает снижение напряжений на поверхности. Независимо от толщины упрочнённого слоя увеличение S_0 при неизменных других параметрах приводит к уменьшению остаточных напряжений у поверхности детали в наименьшем сечении. При достаточно больших значениях длины дуги впадины концентратора S_0 остаточные напряжения на дне надреза уменьшаются, приближаясь к остаточным напряжениям гладкой детали, вычисленным по формуле (1). Уменьшение минимальной толщины детали d при неизменных толщине упрочнённого слоя и глубине концентратора также ведёт к уменьшению остаточных напряжений.

Распределение остаточных напряжений по толщине детали a в наименьшем её сечении при различных R и β для δ=0,2 мм показано на рис. 4. Можно видеть, что при равномерной деформации всего поверхностного слоя детали экстремум сжимающих остаточных напряжений находится на поверхности впадины концентратора, а с увеличением расстояния от поверхности остаточные напряжения уменьшаются. С увеличением минимального размера d остаточные напряжения по толщине детали увеличиваются примерно на одну и ту же величину. Для всех рассмотренных значений β эпюры остаточных напряжений при различных R пересекаются в точке, ордината которой равна напряжениям гладкой детали толщиной d, вычисленным по формуле (1) для заданного значения δ. Следует отметить, что точка пересечения эпюр с увеличением угла β перемещается вглубь детали.

Таким образом, результаты проведённых расчётов показывают, что на концентрацию остаточных напряжений значительное влияние оказывают не только геометрические параметры детали и концентратора, но и толщина деформированного упрочнением слоя.

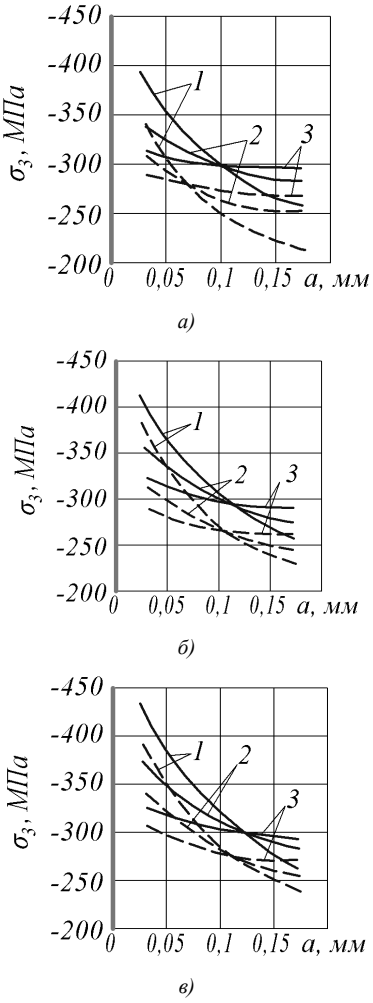


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении по толщине детали a (—— – d =1,5 мм, D =3,0 мм; – – – – d =1,0 мм, D =2,5 мм) при δ =0,2 мм, $\beta = 60^\circ$ (а), 90° (б), 120° (в) для: 1 – R =0,25 мм, 2 – R =0,5 мм, 3 – R =1,0 мм

Список литературы

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.:Машгиз, 1963. – 232 с.
2. Павлов В.Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 3-6.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Филиппов А.В.

Научный руководитель: Проскоков А.В., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: andrei_filippov_@mail.ru

Исследование деформаций и напряжений в зоне резания, позволяет прогнозировать такие важные параметры, как срок службы инструмента, качество и точность обработанной поверхности; задавать необходимые режимы резания, геометрию инструмента.

Существует большое количество работ посвященных исследованию деформаций и напряжений при резании металлов. Они основываются на двух группах методов: наблюдение за боковой поверхностью зоны резания; изучение структуры «корня стружки» в сечениях, выполненных по направлению главной секущей плоскости.

Наиболее полная информация о распределении деформаций в зоне резания была получена методом координатных сеток, а для определения напряженного состояния – методом делительных сеток, являющимся дальнейшим развитием метода координатных сеток [1]. Процесс нанесения координатных сеток накладывает серьезные ограничения, связанные со специфическими условиями деформации металлов. Размеры базы сетки лимитируются требованием однородности деформации в пределах одной ячейки. Следовательно, необходимо стремится к уменьшению размеров базы сетки. Однако лимитирующими факторами при уменьшении базы сетки являются анизотропность металлов и шероховатость, возникающая на боковой поверхности при деформации. Что значительно усложняет процесс регистрации отметок деформированной сетки.

Невозможность достаточно точного определения распределений напряжений в зоне, примыкающей к режущей кромке инструмента с помощью известных методов (разрезного резца, поляризационно-оптического, сеток, твердости) предопределяет необходимость поиска новых более эффективных методов исследования напряженно-деформированного состояния в зоне резания. С использованием новых методов необходимо получить более точную информацию о деформациях и напряжениях, а также взаимосвязях процесса резания от различных параметров.

В последние годы растет интерес к применению методов голографической и спекл-интерферометрии для экспериментального определения напряженно-деформированного состояния ответственных элементов и узлов машиностроительных конструкций. Данные методы позволяют регистрировать и осуществлять прямые измерения разностей оптических волн с точностью до $\lambda/10$, где λ – длинна волны света.

Голографические измерения по принципу действия являются многоступенчатым процессом: вначале регистрируется голограмма объекта, затем восстанавливается его изображение, а количественная информация получается в результате обработки полученного изображения. Способ регистрации и последующего восстановления изображения объекта основан на интерференции двух волн: волны отраженной, или прошедшей через изделие, и когерентной с ней опорной волны с известным распределением фаз.

Голографическая интерферометрия обладает определенными преимуществами перед традиционными методами: исследует сразу весь объект бесконтактным методом; имеет одинаковую высокую чувствительность во всех точках; дает дополнительные возможности для определения абсолютных порядков интерференционных полос, связанные с их наблюдением по всей поверхности и с возможностью следить за их перемещением при изменении угла наблюдения; использует простые алгоритмы преобразования интерференционной картины в поле деформации. В настоящее время при расшифровке голограмм используется в основном векторное уравнение Александрова-Бонч-Бруевича:

$$\vec{U}(\vec{\rho}_o + \vec{\rho}_н) = \lambda n$$

где $\vec{U}$ - вектор перемещения точки объекта, $\vec{\rho}_o, \vec{\rho}_н$ – векторы освещения и наблюдения, λ – длина волны лазера, n – порядок полос.

Одним из лучших способов получения интерферограмм с помощью голограмм является способ регистрации голограмм двойной экспозиции. Использование метода спекл-голографии позволяет регистрировать интерференционную картину при помощи фотографирования, либо видеозаписи изображения объекта в диффузном рассеянном когерентном излучении. Данный метод использует зернистость сфокусированного изображения (спеклы), освещенного когерентным све-

том. Спеклы имеют дифракционную природу и существуют благодаря диффузной составляющей освещаемого когерентным излучением объекта, рассеивающего лучи на поверхности, а также в результате ограниченного предела разрешения оптических элементов – объективов [2].

Предельная разрешающая способность объектива определяется по условию Рэлея формулой:

$$\delta = 1{,}22\frac{\lambda f}{d}$$

где λ – длина волны лазера, f – фокусное расстояние объектива, d – апертура объектива.

Относительные деформации ε, по которым известными способами могут быть подсчитаны напряжения и усилия в сечениях, определяются с применением дифференцирования по измеренным полям линейных перемещений, вызванных деформациями. Если измерены перемещения ω по нормали к поверхности детали, то деформацию можно найти только косвенным путем с использованием дифференциальной или числовой зависимости между измеренными перемещениями и искомыми деформациями, которая должна быть известна [3].

Линейные перемещения в плоскостях, касательных к поверхности деформируемой детали, могут быть измерены с применением спекл-фотографии по следующему выражению:

$$s = (\lambda / 2)(n_1 - n_2)/\sin\theta$$

где n_1 или n_2 – порядок полос на каждой голограмме, θ – угол к нормали поверхности наблюдения.

Дифференцирование, необходимое для определения относительных деформаций по измеренным перемещениям, в простых случаях выполняют графически по группам точек. Относительные линейные деформации ε_x и ε_y, а также относительные сдвиги γ_{xy} в любой выбранной точке могут быть подсчитаны на основании зависимостей:

$$\varepsilon_x = du/dx;\ \varepsilon_y = dv/dy;$$
$$\gamma_{xy} = du/dx + dv/dy$$

где u и v - линейные перемещения в направлениях осей *x* и *y* в плоскости, касательной к поверхности детали.

Информация о реакции объекта на внешнее воздействие получается из анализа и интерпретации интерференционных полос. Применение видеосъемки позволяет автоматизировать процесс расшифровки. Методы голографической и спекл-интерферометрии позволяют исследовать поля сложного пространственного напряженно-деформированного состояния объекта на качественно новом уровне с высокой точность.

Применительно к процессу свободного точения диска (вращающийся объект), существует специальный подход: голограмма неподвижна, регистрация осуществляется серией из двух или более коротких импульсов лазерного излучения, синхронизированных с одним и тем же угловым положением объекта, но с различными фазами процесса деформации [4]. Для этого, необходимо чтобы поворот объекта за время длительности освещающего импульса не приводил к образованию эффекта смазывания на голограмме. Это реализуется при помощи спроектированной экспериментальной установки рис. 1, обеспечивающей вращение на необходимой для регистрации интерференционной картины скорости порядка $V = 0{,}02$ м/мин (микроскорости). После обработки такой голограммы, при ее просмотре на восстановленном изображении можно изучать произошедшие изменения объекта, его напряженно-деформированное состояние.

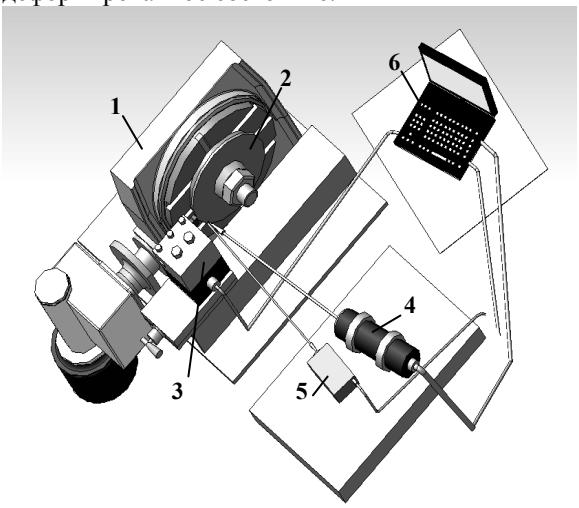


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 - силовая часть; 2 – диск (заготовка); 3 - резец с динамометром; 4- лазер; 5 - цифровая видеокамера; 6 -персональный компьютер

Список литературы

1. Полетика М.Ф. Теория резания. Часть 1. Механика процесса резания. Учебное пособие. Томск: изд. ТПУ, 2001. – 202 с.
2. Волков И.В. Внестендовая спекл-голография. Использование голографической и спекл-интерферометрии при измерении деформаций натурных конструкций. Компьютерная оптика, том 34,№1.2010. – С. 82-89.
3. Борыняк Л.А., Непочатов Ю.К. Голографический интерферометр для определения деформационных полей перемещений в изделиях микроэлектроники. Технологии в электронной промышленности, №3'2007 – С. 82-88.
4. Гуревич В.С., Гусев М.Е., Приклонский А.И., Горбачев-Фадеев А.В. Стробоголографические методы исследования деформированного состояния вращающихся объектов. БШФФ,№20 – 12 с.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ ТОКА НА СТРОЕНИЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ

Фомичев В.А., Дегтерев А.С.

Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Degterev@tpu.ru

Установлено, что объемная доля упрочняющей фазы, ее морфология, структурная устойчивость, распределение, твердость, состояние границы раздела карбид/матрица и свойства самой матрицы, вносят основной вклад в повышение износостойкости композиционных материалов и покрытий на их основе [1, 2]. Для формирования необходимой структуры с точки зрения конкретной области применения упрочненных поверхностей используют целый ряд технологических приемов. На стадии создания покрытий различными авторами предлагается введение в технологический процесс ультразвуковых колебаний или электромагнитных полей, смешивание различных фракций порошка, использование модуляции тока наплавки, или импульсной подачи плазмообразующего газа [3–6]. Изменение микроструктуры также возможно на стадии, когда покрытие уже сформировано, например, термической обработкой, механическим наклепом, воздействием ультразвука или высококонцентрированными источниками энергии. Но все эти воздействия приводят к уменьшению производительности или усложнению технологии восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов. В ряде случаев их проведение вообще не возможно из-за деградации структуры основного металла, габаритов изделия или конструктивных особенностей упрочняемых деталей. Поэтому главными при формировании микроструктуры, а значит и свойств покрытий, остаются варьирование основных параметров режима наплавки и изменение химического состава присадочных материалов.

Целью данной работы является определение влияния полярности тока на строение покрытий, получаемых плазменной наплавкой порошка ПР-Х18ФНМ.

Покрытия наносили с помощью установки плазменной наплавки УПН-303. Использовали водоохлаждаемый плазмотрон, конструкция которого предполагает установку медного электрода с вольфрамовой вставкой диаметром 5 мм, подачу плазмообразующего и транспортирующего газов. Для обеспечения повышенного уровня защиты создаваемых упрочняющих слоев от вредного влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли Ar высшего сорта. Покрытия наплавляли за один проход на массивную заготовку из стали Ст3сп. Наплавку осуществляли током прямой и обратной полярностей в интервале его значений 160–220 А.

Скорость наплавки изменяли от 4,5 до 10 м/ч. Расход порошка составлял 1,9 кг/ч, расстояние от плазмотрона до изделия 10–12 мм, расход плазмообразующего газа 1–2 л/мин, транспортирующего 10–16 л/мин, дополнительный поддув до 10–15 л/мин. Химический состав наплавляемого порошка фракции 50–200 мкм следующий: 2,1–2,4 % C, 17–19% Cr, 2–3 %Ni, Fe-основа, 7–8% V и 2–2,6 % Mo (по массе) [4]. Микроструктуру наплавок исследовали с помощью оптического микроскопа Olyimpus GX51 снабженного анализатором SIAMS 700. Карбиды ванадия выявляли рельефным полированием и исследовали отдельно от остальных структурных составляющих с применением темнопольного освещения. Для анализа эвтектических карбидов использовали травитель на основе водного раствора красной кровяной соли и гидроокиси калия. С помощью анализатора изображений оценивали объемные доли упрочняющих фаз, их средние диаметры и число частиц.

В отличие от наплавки на токе обратной полярности, когда на изделии размещаются катодные пятна, хаотически перемещающиеся по значительно большему радиусу, чем радиус столба плазмы, при наплавке на прямой полярности на упрочняемой детали находится анодное пятно. Оно имеет размеры, мало отличающиеся от диаметра плазменного потока, характеризуется их постоянством и увеличивается с увеличением силы тока наплавки. Потому и формируемые на прямой полярности упрочняющие слои отличаются гладкостью и постоянством геометрических размеров. Разброс значений ширины по длине покрытий не превышает 0,6 мм. Разброс значений высоты по длине упрочняющих слоев мал и составляет максимум 0,4 мм.

Обратная полярность обеспечивает 2–3-х мм разброс значений ширины по длине покрытий. В случае наплавки по такому технологическому варианту, создаваемые покрытия имеют большую на 20-40% ширину и меньшую на 20-40% высоту, в сравнении с наплавкой на прямой полярности при прочих равных условиях. Причем разница линей-

ных размеров тем значительней, чем ниже скорость наплавки.

Увеличение силы тока от 160 до 220 А во всех случаях способствует снижению углов смачивания, уменьшению высоты и повышению ширины упрочняющих слоев, вместе с некоторым увеличением глубины проплавления. Увеличение скорости наплавки приводит к увеличению углов смачивания и уменьшению ширины покрытий. При наплавке на токе 160 А при скорости наплавки 8 м/ч и на токах 160 А и 190 А, при скорости 10 м/ч, наблюдается пористость на границе сплавления покрытие/основной металл.

На основании анализа микроструктуры полученных упрочняющих слоев их можно характеризовать, как композиционные. В карбидной подсистеме присутствуют два типоразмера твердых включений: первичные карбиды ванадия и эвтектические карбиды хрома. Матрица представляет собой γ– и α–твердые растворы.

При наплавке как на прямой, так и на обратной полярностях на ряде режимов в поперечной структуре наплавленных слоев наблюдается определенный порядок в распределении карбидов ванадия: обнаруживаются эллиптические темные зоны с малым числом данных карбидов. В продольном, параллельном границе сплавления сечении покрытий, темные зоны, в которых понижено число карбидов ванадия, выглядят в виде отдельных сегментов, повторяющих контуры границы кристаллизации сварочной ванны. Описываемые области характеризуются более крупными эвтектическими колониями в сравнении с остальными объемами покрытий.

Изменения полярности тока, его силы и скорости наплавки приводят к изменению средних диаметров карбидов ванадия в диапазоне 1,2–1,9 мкм, их объемной доли в интервале 8-13%, и их среднего числа на 13685 мкм^2 площади микроструктуры покрытий в диапазоне 350–1200. Более концентрированный ввод тепловой энергии в случае наплавки на прямой полярности, в сравнении с наплавкой на обратной полярности, приводит к более интенсивному росту карбидов ванадия при скоростях 4,5 и 6 м/ч, формированию меньшего их числа и объемной доли в покрытиях.

Отметим также, что с увеличением размеров карбидов ванадия они приобретают ярко выраженную ромбическую или звездообразную форму. А значительный перегрев сварочной ванны способствует образованию осколковидных игольчатых карбидов.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о существенном влиянии режима формирования упрочняющего слоя на подсистему карбидов ванадия, которая по данным литературы в большей степени определяет износостойкость сплавов исследуемой системы легирования.

Значительное влияние режим наплавки оказывает и на эвтектические карбиды. В покрытиях, высотой до 4 мм, сформированных на токе в 220 А, вне зависимости от полярности, доля эвтектических карбидов от линии сплавления к поверхности слабо меняется. В среднем она составляет 20–26 %. Во всех остальных случаях наблюдается разнодисперсность и изменение строения эвтектических колоний по сечению наплавленного слоя. По мере удаления от границы сплавления отдельные, вытянутые в направлении теплоотвода эвтектические колонии начинают разориентироваться друг относительно друга, и уменьшаться в размерах (расстояние между осями второго порядка уменьшается с 2 мкм до 0.6 мкм (предел разрешения оптической системы) и меньше). Зона с обширными сетчатыми выделениями в покрытиях наблюдается на расстоянии не менее 2 мм от границы сплавления с упрочняемой деталью. Доля эвтектических карбидов тут может достигать 40–45 %.

Выводы

1. В сравнении с обратной полярностью наплавка на прямой полярности характеризуется меньшей производительностью, и более узким диапазоном режимов формирования качественных покрытий. Однако в том случае, когда необходимо создавать упрочняющие слои, характеризуемые значительными углами смачивания, либо осуществлять упрочнение деталей малых размеров, или в случае предъявления высокого уровня требований к геометрии покрытий, должна применяться прямая полярность.

2. Как на прямой, так и на обратной полярности, сила тока и скорость наплавки оказывают существенное влияние на системы карбидов ванадия и эвтектических карбидов хрома.

Список литературы

1. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати. Абразивная стойкость материалов//Трение и износ. 2006. №1. С.110–122.
2. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати // Трение и износ. 2005. № 1. С. 100–110.
3. Шевченко О. И. Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке за счет технологических воздействий: Дис. … д-ра тех. наук – Екатеринбург, 2006. 355 с.
4. Гладкий П. В. и др. Плазменная наплавка. Киев: Экотехнология, 2007. 292 с.
5. Ebert L., Thurner S., Neyka S. Beeinflussung der Hartstoffverteilung beim Plasma–Pulver–Auftragschweiβen Influencing the distribution of reinforcing particles in plasma transfer arc welding // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2009. Vol. 40. N 12. P. 878–881.
6. Копылов Д. Ю. Плазменно–порошковая наплавка модулированным током выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания: Дис. … канд. техн. наук – Тольятти, 2005. 117 с.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УБОРКИ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Хананов В.В.

Научный руководитель: А.Н. Капустин, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета, 652050, Россия, г. Юрга, ул. Заводская, 10
E-mail: rv_81@mail.ru

Производство зерна в нашей стране является одним из основных направлений деятельности растениеводства. Ежегодный сбор зерна достиг в последний период 90…100 млн. т. Министерством сельского хозяйства планируется данный показатель довести к 2015…2020 годам до уровня 120…125 млн. т. в год. Это позволяет в полной мере обеспечить все внутренние потребности в зерне, находящиеся в последнее годы в пределах 77…80 млн. т., а также увеличить поставки зерна на внешний мировой рынок с современных 20…22 млн. т. до 25…30 млн. тонн. Таким образом, Россия может стать одним из крупнейших зерновых экспортеров.

Доля товарного зерна Сибири составляет 17…20% от общего количества зерна, получаемого в стране. При этом более 60% зерна производится в Западной Сибири.

Возделывание зерновых культур в Сибирском, как и в других регионах страны, базируется на науко-вариантных технологиях и их техническом обеспечении.

Однако сравнивать и оценивать эффективность технологий, применяемых при возделывании зерновых культур, лишь по урожайности не вполне корректно. Связано это с тем, что этот показатель во многом определяется так называемым агроклиматическим потенциалом, который существенно отличается не только по регионам России, но и по сравниваемым странам. Так, если по России в целом его принять за 1, то для Западной Сибири он равен 0,56…0,63, для республики Тыва и Забайкалья – 0,36…0,43, для Краснодарского края – 1,5, в то время как для Западных земель Германии и Голландии – 2,5 [1].

Уборка урожая зерновых культур с минимальными потерями в зерне издревле была основной задачей земледельцев. Разрабатывались различные приспособления и устройства для реализации данной задачи. По истечении нескольких веков эволюции «Галльская жатка» превратилась в современный, универсальный и высокопроизводительный зерноуборочный комбайн. Но развитие современного комбайностроения пошло по одному массовому направлению: создание машины способной скосить, обмолотить и очистить хлебную массу, не взирая на коллосальные энергетические затраты. С энергетической точки зрения классический зерноуборочный комбайн крайне неэффективен. На бесполезную деформацию и перемещение соломы расходуется 70–80% энергии. Затраты мощности двигателя на передвижение комбайна по полю составляют 15–19%, по мере заполнения бункера зерном эти затраты возрастают. А на выполнение главной задачи – вымолот и очистку зерна – приходится всего 10–15% потребленной комбайном энергии. При этом засоренность зерна достигает 20%. Поэтому его приходится очищать на стационарных семяочистительных машинах в несколько приемов, затрачивая дополнительную энергию.

Вывоз зерна от комбайнов, как правило, производят автомобилем, который для этих целей не предназначен. Трансмиссия автомобиля рассчитана на движение по дорогам с твердым покрытием и на высокой скорости. При выгрузке зерна из комбайна на ходу приходится двигаться по мягкой почве со скоростью 3-4 км/час. Естественно, двигатель на низкой передаче работает на высоких оборотах со значительным расходом топлива и моторесурса. К тому же автомобиль, вывозящий зерно так уплотняют почву, что обойтись без ее разуплотнения при помощи вспашки и глубокой обработки уже нельзя. И на эти исправительные операции тоже тратится топливо.

Еще одним источником потерь зерна является транспортировка. При перевозке потери происходят через некачественные уплотнения кузовов автомобилей, из-за пересыпания через борт при движении по полям и при разгрузке. Есть еще один источник потерь от выдувания зерна из кузова при движении по дорогам. Как правило, при перевозке зерна с тока на элеватор кузов автомобиля закрывают защитным тентом. Но при движении автомобиля от комбайнов до тока, чтобы не терять время, кузов не закрывают. Поэтому на полях и обочинах дорог всегда можно увидеть дорожки из зерна.

Зерно, пройдя через комбайн, грузовые машины, транспортеры (скребки, ковши, шнеки), получает наружные повреждения – царапины, скол. А это пути для проникновения микроорганизмов внутрь зерна. Влажное зерно и сухое поврежденное зерно, соприкасавшееся с влажными частицами стеблей и семян сорняков, начинает «гореть». Микроорганизмы, проникая внутрь зер-

на, в присутствии влаги разлагают крахмал, температура при этом поднимается до 50–70°С. Зародыш в зерне погибает, оно перегорает и становится непригодным ни в пищу, ни на корм скоту.

Так же немаловажным фактором является географическая зона возделывания зерновых культур в нашем случае Сибирь – зона рискованного земледелия. В данной зоне климатические условия ставят хлеборобов в очень жесткие временные рамки, порой заставляя оставить урожай под снегом.

Для построения новой системы уборки урожая зерновых культур необходимо найти новые пути, включающие в себя разработку новых технологий уборки урожая, системы машин и операций.

Только небольшая ветвь развития современного комбайностроения приняла на наш взгляд рациональный путь – создание машин и приспособлений для очеса колосьев. Для посева семян в необработанную почву стали выпускать специальные сеялки. Применение очесывающих машин позволит снизить энергетические затраты, а следовательно и материальные затраты хозяйства. Очес позволяет примерно вдвое увеличить производительность комбайна. Специальные сеялки могут сеять семена в почву, покрытую растительными остатками – соломой, мульчей.

Собранные колосья легко будет транспортировать на ток без особых потерь, так как колосовая масса имеет меньшую «текучесть» чем зерновая. Данное свойство предотвратит просыпание материала. Так же будет возможным избежание потерь на разрушении и травмировании зерна, так как оно будет перегружаться, и транспортироваться в колосе. Применение бункеров-накопителей для транспортировки колосьев позволит уменьшить показатель травмирования колосо-зерновой массы.

Основным приоритетом в предлагаемой технологии являются стационарные машины предназначенные для обмолота колосовой части зерновых культур, которые можно установить как под открытым небом, так и в специализированных помещениях. Применение данных машин позволит снизить косвенно затраты на энергию (энергия затраченная на деформацию стеблей в комбайне), позволит избежать потерь зерна, избегая излишнее перемещение и транспортировку: транспортеры, скребки, ковши, шнеки, а так же избежать травмирование зерна, допустимое при обмолоте хлебной массы по классической технологии. А так же применение данной технологии уборки и обмолота зерновых позволит избежать известных проблем с погодой в период жатвы за счет увеличения производительности комбайна, предназначенного для очеса и сбора колосков или устройства заменяющего комбайн.

Необходимо применить высокие технологии в земледелии, такие как системы точного земледелия, которые включают в себя спутниковую навигацию, картографирование урожайности и как следствие более точное внесение удобрений, позволяющее сэкономить немалые деньги и проведение агрохимического анализа почв. Электронная карта полей дает возможность вести строгий учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, поскольку опирается на точные знания: площадей полей, протяженности дорог, информации о полях и др. Карты полей составляют основу для получения структуры севооборота и служат оптимизации производства с целью получения максимальной прибыли, а также рационального использования всех участвующих в производстве ресурсов. Электронные карты полей дают возможность точно вести планирование, учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, поскольку опираются на объективные размеры площадей полей, протяженность дорог и других объектов, нанесенных на нее в процессе создания. Так же с помощью систем спутниковой навигации можно оценивать спелость зерна на отдельных массивах поля, по цвету созреваемой хлебной массы. При этом критерием оценки может служить равномерное созревание хлебов на изучаемом массиве (цвет сухой соломы). В случае неравномерного созревания будет наблюдаться в разных местах поля участки различные по цвету (зеленоватый цвет массы). На основании сравнительной оценки с эталонными образцами агрономы – технологи по полученным материалам могут сделать выводы о способе назначаемой комбайновой уборки.

В заключении хочется сказать, что сама по себе колосовая технология уборки зерновых культур более эффективна, чем традиционная технология, но с применением стационарных обмолачивающих устройств и систем точного земледелия колосовая технология станет самой эффективной.

Список литературы:

1. Альт В.В. Точные технологии в растениеводстве Сибири // Сельскохозяйственные машины и технологии. № 1 (8), 2009 – С. 19…22
2. Джамбуршин А.Ш. Колосоуборочные машины и механизмы. Алмата: Кайнар,1977. – 152с.
3. Логинов Л.Н., Серый Г.Ф., Косилов Н.И., Гаврилов В.П. Зерноуборочные комбайны двухфазного обмолота: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по агроинженерной специальности. – М.: Информационно-аналитический и консалтинговый центр, 1999. – 336с.
4. Скребков Н.Ф. Зерноуборочный агрегат на смену комбайну // Техника и оборудование для села – 2004. – №1. – с. 24…25.
5. Чуксин П.И. Исторический анализ технических систем в прогнозном проекте. http://www.trizland.ru

УСТРОЙСТВО ПОДАЧИ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛИРОВАНИЯ НА РАБОЧИЙ СТОЛ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Цыганкова М.В.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
E-mail: maruc@sibmail.com

На протяжении веков при производстве товаров стремились механизировать ручной труд, что позволяло кратно увеличивать объем выпуска продукции. Следующий этап был связан с автоматизацией производственных процессов, что привело к повышению производительности труда.

В настоящие время на многих российских предприятиях наблюдаются подобные тенденции совершенствования технологий. Для одного из томских предприятий, которое выпускает деревянные игрушки – кубики, домино, в настоящее время производится автоматизация процесса выборки заготовок из бункера, их правильного ориентирования и поштучной выдачи на дальнейшею обработку. В частности на участке покраски кубиков необходимо проверить качество окрашиваемых поверхностей и произвести разбраковку. Проверка окрашенных поверхностей кубиков должна производиться с помощью системы технического зрения (СТЗ). Поэтому на место контроля кубики должны подаваться поочередно, при этом проверке подлежат все шесть его граней. Очевидно что такой контроль должна осуществлять достаточно сложная система. Она должна включать в свой состав помимо СТЗ, устройство переворачивания и перемещения кубиков. Кроме того должна решатся еще одна сложная задача, которая относится к началу процесса – поштучная выборка кубиков из накопительного бункера.

Бункер совместно с другими устройствами образует систему, которая решает отмеченную задачу. Существует множество конструкций таких систем. По виду движения звена, перемещающего деталь, такие системы, называемые питателями, разделяются на следующие четыре типа: с возвратно-поступательным, возвратнокачательным, вращательным и комбинированным движением [1]. Кроме того их классифицируют по виду используемой энергии: механические, пневматические, гидравлические и электромеханические.

Анализ производства показал, что в нашем случае наиболее удобен вибрационный питатель винтового типа, один из вариантов которого представлен на рисунке 1. При его работе детали перемещаются вверх по винтовому лотку под действием вибрации. Такое движение деталей может происходить с периодическим отрывом от поверхности лотка или безотрывно. Преимущества выбранного решения заключаются в сравнительной простате конструкции, возможности использования их не только для кубиков, но и объектов других форм [2].

Вибрационные бункеры изготавливаются серийно и поступают в продажу. Боле того фирмы изготовители готовы принимать заказы на адаптацию серийных вибробункеров под условия конкретных производств и их объектов манипулирования. К сожалению рассмотренные отечественные и зарубежные варианты полной мере не подходят для рассматриваемого производства. Найденные вибробункеры с электромагнитным приводом и постоянной частотой вибрации.

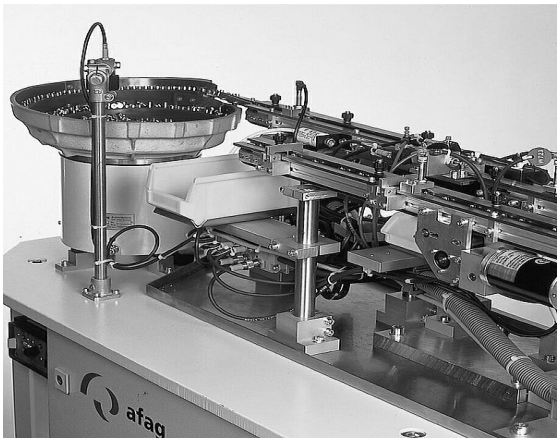


Рис. 1. Сборочный автомат фирмы AFAG для свинчивания колпачков и носиков клея «Супер момент» (Henkel-Era)

В условиях рассматриваемого производства частота должна быть переменой с целью настройки вибробункера на максимально эффективные характеристики. Поэтому было принято решение разработать и создать специализированный бункер.

Существуют различные вибробункеры с электромагнитыми системами и упругой подвеской, установленной с определенной ориентацией. Поэтому в основном настраивают только амплитуду колебания. Тяговые электромагниты обладают существенно нелинейной характеристикой – зависимость тягового усилия от координат якоря. Поэтому настройка на определенную рабочую точку характеристики при изменении частоты колебания вызывает определенные сложности. Для упрощения настройки вибробункера на требуемый режим транспортировки в предложенной конструкции

заменим электромагнитную систему на электрический двигатель с регулируемой частой вращения и установленными на его валу дисбалансами.

Вибрационный бункер состоит из плиты-основания 5, верхней плиты 2, упругих пластин 3, установленных под определенным углом, двигателя с дисбалансами 4 и чаши 1 (конусовидная с внутренней спиралью). Данный бункер находиться на стадии конструирования.

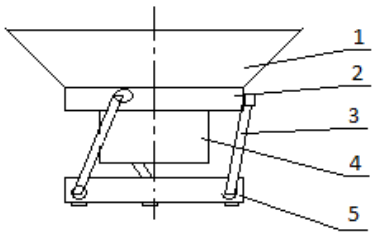


Рис. 2. Схема вибробункера: 1) чаша; 2) верхняя плита; 3) упругие пластины; 4) двигатель с дисбалансами; 5) плита-основание

На изделие (рис. 3), находящееся на наклонном вибролотке (колебания направлены под углом α к горизонту), действуют силы тяжести G, реакции лотка N, трения F и инерции.

$F_и = ma = m\square\square^{\square}\cos\square t$, где m – масса изделия, a – ускорение, $\square$ – частота вынужденных колебаний, A – амплитуда колебаний лотка.

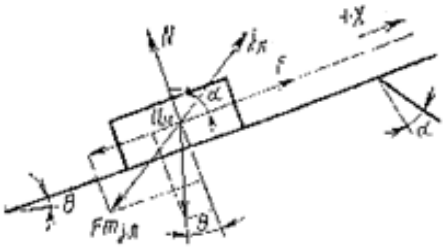


Рис. 3. Система сил, действующих на изделие в вибролотке

Действие силы инерции совпадает с направлением движения изделий по лотку, лишь в момент начала движения она направлена противоположно движению. Сила трения направлена противоположно движению изделия. Спроецировав все силы, действующие на изделие, на оси x и y, записали уравнения гармонического колебания лотка [3, 4]:

$$mx'' = -mg\sin\beta - mA\omega^2\cos\omega t\cos(\alpha-\beta) + Fsignx', \quad (1)$$

$$my'' = -mg\cos\beta - mA\omega^2\cos\omega t\sin(\alpha-\beta) + N. \quad (2)$$

где α – угол наклона плоскости колебаний; β – угол подъема лотка (направления движения); x – текущая координата центра масс изделия; y – текущая координата поверхности изделия.

Сила трения для $y = 0$:

$$Fsignx' = +fN \ при \ x' < 0;$$

$$Fsignx' = -fN \ при \ x' > 0.$$

где f – коэффициент трения скольжения изделия.

Для анализа движения изделия по вибролотку используют уравнение (2).

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление определенной частоты, амплитуды, углов вибрации, уклона рабочей поверхности для наилучшей работы бункера. Также определение размеров и материала чаши бункера. Будет создан опытный образец для анализа движения изделий.

Список литературы

1. Автоматическая загрузка технологических маши: Справочник / под ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Иванов Ю.В., Лакота Н.А. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов. – М.: Радио и связь, 1987. – 464 с.
3. Рабинович А.Н. Автоматическое ориентирование и загрузка штучных деталей. – К.: Техника, 1968. – 292 с.
4. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства и механизмы. – Гос. научно-техническое изд-во маш. литры, 1963. – 299 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ПРИВОДА БЕЗОПОРНОГО БУГЕЛЬНОГО ПОДЪЕМНИКА

Цыганков Р.С., Шибинский К.Г., Ефременков Е.А.

Научный руководитель: Ефременков Е.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tsygankov@vtomske.ru

В настоящее время горнолыжный спорт это один из наиболее популярных и активно развивающихся видов спорта в России, в том числе и на территории Томской области. В связи с этим возникает острая необходимость в обеспечении склонов Томской области горнолыжными подъемниками. Характерными особенностями Томской области является то, что склоны имеют небольшой угол наклона – 10°-20° и малую длину спуска – 150-300 метров при этом зачастую необходим демонтаж подъемников на летний период. В силу этих обстоятельств рациональным будет использование легких бугельных подъемников без промежуточных опор. Главным недостатком предла-

гаемых в настоящее время на рынке образцов являются их большой вес и габариты, что усложняет процессы монтажа–демонтажа, хранения и транспортировки. Основным элементом, определяющим вес бугельного подъемника, является его привод, исходя из этого, была поставлена задача максимального уменьшения массогабаритных характеристик проектируемого привода для бугельного подъемника.

В качестве примера для расчета требуемых параметров привода был выбран спуск со следующими усредненными характеристиками: протяженность 150 метров, угол наклона 15°. Зададимся скоростью подъема 1,6 м/с, что обеспечит пропускную способность подъемника 565 чел/час.

При предварительных расчетах необходимого крутящего момента и мощности привода подъемника было выяснено, что они имеют значения: P=6,1 кВт; $M_{кр}$=2880 Н*м. После анализа классических типов приводов, предлагаемых на рынке, наиболее подходящим по заданным параметрам был выбран планетарный мотор-редуктор МР3-315-7,5-20-Ф1В-УЗ со следующими характеристиками: P=7,5 кВт; $M_{кр}$=3397 Н*м; n=20 об/мин; m=402 кг; L= 1167 мм; $D_{фланца}$ =550 мм.

Но данный мотор-редуктор не обеспечивает главных предъявляемых требований, таких как легкость и компактность. В результате было решено применить для данного привода пару – асинхронный электродвигатель АИР132М6 (7,5 кВт; 1000 об/мин), предлагаемый СКБ «Сибэлектромотор» г. Томск и одноступенчатый редуктор с промежуточными телами качения, который должен обеспечить высокое передаточное отношение при малых массогабаритных характеристиках.

В настоящее время отечественные производители изготавливают передачи с промежуточными телами качения с нагруженным сепаратором (рис. 1) [1].

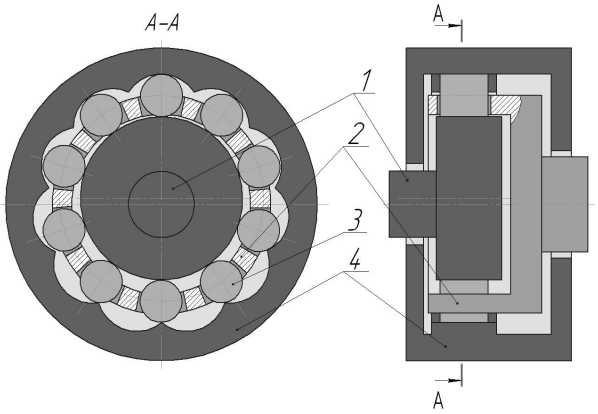


Рис. 1. Передача с промежуточными телами качения: 1 – генератор; 2 – сепаратор; 3 – тело качения; 4 – венец

Передача, изображенная на рис. 1 работает следующим образом: при вращении ведущего вала эксцентриковый диск генератора 1 задает радиальное перемещение телам качения 3 в пазах сепаратора 2, которые, обкатываясь при этом по внутреннему профилю зубчатого венца 4, вызывают его вращение при закрепленном сепараторе 2 или поворачивают сепаратор 3 при зафиксированном профильном венце 4.

К достоинствам этой передачи можно отнести следующее: надежность, значительный срок службы, компактность, малую массу, малый момент инерции, бесшумность в работе [2].

Но наряду с существенными достоинствами данная передача имеет технологический недостаток – при производстве на колесе передачи требуется получить внутренний циклоидальный профиль. Данный профиль можно получать только электроэрозионной обработкой или фрезерованием на станках с ЧПУ, что является непроизводительными методами и требует применения дорогостоящего оборудования.

Имеющийся недостаток можно устранить, выполнив циклоидальный профиль на наружной поверхности колеса, что будет более технологично, так как в этом случае обеспечивается свободный подвод и отвод инструмента к обрабатываемой поверхности. Передача с колесом, имеющим наружный профиль, представлена на рис. 2 [3].

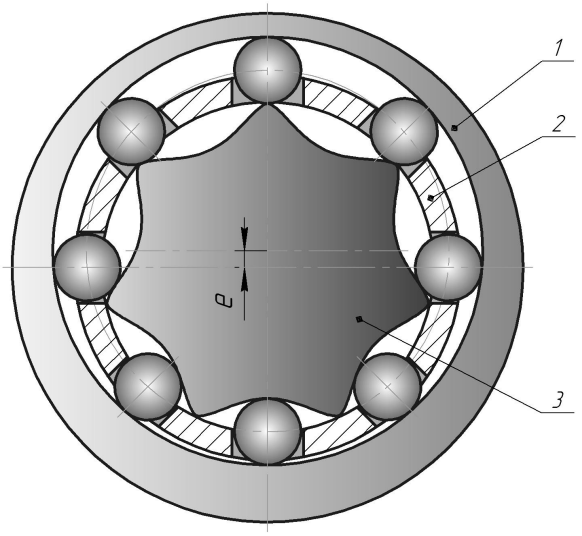


Рис. 2. Плоская радиальная передача с промежуточными телами качения: 1 – генератор (водило); 2 – сепаратор с телами качения; 3 – кулачок; e – эксцентриситет передачи

В передаче генератор волн – эксцентрик *1*, вращаясь, задает радиальное перемещение телам качения в пазах неподвижного сепаратора *2*. Тела качения, контактируя с рабочим профилем кулачка *3*, вызывают его вращение.

Передаточное отношение данной передачи напрямую зависит от числа выступов профиля кулачка, она позволяет получать передаточные числа в интервале от 10 до 60 в одной ступени [4]. Это дает возможность использования ее в приводе безопорного бугельного подъемника.

В целях равномерного распределения нагрузки и компенсации дисбаланса в конструкции будет использоваться четыре ряда тел качения, которые контактируют с четырьмя эксцентриками, расположенными под 180º.

Компоновочный эскиз привода бугельного подъемника приведен на рис. 3.

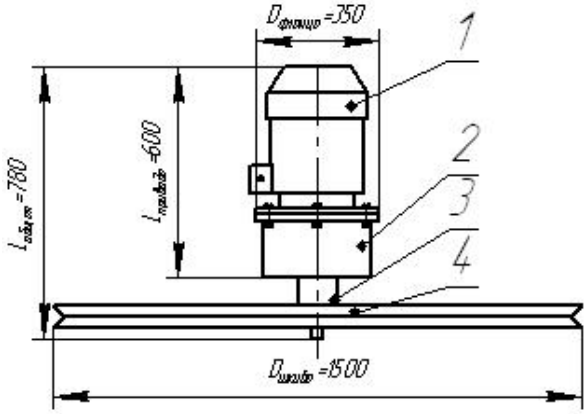


Рис. 3. Компоновочный эскиз привода бугельного подъемника: 1 – асинхронный электродвигатель; 2 – редуктор с ПТК; 3 – муфта; 4 – приводной шкив

Предварительный расчет и компоновочная прорисовка проектируемого привода показывают, что использование предлагаемой схемы позволяет сократить массу редукторной части привода относительно существующей планетарной схемы в два раза, при одновременном существенном уменьшении габаритов.

В итоге, применение связки электродвигателя мощностью 7,5 кВт и редуктора с плоской радиальной передачей с промежуточными телами качения обеспечивает высокие эксплуатационные качества и является решением поставленной технической задачи по снижению массогабаритных характеристик привода безопорного бугельного подъемника.

Однако для дальнейшего проектирования редуктора с ПТК безопорного бугельного подъемника необходимо произвести расчет элементов редуктора на контактную и усталостную прочность, разработать сборочный чертеж редуктора, а также оформить рабочую документацию на изготовление деталей. Разработать технические указания по эксплуатации. В дальнейшем планируется внедрить проектируемый редуктор в производство.

Список литературы

1. RU 2029168C1. Передача с промежуточными звеньями. А.Е. Брезгин, Э.Н. Панкратов, 1995.
2. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства. Практикум лидера-проектировщика. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 1998.
3. Патент РФ № 2362072 C1. Передача с промежуточными звеньями. Е.А. Ефременков, К.Г. Шибинский, Ан И–Кан. Подана 25.04.2008, опубликован 20.07.09 бюл.№20.
4. Шибинский К.Г., Ан И–Кан, Ефременков Е.А. Расчет геометрии и кинематический анализ плоской радиальной передачи с промежуточными телами качения // Сборник докладов научно–технической конференции с международным участием «Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения». – Ижевск: Изд–во ИжГТУ, 2008. – с. 193–196.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА МИ-8 ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С.

Научный руководитель: Бохоева Л.А., д.т.н., профессор

Восточно-Сибирский государственный технологический университет
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40 «в»
E-mail: anechka227@yandex.ru

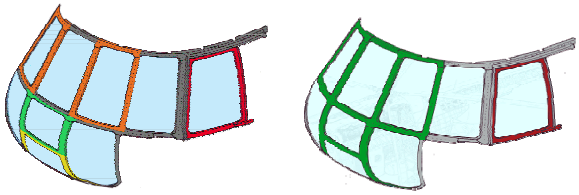
Применение композиционных материалов в конструкциях вертолета открывает широкие возможности, как для совершенствования существующих конструкций, самого разнообразного назначения, так и для разработки новых конструктивных решений и технологических процессов [1]. Применение композиционных материалов в конструкции каркаса остекления носовой части вертолета, предполагает, что конструкция должна удовлетворять конструктивно-эксплуатационным требованиям, обладать повышенными жесткостными характеристиками, отличаться высокой технологичностью изготовления и невысокой себестоимостью. Модернизация технологий, в том числе увязка и проблема взаимозаменяемости деталей остекления, выбор материала для изготовления каркаса вертолета Ми-8 является перспективным направлением. Кабина экипажа вертолета Ми-8 имеет большую площадь остекления с силовым набором из литейного магниевого сплава, блистеры для аварийного покидания кабины экипажем располагаются по бокам кабины и сдвигаются по потоку. Фонарь кабины экипажа состоит из каркаса и остекления. Каркас фонаря собран из металлических профилей, жесткостей и облицовочных рамок, скрепленных между собой винтами и заклепками. Фонарь остеклен органическим стеклом. По периметру стекла окантованы резиновыми профилями,

вставлены в магниевые литые рамки и прижаты через дюралюминиевую облицовку винтами со специальными гайками. Наиболее «уязвимым местом» являются рамы панелей остекления, которые отливаются из магниевого сплава.

Рассматривались две схемы конструкций остекления кабины вертолета из композиционного материала:

1. Стандартная схема, состоящая из отдельных рам из композиционного материала не скрепленных между собой, на рисунке 1(а) рамы отмечены оранжевым, зеленым и желтым цветом.

2. Альтернативная схема рам из композиционного материала, которая представляет собой цельную конструкцию, показанная на рисунке 1(б) зеленым цветом.



а б

Рис. 1. Схемы рам остекления: а – стандартная схема; б – альтернативная схема

В соответствии с технологической документацией были смоделированы рамы из слоистых композиционных материалов с применением интегрированных CAD/CAE систем. Расчеты на прочность отдельных рам и цельной конструкции из литого магния и композиционного материала были проведены в системах ANSYS и NX при действии равномерного давления эквивалентного действующим нагрузкам на остекление вертолета.

Проведены эксперименты по анализу и выбору композиционного материала. Образцы изготавливались из стекло- и углепластика, соответствующие размерам стоек рам, идеализированной формы, показанные на рисунке 2. Образцы изготавливались с различными углами армирования волокон: [0, 90], [45, -45], [0, 45], [45, 90] с разным количеством слоев (от 10 до 30 слоев).

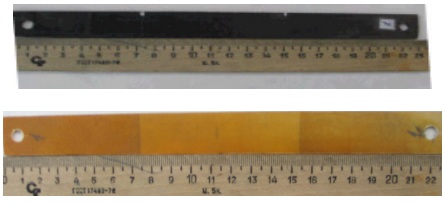


Рис. 2. Образцы из стекло- и углепластика

Применение композиционного материала требует учета новых факторов, таких как: нелинейный характер деформирования, опасность разрушения вдоль поверхности раздела слоев, определяющих несущую способность конструкции. Следствием несовершенства технологии производства являются межслойные дефекты, которые могут существенно влиять на прочность и жесткость элементов конструкции из слоистых композитов [2, 3]. Поэтому для экспериментальных работ изготавливались образцы без дефектов и с заложенными технологическими дефектами на разной глубине и разной формы, в виде непроклеев, показанные на рис. 3.

Полученные результаты эксперимента были обработаны запатентованным программным комплексом с применением системы технического зрения. Была определена скорость подрастания дефектов, получена динамика прироста длины трещины отслоения и определена в каждой серии средняя критическая сила отслоения.



Рису. 3. Экспериментальный образец из стеклопластика с заложенным технологическим дефектом

Результаты, полученные в работе:

1. Проведены расчеты на прочность рам в системах ANSYS и NX, которые показаны на рис. 4–6. Оптимальной конструкцией по показателям технологичности, себестоимости, массовым характеристикам является цельная конструкция – альтернативная схема, показанная на рисунке 7. Композиционные материалы, в частности стеклопластик, не уступает по удельной прочности при действующих одинаковых нагрузках (аэродинамические нагрузки – скоростной напор 3 кН/м^2, массовые нагрузки – 73,6 Н) магниевому сплаву. Полученные результаты расчетов показали расхождение по прочности на изгиб рам из литого магния и композиционного материала 3-5%.

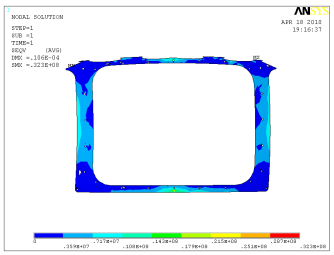


Рис. 4. Расчет на прочность при равномерном давлении отдельной рамы из композиционного материала в системе ANSYS

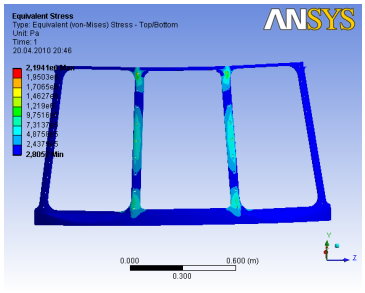


Рис. 5. Расчет на прочность при равномерном давлении части цельной рамы из композиционного материала в системе ANSYS

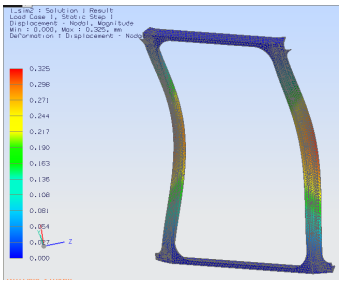


Рис. 6. Расчет на прочность при равномерном давлении отдельной рамы из литого магния в системе NX (перемещения)

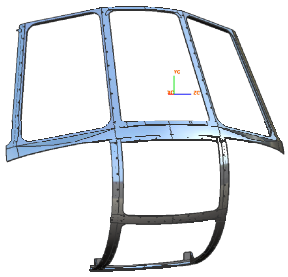


Рис. 7. Цельная конструкция каркаса остекления Ми-8 в системе NX

2. Анализ результатов проведенных экспериментальных работ выявил, что наилучшим материалом для рам остекления вертолета Ми-8 является стеклопластик, с укладкой волокон под углом [0, 90].

Список литературы

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Бохоева Л.А. Особенности расчета на прочность элементов конструкции из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами// – Изд. ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2007.-192 с.
3. Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. Моделирование элементов конструкций из слоистых композиционных материалов при наличии дефектов в системе ANSYS// Современные техника и технологии: сб.тр. XV междун. научно-практической конференции студентов и молодых ученых – Томск, 2009. - С. 346-348.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы»

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Чирков А.В., Цапкова А.Б., Шкатов А.А.

Научный руководитель: Кирпичёв В.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва ситет), 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

При внедрении в производство новых упрочняющих технологий следует разрабатывать и апробировать научно обоснованные расчётные методы прогнозирования характеристик сопротивления усталости деталей с целью сокращения длительных и дорогостоящих испытаний на усталость. После упрочнения в поверхностном слое детали возникают наклёп и сжимающие остаточные напряжения. Установлено [1], что основную роль в повышении сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей в условиях концентрации играют сжимающие остаточные напряжения. В работе [2] для прогнозирования приращения предела выносливости упрочнённых деталей с концентраторами по остаточным напряжениям был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ в виде

$$\overline{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi}\int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}}d\xi\,, \qquad (1)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором по толщине поверхностного слоя a; $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости при изгибе в случае симметричного цикла $\Delta\sigma_{-1}$ упрочнённой детали с использованием критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ можно определить по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{-1} = \overline{\psi}_{\sigma}\cdot\left|\overline{\sigma}_{ост}\right|, \qquad (2)$$

где $\overline{\psi}_{\sigma}$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости.

Для проверки возможности применения критерия $\overline{\sigma}_{ост}$ для упрочнённых деталей из стали 20

были проведены эксперименты на цилиндрических образцах с круговыми надрезами полукруглого профиля. Исследуемая сталь 20 имела следующие механические характеристики: σ_T = 395 МПа, $\sigma_в$ = 522 МПа, δ = 26,1%, ψ = 65,9%, S_k = 1416 МПа.

Гладкие образцы диаметром 10 мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО) дробью диаметром 1,5-2 мм при давлении воздуха 0,25 МПа в течение 10 минут, а также обкатке роликом (ОР) диаметром 60 мм и профильным радиусом 1,6 мм при усилии P = 0,5 кН и P = 1,0 кН с подачей 0,11 мм/об и скоростью вращения образца 400 об/мин. Затем на все упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиуса R = 0,3 мм и R = 0,5 мм. Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок [3], а в образцах с надрезом – суммированием дополнительных напряжений, возникающих при нанесении надрезов на упрочнённую поверхность, и остаточных напряжений гладких образцов [4]. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a в гладких и надрезанных образцах представлено на рис. 1.

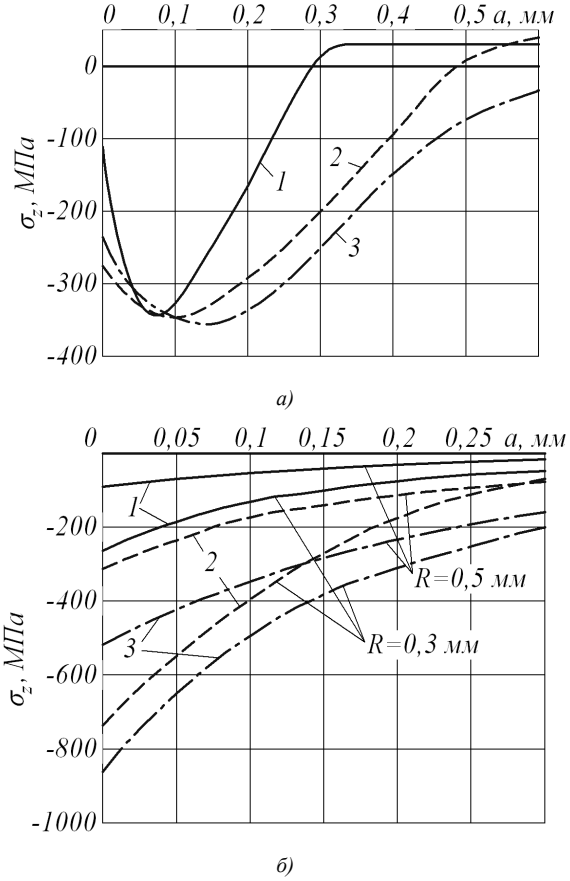


Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в упрочнённых гладких образцах (а) и в образцах с надрезом R = 0,3 мм и R = 0,5 мм (б) из стали 20 после: 1 – ПДО; 2 – ОР, P = 0,5 кН; 3 – ОР, P = 1,0 кН

Испытания упрочнённых и неупрочнённых образцов с надрезом на усталость при чистом изгибе с вращением в случае симметричного цикла проводились на машинах МУИ-6000, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Упрочнённые образцы, выстоявшие базу испытаний при напряжениях, равных пределу выносливости, были доведены до разрушения при бóльшей нагрузке. На изломах этих образцов были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, глубина $t_{кр}$ которых в среднем составляла 0,198 мм, что соответствует зависимости $t_{кр}$ от диаметра детали (образца), установленной в [5–7]. На рис. 2 представлена фотография излома одного из упрочнённых образцов, на которой чётко видна нераспространяющаяся трещина усталости *2*.

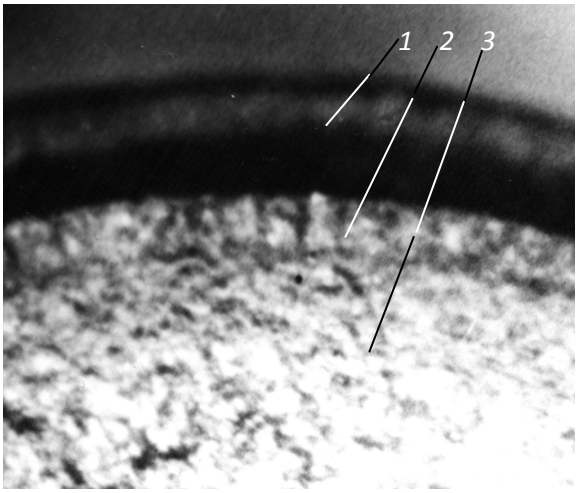


Рис. 2. Фрагмент излома упрочнённого дробью образца диаметром 10 мм с надрезом R = 0,5 мм из стали 20: 1 – надрез, 2 – нераспространяющаяся трещина, 3 – зона долома

Результаты определения предела выносливости σ_{-1}, расчёта $\overline{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ представлены в таблицах 1 и 2.

Из представленных в таблице данных видно, что для упрочнённых образцов с надрезом из стали 20 значение коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ при изгибе в случае симметричного цикла составляет в среднем 0,366, что практически совпадает со значением $\overline{\psi}_\sigma$ = 0,36 для образцов и деталей из сталей других марок и сплавов на основе никеля с такой же концентрацией напряжений [5–7].

Таблица 1

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений (R = 0,3 мм)

Неупрочнённые образцы σ_{-1}, МПа	Упрочнённые образцы			
	обработка	σ_{-1}, МПа	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	$\overline{\psi}_\sigma$
110	ПДО	155	-126	0,357
	ОР, P = 0,5 кН	230	-337	0,356
	ОР, P = 1,0 кН	267,5	-454	0,347

Таблица 2

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений (R = 0,5 мм)

Неупрочнённые образцы σ_{-1}, МПа	Упрочнённые образцы			
	обработка	σ_{-1}, МПа	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	$\overline{\psi}_{\sigma}$
120	ПДО	137,5	-48	0,365
	ОР, P = 0,5 кН	187,5	-178	0,379
	ОР, P = 1,0 кН	250	-333	0,390

Таким образом, проведённое исследование показало, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ может быть использован для прогнозирования приращения предела выносливости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений из стали 20.

Список литературы

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность // Проблемы прочности. – 1976. – №5. – С. 25-27.
2. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
3. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.
4. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных кострукций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.
5. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
6. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №12. – С. 37-40.
7. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА ЭИ698ВД

Чирков А.В., Букатый А.С., Лунин В.В.

Научный руководитель: Кирпичёв В.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: sopromat@ssau.ru

В работе [1] для оценки влияния сжимающих остаточных напряжений, возникающих при поверхностном упрочнении, на предел выносливости деталей с концентраторами напряжений был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ в виде

$$\overline{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi}\int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}}\,d\xi\,, \qquad (1)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в опасном сечении образца (детали) по толщине поверхностного слоя a; $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от поверхности опасного сечения до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости [2].

Критерий $\overline{\sigma}_{ост}$ учитывает влияние на предел выносливости не только величины, но и характера распределения сжимающих остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя детали. Используя этот критерий, представляется возможным прогнозировать предел выносливости при изгибе в случае симметричного цикла детали с концентратором напряжений за счёт поверхностного упрочнения по формуле

$$\sigma_{-1}^{y} = \sigma_{-1}^{0} + \overline{\psi}_{\sigma}\cdot\left|\overline{\sigma}_{ост}\right|, \qquad (2)$$

где σ_{-1}^{y} – предел выносливости упрочнённой детали; σ_{-1}^{0} – предел выносливости неупрочнённой детали; $\overline{\psi}_{\sigma}$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по критерию $\overline{\sigma}_{ост}$.

Возможность использования критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов и деталей с концентраторами напряжений изучена в работе [2]. В настоящем исследовании предпринята попытка

использовать критерий $\overline{\sigma}_{ост}$ для прогнозирования предела выносливости при изгибе гладких плоских образцов толщиной 3 мм из сплава ЭИ698ВД, упрочнённых пневмодробеструйной обработкой на различных режимах. В работе исследовалась также микротвёрдость упрочнённых образцов и её связь с остаточными напряжениями.

Образцы для определения остаточных напряжений (рис. 1) и испытаний на усталость (рис. 2) после шлифования (исходное состояние) подвергались упрочнению стальными шариками диаметром 0,18-0,50 мм при различном давлении воздуха *P*. Режимы упрочняющей обработки приведены в табл. 1.

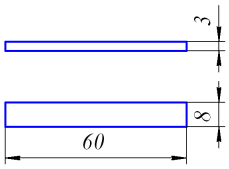


Рис.1. Образец для определения остаточных напряжений

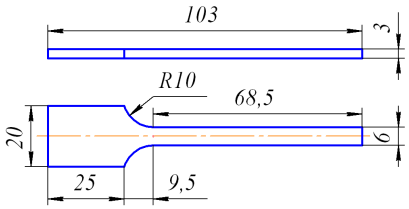


Рис. 2. Образец для испытаний на усталость

Таблица 1

Режимы упрочнения, результаты измерения остаточных напряжений и испытаний на усталость

№ режима упрочнения	*P*, МПа	$\sigma_z^{пов}$, МПа	$\overline{\sigma}_{ост}$, МПа	σ_{-1y}, МПа	$\overline{\psi}_\sigma$
1	0,15	-440	-531	545,4	0,400
2	0,3	-280	-524	562,6	0,438
3	0,45	-260	-483	630,2	0,616
4	0,6	-220	-472	574,8	0,513
5	шлиф.	–	–	332,9	–

Осевые остаточные напряжения σ_z в образцах по толщине поверхностного слоя a определялись по методике работы [3] и приведены на рис. 3. В образцах после шлифования (исходное состояние – эпюра 5) действовали растягивающие остаточные напряжения с максимумом 180 МПа на глубине 0,04 мм. При упрочнении стальными шариками с увеличением давления воздуха глубина залегания сжимающих остаточных напряжений увеличивается при одновременном уменьшении напряжений к поверхности и смещении максимума от поверхности вглубь образца. В табл. 1 приведены значения остаточных напряжений $\sigma_z^{пов}$ на поверхности упрочнённых образцов.

Ускоренные испытания на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на вибростенде, база испытаний – $2 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Значения условного предела выносливости σ_{-1y} представлены в табл. 1. В упрочнённых образцах после испытаний на усталость при напряжениях, равных пределу выносливости, были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, средняя глубина которых составляла $t_{кр} = 0{,}065$ мм. На рис. 4 приведена фотография излома упрочнённого образца, на которой видна нераспространяющаяся усталостная трещина *1*.

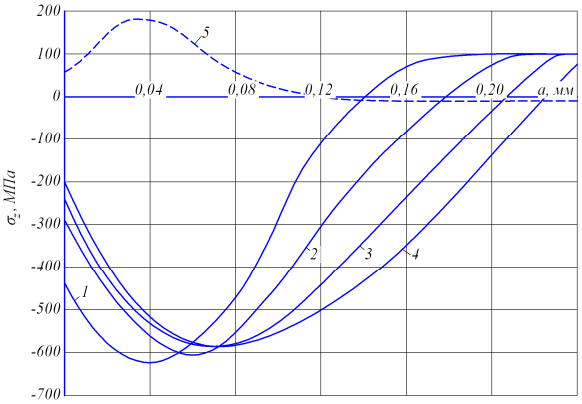


Рис. 3. Осевые остаточные напряжения σ_z в образцах после упрочнения (1–4) и в исходном состоянии (5)

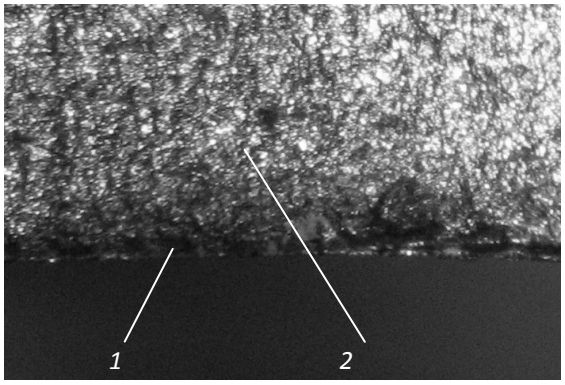


Рис. 4. Усталостный излом плоского упрочнённого дробью образца: 1 – нераспространяющаяся трещина, 2 – зона долома

Используя методику работы [1], были вычислены среднеинтегральные остаточные напряжения $\overline{\sigma}_{ост}$ по толщине поверхностного слоя образца, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости. Значения $\overline{\sigma}_{ост}$ приведены в табл. 1. Здесь же приведены значения коэффициента влияния остаточных напряжений $\overline{\psi}_\sigma$ на предел выносливости.

При упрочнении стальными шариками коэффициент влияния остаточных напряжений $\overline{\psi}_\sigma$ составляет в среднем 0,492 и практически совпадает с величиной $\overline{\psi}_\sigma$, вычисленной по формулам работ [4, 5] для случая гладкой детали, то есть без концентратора напряжений. Приняв теоретический α_σ и эффективный K_σ коэффициенты концентрации напряжений равными единице, получим среднее значение коэффициента $\overline{\psi}_\sigma = 0{,}490$. Такое

совпадение коэффициента $\overline{\psi}_\sigma$ объясняется устойчивостью остаточных напряжений в образцах, упрочнённых стальными шариками [6], что было установлено измерением микротвёрдости.

Таким образом, проведённое исследование показало, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\overline{\sigma}_{ост}$ можно использовать и для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых гладких деталей, но лишь в том случае, когда сжимающие остаточные напряжения не изменяются под действием переменных нагрузок.

Список литературы

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.
3. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
4. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Сургутанова Ю.Н., Иванов В.Б. Сопротивление усталости упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды Шестой Всероссийской конференции с международным участием. Ч. 1. Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 126-131.
5. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Каранаева О.В., Иванов Д.В. Влияние остаточных напряжений на предел выносливости детали при различной степени концентрации // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Материалы докладов МНТК 24-26 июня 2009 г. Ч. 2. – Самара: СГАУ, 2009. – С. 178-179.
6. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность // Проблемы прочности. – 1976. – №5. – С. 25-27.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

НЕМНОГО О ПЕРЕДАЧАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Чумакин Р.В., Черемнов А.В., Пашков Е.Н.

Научный руководитель: Ан И-Кан, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rutoro@mail.ru

До сих пор не сформировалось однозначного мнения по поводу передач с промежуточными телами качения (ПТК). Одни авторы относят передачи данного типа к волновым [1], другие приравнивают их к планетарным [2, 3]. На единый план выходят передачи, в которых ПТК имеют возможность движения, относительно сопрягаемых с ними звеньев, и передачи, где ПТК лишенные такой возможности [4].

Просматривая различные источники приходишь в замешательство от названий звеньев, применяемых для обозначения звеньев передачи с ПТК. Так если рассмотреть передачу с ПТК представленную на рисунке 1, мы можем дать следующие названия ее звеньям:

- звено 1 – генератор [2, 4,], эксцентрик [3];
- звено 2 – промежуточное тело качения [2], тело качения [4], сателлит [3];
- звено 3 – сепаратор [2, 4,], обойма [2], водило [5];
- звено 4 – зубчатый венец [2], вал [3], венец [4].

Из вышеизложенного, мы убедились, что в научных работах нет единого мнения не только в отношении типа передач с ПТК, но и в отношении названий звеньев.

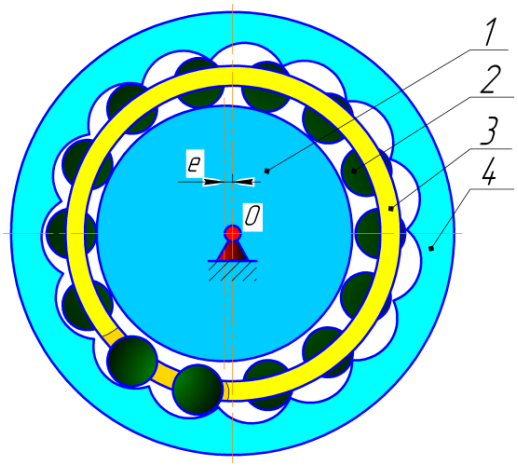


Рис. 1. Передача с ПТК

Заранее, оговорим, что под передачами с ПТК, в данной работе, понимаются лишь те передачи, в которых промежуточные тела имеют возможность перекатываться по сопряженным с ними поверхностям. Те передачи, в которых промежуточные тела установлены в пазы (рис. 2), на наш взгляд не следует относить к передачам с промежуточными телами качения.

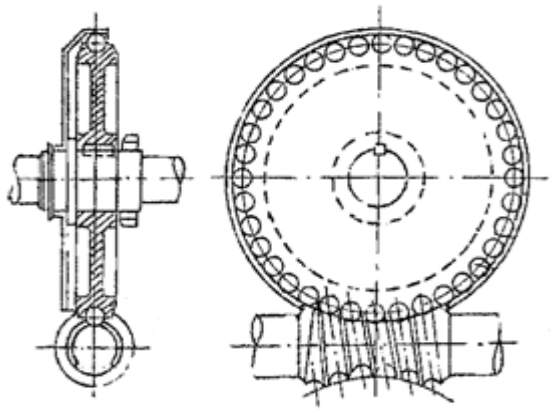


Рис. 2. Червячная передача с круглыми зубьями

Отсутствие гибких элементов в составе передачи с ПТК (рис. 1) позволяет утверждать, что она не является волновой передачей.

Обратимся к схеме планетарного механизма (рис. 3).

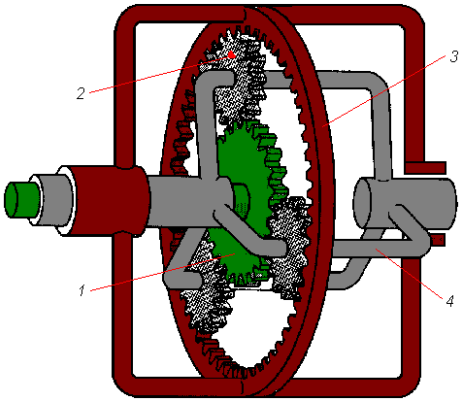


Рис. 3. Планетарная передача

Нам известно [6], что *центральным колесом* 1, 3 называется зубчатое колесо, ось которого совпадает с основной осью и сцепляющееся с сателлитами. *Основной осью* называется неподвижная ось, около которой вращается или может вращаться водило. *Водилом* (4) называется звено, на котором установлены зубчатые колеса с подвижными осями. Звено с зубчатым венцом, ось которого подвижна, называется *сателлитом* 2.

Из характера движения звена 2 передачи с ПТК (рис. 4) ясно, что данное звено является сателлитом. Следовательно, звено 1 – водило. Без особых затруднений можно доказать, что центральное колесо с внутренними зубьями 3 планетарной передачи (рис. 3) является прототипом центрального колеса 5 передачи с ПТК (рис. 4).

Что же касается звена 4 передачи с ПТК (рис. 4) то помимо вращательного движения относительно собственной оси и вращения относительно основной оси данное звено совершает еще и возвратно-поступательное движение относительно основной оси передачи (рис. 5), т.е. указанное звено является шатуном и не может называться сателлитом. Предлагаем закрепить за данным звеном термин «*промежуточное тело качения*» в связи с его основными задачами.

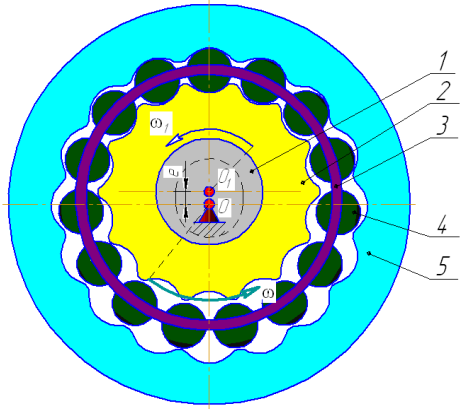


Рис. 4. К определению названий звеньев

За звеном 3 передачи с ПТК (рис. 4), предлагаем закрепить термин «*сепаратор*» (от англ. separator – «разделитель»).

Закрепив водило 1 (рис. 4) мы получим передачу с неподвижными осями с ПТК.

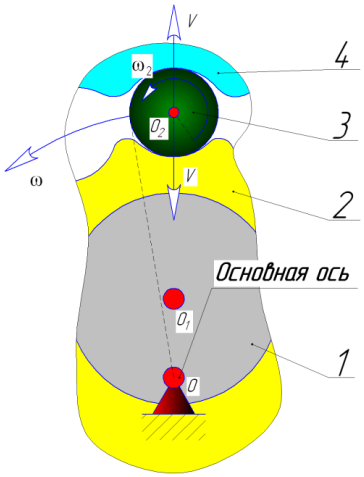


Рис. 5. Движения ПТК

Таким образом, говоря о классификации передач с ПТК, нет смысла выделять их в отдельный вид, а стоит лишь акцентировать внимание на виде зацепления.

Список литературы

1. Янгулов В.С. Кинематическая погрешность волновой передачи с промежуточными телами качения // Известия Томского политехнического университета. 2009 – Т. 314, № 2 с. 49 – 54
2. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности. Изд-во ТПИ, 1986. – 60 с.
3. Лустенков М.Е. Планетарные шариковые передачи. Особенности расчета на прочность // Вестник машиностроения. 2010, № 9. с. 13 – 17
4. Шибинский К.Г., Ефременков Е.А. Классификация передач с промежуточными телами качения // Современные проблемы машиностроения: Труды IV международной научно-технической конференции. – Томск, 2008 г. с. 23 – 26
5. Передачи со свободными телами качения, обзор патентной литературы [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.redbear.ru/file/spo.pdf – 5.02.2011
6. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. М.: Машиностроение, 1966. – 308 с.

ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕДИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ МЕЗА

Шакан Я.

Научный руководитель: доцент Р.А. Кректулева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: aibat_01_01@mail.ru

Введение

В настоящее время в области свариваемости меди накоплен значительный теоретический и экспериментальный опыт, тем не менее свариваемость меди по-прежнему является сложной технологической задачей. Одна из главных причин заключается в том, что это материал с сильно нелинейными теплофизическими свойствами. Для целостного понимания их проявления при сварке необходимо привлекать сложные математические и численные модели. С этой целью в работе проведен большой комплекс компьютерных экспериментов по изучению теплофизических особенностей в меди с использованием программы Meza. Подобные исследования не проводились ранее из – за трудностей, как в постановке задачи, так в анализе результатов.

Задачи исследования

Главной задачей исследования ставилась разработка алгоритма, минимизирующего затраты времени на проведение численных расчетов. Одновременно решалась задача планирования эксперимента, которая обсуждается в данной работе. Дело в том, что исследование трехмерной динамической модели теплопроводности с учетом процессов плавления и кристаллизации (по программе Meza) дает большие возможности в изучении, с другой стороны требуется огромный перебор информации, который необходимо произвести для анализа численных решений.

Описание программного обеспечение Meza

Программа MEZA предназначена для расчета различных тепловых задач, с различными функциями внешних воздействий. Расчет ведется при помощи явной разностной схемы [1, 2,3]

Программа поддерживает до 31 вида материалов в одном образце. В программе Meza существует множество положительных сторон из которых можно выделить возможность моделирования процесса нагрева образца в разнообразных средах (вакууме, воздухе, защитном газе).

Пример конфигурации образца приведен на рис. 1.

Программа оснащена средствами просмотра и изменения параметров применяемых материалов, при этом внесенные пользователем изменения не приводят к соответствующим изменениям в базе данных материалов: они имеют силу лишь в процессе расчета. На рис. 2 приведено окно, показывающее свойства меди.

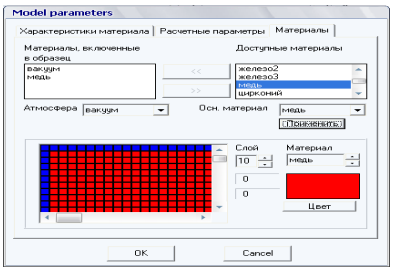
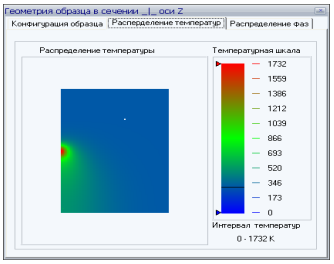


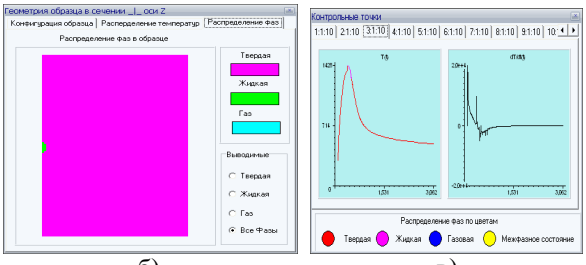
Рис. 1. Конфигурирование образца



Рис. 2. Окно просмотра и изменения теплофизических свойств материалов



а)



б) в)

Рис. 3. Распределение температуры в образце (а); распределение фаз в образце (б); термический цикл в заданной контрольной точке (в)

Программа Meza включает также инструменты просмотра изотерм в любом сечении образца, перпендикулярном одной из осей координат, фозового состова (кристаллисеское строение, жидкая и газзовая фазы, межфазные (переходные) состояния) и температуры в любой точке образца.

Общий вид программы Meza приведен на рис. 3 (а, б, в).

Используя вышесказанные возможности программы Meza, было произведено множество компьютерных экспериментов и расчетов по изучению теплофизических особенностей меди под воздействием внешнего концентрированного источника нагрева.

Планирование эксперимента

Медь в процессе сварки необходимо тщательно раскислять или вести сварку в среде инертных защитных газов или в вакууме. Учитывая эту особенность, проводили эксперимент именно в вакууме. Расчетную сетку брали с шагом 1 мм и 0,5 мм. По всему образцу распределяли виртуальные датчики, как указано на Рис. 4. Рассматривали 3 варианта скорости: 1000, 500 и 100 мм/мин. В общей сложности было проведено около 500 компьютерных экспериментов. В таблицах 1 и 2 приведены данные о геометрических размерах образца и режимах сварки.

Таблица 1

Размеры образца

Геометрические размеры:	мм,
1) Высота	10
2) Ширина	70
3) Длина	100

Таблица 2

Режимы сварки

Режимы сварки:	
1) Сила тока	210 А
2) Напряжение	45 В
3) Скорость сварки	1000, 500, – 100 мм/мин

Результаты экспериментов

Обработка результатов экспериментов показала, что температурное поле разбивается на 3 части. В нижней части температура постепенно увеличивалась, в средней части была постоянной, в верхней части резко стремилась вверх, вплоть до границы, где температура была максимальной. Эта тенденция сохранялась для всех трех скоростей, разница была лишь в том, что область стабильности (средняя часть) с ростом температуры сокращалась. На Рис.4 с очевидностью просматриваются отмеченные закономерности:

- Нарастающий (нижней)
- Стабильный (средней)
- Ускоренный (верхней)

Как видно из рис. 4, при максимальной скорости область стабильной зоны наибольшая, но при этом отмечается очень малая глубина проплавления, при средней скорости область стабильной зоны уменьшается, но увеличивается глубина проплавления. При минимальной скорости температура с начала до конца образца увеличивалась, и в средней части почти не наблюдалось стабильной зоны. При этом глубина проплавления была максимальной, а в верхней части образца наблюдалось интенсивное испарение металла. Рост температур в контрольных точках происходил за счет двух факторов: от источника нагрева и от перераспределения тепла в образце [4]. Таким образом, было показано, что, скорость сварки играет важнейшую роль в накоплении и перераспределении тепла, как на поверхности, так и во всем объеме металла.

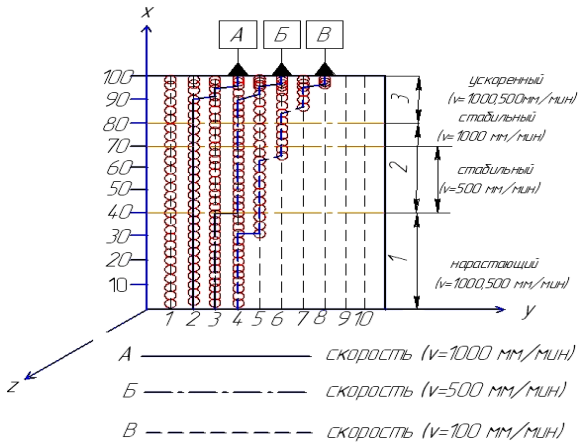


Рис. 4. Распределение температуры при разных скоростях

Выводы

В ходе проведенных компьютерных экспериментов было подтверждено, что для сварки меди скорость движения источника нагрева играет решающую роль (по сравнению со сталями).

Из результатов, полученных при сравнении процессов с различными скоростями, были найдены зоны, которые являются стабильными.

При планировании эксперимента необходимо учитывать наличие трех качественно различных зон (структур) теплового поля, которые имеют место практически при любых скоростях сварки и определяют качество сварного соединения.

Список литературы

1. Никифоров Н.И., Кректулева Р.А. Математическое моделирование технологического процесса кислородной резки//Сварочное производство, 1998. – №4. – С. 3-6
2. Кректулева Р.А., Бежин О.Н., Косяков В.А. Формирование тепловых локализованных структур в сварном шве при импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом.// ПМТФ, 1998. – №6. – с. 172-177.
3. Бежин О.Н., Дураков В.Г., Кректулева Р.А. и др. Компьютерное моделирование и микроструктурное исследование градиентных композиционных структур, формирующихся при поверхностной электронно-лучевой обработке углеродистой стали / В сб.: Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных сред: Тр. 2-й международной науч.-техн. конф. – Барнаул, 2001. – с. 22-28
4. В.В. Фролов; В.И. Крюковский Сварка меди и медных сплавов. М.: Машиностроение, 1982. 254 с.

МОНТАЖНЫЙ ПИСТОЛЕТ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Шаталов Е.Е.

Научный руководитель: Крауиньш Д.П., к.т.н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: non-legal@rambler.ru

При производстве строительно-монтажных работ значительный объем составляют операции крепления к строительным основаниям различных строительных деталей, конструкций, оборудования и инженерных коммуникаций. Эти операции выполняются, как правило, с применением ручных машин с пиротехническим приводом – пороховых монтажных пистолетов и пиротехнических оправок, принцип действия которых основан на использовании энергии расширяющихся пороховых газов. Монтажные пистолеты и оправки выстреливают (забивают) в бетонные и железобетонные, металлические, кирпичные, шлако- и керамзитобетонные основания силой взрыва порохового заряда специальные крепежные детали – стальные дюбеля.

Применение монтажных пистолетов и пиротехнических оправок исключает трудоемкую операцию по сверлению гнезд и отверстий в конструкциях, а также расход большого количества дорогостоящих твердосплавных сверл и распорных дюбелей.

Главным недостатком пороховых монтажных пистолетов и пиротехнических оправок является повышенная опасность процесса и, как следствие, повышенные требования к рабочему.

В своей работе я собираюсь заменить пиротехнический привод на механический, в результате, повысив безопасность использования монтажного пистолета, а также повысив его долговечность.

Конструкция пистолета будет базироваться на получивших широкое распространение поршневых монтажных пистолетов типа ПЦ с поршневым принципом забивки дюбеля.

Принцип действия пистолетов показан на рисунке 1.

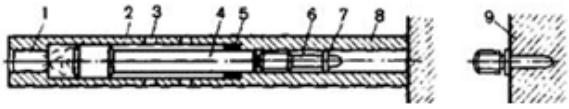


Рис. 1. Принципиальная схема монтажного пистолета

В пистолетах этого типа дюбель (6) с центрирующей шайбой (7) устанавливается в направителе ствола (2) непосредственно перед торцом поршня (4). При насечке бойком капсюля патрона (1) происходит взрыв порохового заряда. Под давлением пороховых газов поршень разгоняется по каналу ствола и забивает дюбель в строительную конструкцию. Разгон поршня под давлением происходит на участке 45 мм (8), что обусловлено длиной дюбеля, после чего пороховые газы через выхлопные отверстия (3) в стволе сбрасываются в атмосферу. Поршень тормозится сопротивлением внедряемого дюбеля. Ход поршня ограничен упругим амортизатором (5), предотвращающим сквозной прострел малопрочного основания (9).

Монтажный поршневой пистолет (рис.2) представляет собой однозарядный самовзводный ручной монтажный инструмент, который позволяет производить забивку дюбелей в любых пространственных положениях и в любых климатических условиях Он состоит из ствола с патронником, поршневой группы прижима, коробки с ударно-спусковым механизмом и рукояткой.

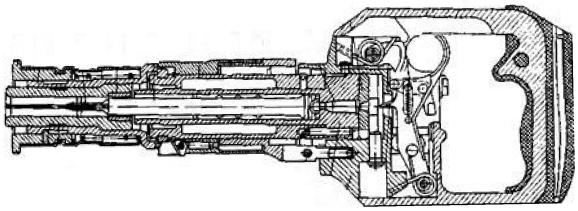


Рис. 2. Монтажный поршневой пистолет

Пистолет комплектуется двумя сменными стволами с длиной патронника 15 и 22 мм и тремя поршневыми группами, которые устанавливаются в пистолет в зависимости от длины и диаметра дюбеля. Сменная поршневая группа состоит из наконечника, направителя с каналом для дюбеля, поршня, ствола и амортизатора. Направитель состоит из двух полуцилиндров, объединенных стопором. Поршневая группа смонтирована в муфте, соединенной с рукояткой шарниром. Для снаряжения пистолета перед выстрелом необходимо сначала вставить соответствующий дюбель с шайбой (или наконечником) в канал направителя, продвинуть с помощью шомпола дюбель и поршень в направителе до упора, а затем «разломить» пистолет относительно шарнира, вставить патрон в патронник ствола и закрыть пистолет.

Чтобы произвести выстрел, прижим пистолета нажатием на рукоятку прижимают к месту забивки дюбеля до полного утапливания направителя за плоскость наконечника и оттягивают до отказа спусковой рычаг ударно-спускового механизма. Перемещение направителя происходит совместно со стволом и затвором до упора в дно

коробки к плоскости накала капсюля. При оттягивании спускового рычага взводится боевая пружина, под действием которой в конечный момент взведения боек курка ударяет по закраине капсюля патрона, в результате чего происходит выстрел. Под давлением пороховых газов поршень разгоняется по стволу, воздействуя на дюбель в направителе. Разгон поршня под давлением пороховых газов происходит на участке 45 мм, после чего газы через отверстия в стволе сбрасываются в расширительные полости муфты.

Дальнейшее движение поршня и дюбеля происходит по инерции при этом в конечный момент за счет сопротивления строительной конструкции скорость поршня и дюбеля падает до нуля. Если к моменту полного заглубления дюбеля поршень не остановился, его полное торможение обеспечивается за счет деформаций упругого амортизатора 5.

При ослаблении нажатия пистолетом на место пристрелки пол действием пружин возвращаются в исходное положение затвор и поршневая группа. После выстрела пистолет раскрывают, при этом происходит выдвижение (выбрасывание) стреляной гильзы из патронника ствола с помощью экстрактора.

В моей работе главной движущей силой будет являться механический привод, состоящий из двигателя, волнового редуктора и поршня, который заменит коробку с ударно-пусковым механизмом. Главной проблемой при проектировании, основанном на описанном выше принципе действия, будет являться сохранение малых габаритов пистолета при достижении необходимого давления, аналогичного давлению пороховых газов, и скорости движения дюбеля, соответственно равных 300МПа и 60-90 м/с.

Выделим основные преимущества предложенной мною конструкции: во-первых, повышение безопасности рабочего при выполнении монтажных работ, во-вторых, увеличение производительности, так как отпадает необходимость перезаряжать пистолет.

Список литературы:

1. Инструкция по эксплуатации строительно-монтажного пистолета LV400.
2. www.stroy-technics.ru

СЕКЦИЯ 4

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Акимов С.Л.

Научный руководитель: Однокопылов И.Г., к.т.н., старший преподаватель; Глазырин А.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: unmer@sibmail.com

Основой технического прогресса, достигнутого человечеством в XX веке, стала массовая автоматизация производства. За полвека системы автоматического управления превратились из примитивных разомкнутых систем в сложные системы с обратной связью. Новое поколение систем автоматического управления должно не просто автоматизировать труд, но полностью или частично заменить человека при решении технических задач, требующих принятия интеллектуальных решений. Для этого они должны приобрести свойства гибкости, адаптивности и интеллектуальности [1].

Наилучшее решение данной проблемы можно получить в рамках нейрокибернетического подхода, заимствуя механизмы и принципы функционирования интеллекта человека, выработанные в ходе эволюции самой природой.

Одним из наиболее мощных инструментов создания интеллектуальных систем управления являются искусственные нейронные сети, моделирующие базовые механизмы обработки информации в мозге. Исследования нейросетевых систем управления начались в 70-х годах и продолжают проводиться, привлекая все большее количество научных сил.

Целью работы является изучение структуры генетических алгоритмов и составление наиболее подходящего для решения задачи обучения нейроконтроллера.

Разработка нейросетевых систем управления связана с существенными трудностями и подразделяется на два основных этапа – построение и работа.

Для построения на базе искусственных нейронных сетей регуляторов и идентификационных моделей необходимо разработать новые методы выбора их структуры и параметров. Одним из перспективных подходов к решению этой задачи является использование методов эволюционного моделирования, а именно генетических алгоритмов, для обучения и структурной оптимизации нейронных сетей.

Важной частью в работе нейроконтроллера является его обучение. Для оценки качества нейронных сетей вычисляется ошибка. В силу достаточно большого числа определяемых параметров сети, она является много-экстремальной функцией. Следовательно, для поиска ошибки требуется соответственно глобальный метод (основанный на генетическом алгоритме), в то время как стандартный метод обратного распространения ошибки является локально оптимизирующим.

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора и относятся к стохастическим методам оптимизации. Схема простого ГА алгоритма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема простого генетического алгоритма

Не смотря на большое разнообразие разновидностей генетических алгоритмов, все они содержат ряд общих операторов [3]:

1. Оператор выбора родителей

Существует несколько подходов к выбору родительской пары. Наиболее распространенными операторами выбора родителей являются следующие:

Панмиксия – самый простой оператор отбора. В соответствии с ним каждому члену популяции сопоставляется случайное целое число на отрезке [1; n], где n – количество особей в популяции.

Инбридинг – представляет собой такой метод, когда первый родитель выбирается случайным образом, а вторым родителем является член популяции ближайший к первому.

Аутбридинг – брачные пары формируют из максимально далеких особей.

2. Рекомбинация

Оператор рекомбинации применяют сразу же после оператора отбора родителей для получения новых особей-потомков. Смысл рекомбинации заключается в том, что созданные потомки должны наследовать генную информацию от обоих родителей.

3. Мутация

После процесса воспроизводства происходят мутации. Данный оператор необходим для «выбивания» популяции из локального экстремума и препятствует преждевременной сходимости. Это достигается за счет того, что изменяется случайно выбранный ген в хромосоме.

4. Оператор отбора особей в новую популяцию

Отбор усечением. При отборе усечением используют популяцию, состоящую как из особей-родителей, так и особей-потомков, отсортированную по возрастанию значений функции пригодности особей.

Элитарный отбор. Создается промежуточная популяция, которая включает в себя как родителей, так и их потомков. Члены этой популяции оцениваются, а за тем из них выбираются N самых лучших (пригодных), которые и войдут в следующее поколение.

Отбор вытеснением. В данном отборе выбор особи в новую популяцию зависит не только от величины ее пригодности, но и от того, есть ли уже в формируемой популяции особь с аналогичным хромосомным набором.

Метод Больцмана, или метод отжига. В данном методе вероятность отбора в новую популяцию зависит от управляющего параметра – T. Вероятность попадания в новую популяцию вычисляется по следующей формуле [3]:

$$p = \frac{1}{1 + e^{\frac{f_i - f_j}{T}}},$$

где f_i, f_j – значения целевой функции i и j особей соответственно.

Для решения поставленной задачи, написана программа на языке Delphi вычисляющая экстремум функции, содержащей несколько локальных минимумов, что соответствует определению наименьшей ошибки. Это позволит наиболее оптимально обучить нейронную сеть.

В качестве имитационной функции использовалась:

$$f(x) = 0.021x^4 + 0.5(x-5)^3 + 10(x-1)^2 - 25(x-10)$$

График функции представлен на рис. 2.

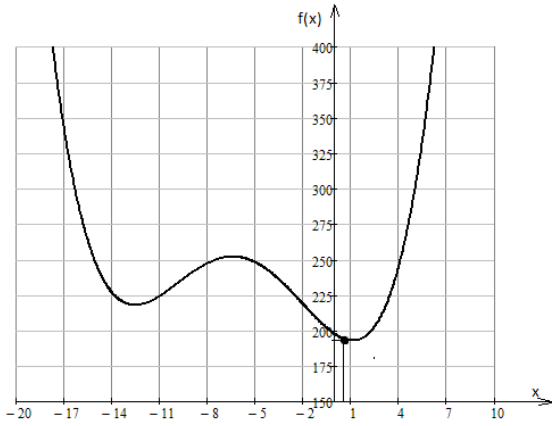


Рис. 2. График функции y(x)

Интерфейс программы представлен на рис. 3.

В алгоритме использован оператор выбора родителей – панмиксия, вид рекомбинации – кроссинговер, мутация действует случайным образом на четвёртый ген в популяции, оператор отбора отбирает в следующее поколение полностью всего потомка, условия окончания цикла – достижение максимального количества циклов (эпох) или схождение алгоритма к одной точке.

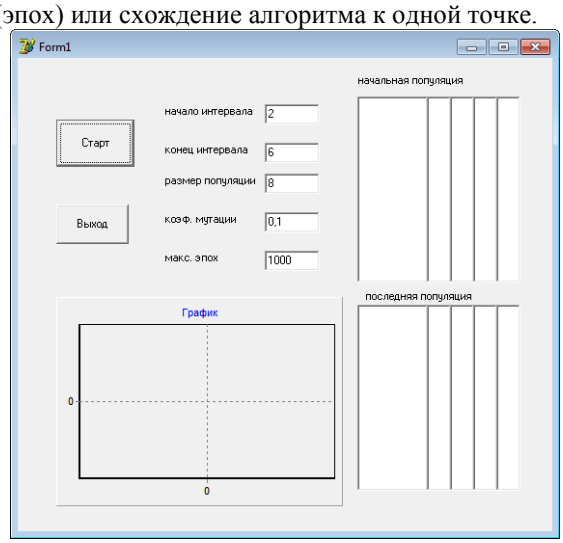


Рис. 3. Интерфейс программы

В результате работы алгоритма, получено решение: x=0.82, f(x)=193.32. Как видно из графика, точка находится близко к искомой. В процессе работы алгоритма не произошло схождение во второй точке локального минимума. Следовательно, составленный генетический алгоритм удовлетворяет поставленной задачи и является предпочтительнее, чем метод обратного распространения ошибки.

Выводы

Таким образом, в случаях, когда не требуется точных решений, а необходимо получить лучшее из предлагаемых, генетические алгоритмы являются предпочтительнее вследствие своей независимости от проблем преждевременной сходимости. Однако алгоритм содержит ряд недостатков: требует большие вычислительные ресурсы ЭВМ при больших размерах популяции, эффективность алгоритма сильно зависит от выбранной разработчиком структуры, а значит и от компетентности его в данном вопросе.

Список литературы

1. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления: дис. канд. тех. наук. – Харьков, 1998. – 179 с.
2. Дарвин Ч.О. Происхождение видов путём естественного отбора или сохранения благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь – М.: АН СССР, 1939. – Т. 3.
3. Панченко Т.В., Генетические алгоритмы: уч. пос. – Астрахань, 2007. – С. 88.
4. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности – Х.: Основа, 1997. – 112 с.
5. Исаев А. Генетические Алгоритмы// http://www.algolist.manual.ru.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ БЛЮМИНГА

Аникин В.О.

Научный руководитель: Краснов И.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

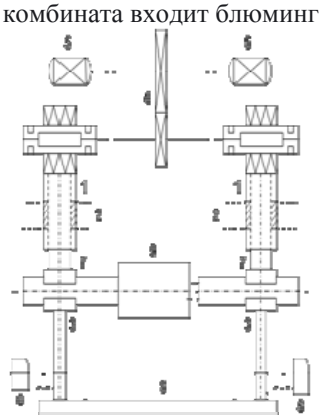
E-mail: Slavik_anikin@mail.ru

Несмотря на широкое внедрение в металлургическое производство машин непрерывной разливки стали, на многих металлургических предприятиях СНГ, и Украины в частности, продолжают эксплуатироваться обжимные прокатные станы – блюминги, предназначенные для предварительного обжатия стальных слитков, поступающих из сталеплавильных цехов в заготовки крупных размеров и сечения – блюмы. В свою очередь блюмы предназначены для обжатия крупных слитков и литых заготовок в черновые заготовки – полупродукт, из которого на последующих прокатных станах получают готовую продукцию.

Черновая заготовка, прокатанная из крупного слитка (5–25 т) на блюминге, называется блюмом; блюм имеет квадратное (200х200 – 400х400 мм) или близкое к квадратному сечение с закругленными углами. Как правило, блюмы не являются товарной продукцией металлургического предприятия и для приобретения товарных свойств подвергаются дополнительному обжатию на непрерывно заготовочных станах. Полученные таким образом заготовки либо поступают на рынок в качестве товарной продукции, либо являются исходным сырьём для прокатных станов, производящих готовую продукцию: арматуру, катанку, специальные профили и т.д. Таким образом, обжимные прокатные станы являются важнейшим технологическим звеном металлургических предприятий. Производительность некоторых обжимных станов на примере блюминга 1250 достигает 6 млн. тонн проката в год. Простои этих агрегатов из-за поломок или отказов электрического и механического оборудования приводят к значительным производственным и экономическим потерям.

Поэтому основным назначением разрабатываемой автоматизированной системы является точность отработки заданных перемещений, а так же повышение эксплуатационной надёжности оборудования нажимного устройства горячей прокатки блюминга 1250 за счет строгого соблюдения технологии прокатки и предотвращения возникновения и развития неустойчивых и аварийных режимов.

Внедрение автоматической системы управления нажимного устройства прокатной клети блюминга 1250 для открытого акционерного общества «АрселорМиттал Кривой Рог» является научной новизной, в связи с тем, что данное предприятие – один из крупнейших горнометаллургических комплексов Украины с полным циклом производства. На предприятии планируется проводить работы по реконструкции и модернизации основного механического и электрического оборудования, модернизации существующих и внедрению новых технологий и систем управления технологическими процессами и производством в целом [1]. Целью этих работ является повышение экономической эффективности производства и качества выпускаемой продукции, а также расширение рынков сбыта. В состав обжимного прокатного цеха комбината входит блюминг 1250.



Принятые обозначения:
1 – Нажимной винт.
2 – Гайка нажимного винта.
3 – Подушка валка.
4 – Редуктор.
5 – Двигатель.
6 – Грузы.
7 – Подушки валка.
8 – Траверса.
9 – Верхний валок.

Рис. 1. Кинематическая схема нажимного устройства с грузовым уравновешиванием

Электропривод нажимного механизма может быть осуществлен от одного или нескольких двигателей. Наиболее распространен привод нажимного и уравновешивающего устройств посредством двух двигателей, что обеспечивает уменьшение махового момента привода. Для электропривода нажимного механизма используются двигатели постоянного тока, что обусловлено напряженным режимом работы, необходимостью регулирования скорости и обеспечения экскаваторной характеристики.

Для увеличения интенсивности работы нажимного устройства питание двигателей должно осуществляться от комплектных тиристорных приводов с современной системой управления.

Для нажимных устройств с большой частотой включений в час, т.е. на обжимных реверсивных толстолистовых и среднелистовых станах горячей прокатки, также применяются электродвигатели

постоянного тока. Для этих нажимных винтов применяется, как правило, двухдвигательный привод, причём кинематическая схема предусматривает возможность раздельной работы винтов. Применение двухдвигательного привода объясняется стремлением уменьшить момент инерции привода, что особенно важно при большой частоте включений. По этой же причине на обжимных станах существует тенденция к снижению передаточного числа редуктора нажимного устройства с заменой червячной передачи цилиндрической, а также с применением двигателей вертикального исполнения. Кроме того, двухдвигательный электропривод получается более компактным и надёжным: при выходе из строя одного электродвигателя можно продолжать работу с половинной мощностью. Муфты сцепления позволяют воздействовать двумя электродвигателями на один нажимной винт, что иногда необходимо при его заклинивании [2].

Постановка проблемы перекоса нагрузок

Широкое распространение двухдвигательного электропривода обеспечивается рядом преимуществ, а именно:

1) меньшим моментом инерции при суммарной мощности двух двигателей, равной мощности одной электрической машины при той же скорости вращения. Уменьшение момента инерции двухдвигательного электропривода улучшает динамические свойства установки, повышает ее быстродействие;

2) обеспечением 50% резерва. При выходе из строя одной из машин двухдвигательного электропривода можно для некоторых механизмов, (например для печного толкателя, нажимного устройства) обеспечить работу с меньшей производительностью за счет уменьшения полезной нагрузки либо скорости движения;

3) двухдвигательный электропривод в некоторых случаях позволяет получить необходимые механические характеристики, которые нельзя получить в однодвигательном электроприводе при простой схеме управления.

Недостатки двухдвигательного электропривода:

1) усложняется схема соединения электрических машин, как при последовательном, так и при параллельном подключении их к питающей сети;

2) возможно возникновение неравномерного распределения нагрузки между двумя двигателями.

Причиной неравномерности распределения нагрузок являются различия в параметрах двигателей, имеющих одни и те же каталожные данные. Любые изменения и несоответствия параметров схемы замещения двух машин приводят к изменению жесткости их механических характеристик и, как следствие, к неравномерности распределения нагрузок. Определить эту неравномерность можно по так называемой совместной механической характеристике двух (или любого числа) электрических машин, связанных между собой общим валом. Совместная механическая характеристика строится по суммам моментов каждой из машин при одной и той же скорости (рис. 2).

Поэтому при расчете установившихся режимов работы двухдвигательного электропривода обязательно необходимо определять неравномерность распределения нагрузки и принимать меры для избегания негативных последствий этого явления (например, возможного перегрева одной из машин). Величина неравномерности распределения нагрузок может составить до 30-40 %, вплоть до работы одного из двигателей в генераторном режиме, что сводит к нулю все преимущества многодвигательного электропривода.

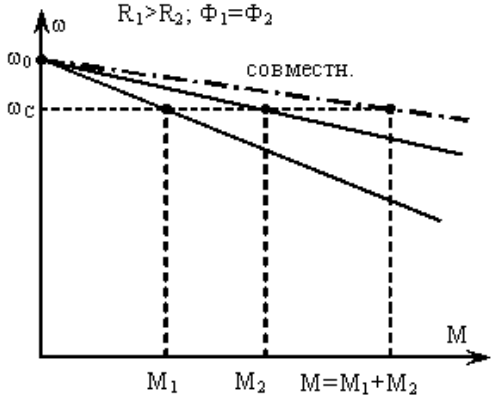


Рис. 2. Совместная механическая характеристика двухдвигательного привода

Во избежание перекоса нагрузок (при отсутствии системы их выравнивания) приходится выбирать электропривод с запасом мощности. Обычно при мощностях до 1000 кВт выход из положения видят в завышении мощности двигателей двухдвигательного электропривода. Избыток мощности покрывает неравномерность распределения нагрузок, однако это эффективно (хотя и дорого) лишь в первый период эксплуатации электропривода. Затем, по мере роста производительности рабочей машины и увеличения интенсивности работы электропривода, запас мощности постепенно «съедается», и его уже не хватает. Это особенно ощущается в современных быстродействующих вентильных электроприводах с универсальными блочными системами регулирования и подчиненным управлением [3].

В ходе разработки была составлена математическая модель спроектированного электропривода, по которой было проведено имитационное моделирование работы системы.

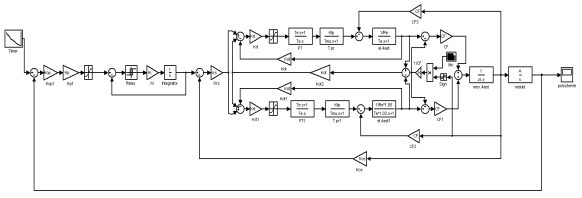


Рис. 3. Имитационная модель системы

Выравнивание нагрузок в двухдвигательном электроприводе можно осуществить, изменяя сопротивления якорной цепи или магнитные потоки двигателей. При изменении сопротивления – большие потери на добавочное сопротивление, а изменение потока более перспективно, так как при таком способе выравнивания электропривод будет более экономичен. Однако применение такого способа для данного механизма является неприемлемым, т.к. придется, помимо специальной схемы уравнивания, ставить управляемый преобразователь на каждую обмотку возбуждения. В данной работе предлагается использование недорогого устройства, позволяющего уменьшить влияние перекоса нагрузок на работу системы.

Разница сигналов обратной связи по току, у машин работающих с перекосом нагрузок, представляет собой импульсы обоих полярностей, отражающие величину, пропорциональную разности токов в двигателях. Пример такой разности сигналов представлен на рис. 4. На рисунке представлена разность обратных связей по току, и токи якоря обеих машин. Система отрабатывает цикл перемещений [-60мм; 0мм] при Iс = 0, разность параметров электрической части обеих машин состоит в пределах 5%.

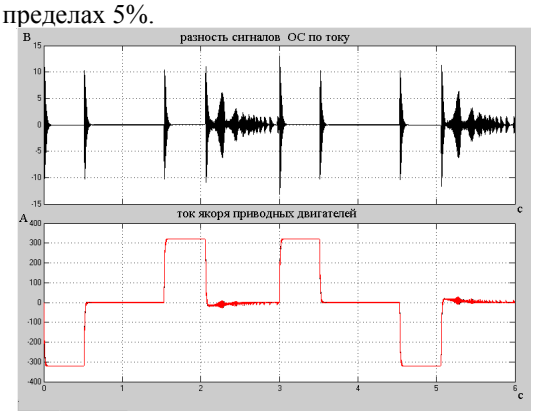


Рис. 4. Разность обратных связей по току при перекосе нагрузок

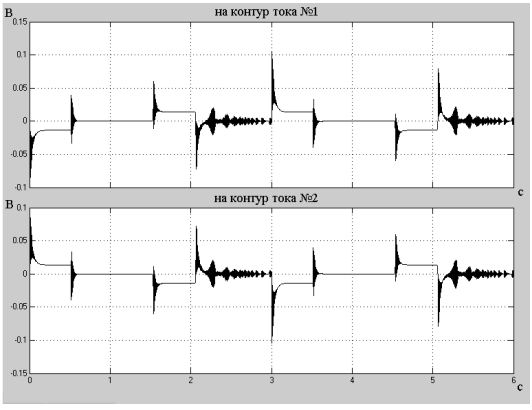


Рис. 5. Выходные сигналы блока выравнивания нагрузок

Суть работы предлагаемого устройства заключается в том, что оно, получая разницу сигналов ОС по току от обоих двигателей, увеличивает напряжение задания для контура тока двигателя, ток которого в данный момент меньше, и уменьшает задание на контур тока двигателя с большим током якоря. На рис. 5 представлен сигнал, выдаваемый устройством для устранения перекоса. Сигнал снимался через фильтр с постоянной времени равное Тф = 0.004 с.

При работе на холостом ходу разница токов практически незаметна. Для оценки эффективности работы схемы сравним токи обоих двигателей при номинальной нагрузке, и отклонением параметров якорной цепи до 10%.

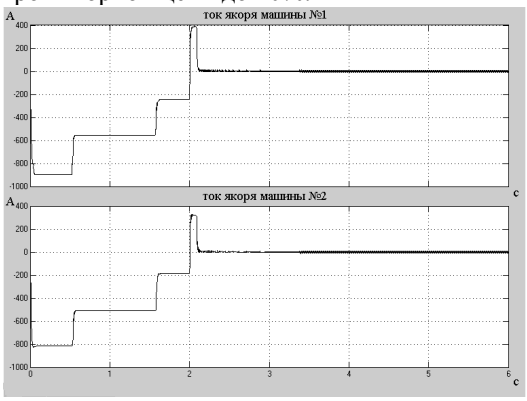


Рис. 6. Токи якоря при работе без блока выравнивания нагрузок

На рис.6 и 7 представлены соответственно токи двигателей при работе без блока выравнивания, и с ним. Графики снимались при отработке перемещения 60 мм, с нагрузкой, в 1,59 раз превышающей номинальную.

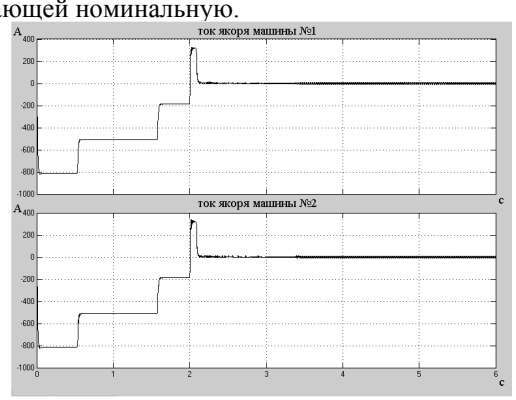


Рис. 7. Токи якоря при работе с блоком выравнивания нагрузок

Как видно и представленных графиков, при работе системы без блока выравнивания разность токов в обмотках якоря машин может достигать 100 А, что довольно существенно. Применение данной схемы позволяет успешно бороться с этим, безусловно негативным, явлением.

Блок уравнивания нагрузок состоит в том чтобы уравнивать загрузку приводных двигателей, тем самым оптимизируя работу привода в целом. Что позволяет дешево и эффективно бороться с явлением «перекоса нагрузок» в двухдвигательном приводе, тем самым продлевая срок службы приводных двигателей, а значит и всего механизма.

Список литературы

1. Полилов Е.В., Алгоритм расчёта мощности двигателей позиционных электроприводов. Верификация уточнённого метода предельно допустимого времени работы механизма.:Статья. – 2008г. ДонГТУ.
2. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии. – М.:: Металлургия, 1977. – 190 с.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Астафьев Д.С.

Научный руководитель: Богданов Е.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Astaf1988@sibmail.com

Элегазовые выключатели в технически развитых странах практически вытеснили все другие типы аппаратов. Интенсивное внедрение элегазовой аппаратуры обусловлено тем, что в настоящее время пока не найдено способов эффективного дугогашения способных конкурировать с гашением дуги в элегазе.

Элегаз – электротехнический газ – представляет собой шестифтористую серу SF_6. Элегаз является основным изолятором в элементах ячеек с элегазовой изоляцией.

При рабочих давлениях и обычной температуре элегаз – бесцветный газ, без запаха, не горюч, в 5 раз тяжелее воздуха, молекулярная масса также в 5 раз больше, чем у воздуха.

При атмосферном давлении электрическая прочность элегаза в 3 раза выше, чем у воздуха, а уже при давлении элегаза 0,3-0,4 МПа его электрическая прочность выше, чем у трансформаторного масла; отключающая способность элегазовых коммутационных аппаратов при одинаковых условиях на 2 порядка выше, чем у воздушных выключателей.

Элегаз не стареет, т. е. не меняет своих свойств с течением времени, при электрическом разряде распадается, но быстро рекомбинирует, восстанавливая первоначальную диэлектрическую прочность.

В электрическом поле элегаз обладает способностью захватывать электроны, что обусловливает высокую электрическую прочность элегаза. Захватывая электроны, элегаз образует малоподвижные ионы, которые медленно разгоняются в электрическом поле.

Высокая электрическая прочность элегаза позволяет сократить изоляционные расстояния при небольшом рабочем давлении газа, в результате этого уменьшается масса и габариты электротехнического оборудования, а также увеличивается отключающая способность коммутационных аппаратов и уменьшают нагрев токоведущих частей. Это, в свою очередь, дает возможность уменьшить габариты ячеек комплектных распределительных устройств элегазовых, что очень важно, например, для условий севера, где каждый кубический метр помещения стоит очень дорого.

Применение элегаза позволяет при прочих равных условиях увеличить токовую нагрузку на 25 % и допустимую температуру медных контактов до 90 °С (в воздушной среде 75 °С) благодаря химической стойкости, негорючести, пожаробезопасности и большей охлаждающей способности элегаза.

Недостатком элегаза является переход его в жидкое состояние при сравнительно высоких температурах, что определяет дополнительные требования к температурному режиму элегазового оборудования в эксплуатации [1].

Растущая популярность элегазовых выключателей обуславливает необходимость наличия универсального автоматизированного расчета.

Для создания математической модели была выбрана среда MatLab. Моделирование с помощью данной среды имеет ряд преимуществ, основными из которых являются:

1. Сокращение временных затрат на проведение расчета.
2. Возможность быстрой адаптации и оптимизации расчета под требования заказчика.
3. Повышение точности расчета.

Снижение времени на проведение расчета достигается за счет отсутствия необходимости непосредственного расчета, достаточно изменить исходные данные или, если необходимо, внести изменения в программу для незамедлительного получения результата.

Создание модели ведется по методике расчетов Кукекова Г.А., на примере высоковольтного элегазового бакового выключателя ВЭБ-110. Выключатель находится в серийном производстве на предприятии УралЭлектроТяжМаш, которое входит в группу предприятий ”Энергомаш”, и находится в городе Екатеринбурге. Выключатель высокого напряжения предназначен для оперативных и аварийных коммутаций в энергосистемах, для выполнения операций включения и отключения отдельных цепей при ручном или автоматическом управлении [2]. Общий вид выключателя приведен на рис. 1.

Расчет включает в себя следующие части:

1. Расчет контактной системы.
2. Тепловой расчет токоведущего контура.
3. Расчет дугогасительной системы.
4. Расчет электрической изоляции.

Для удобства моделирования расчеты поделены на блоки. Для каждого блока создается алгоритм расчета (рис. 2).



Рис. 1. Высоковольтный баковый элегазовый выключатель ВЭБ-110

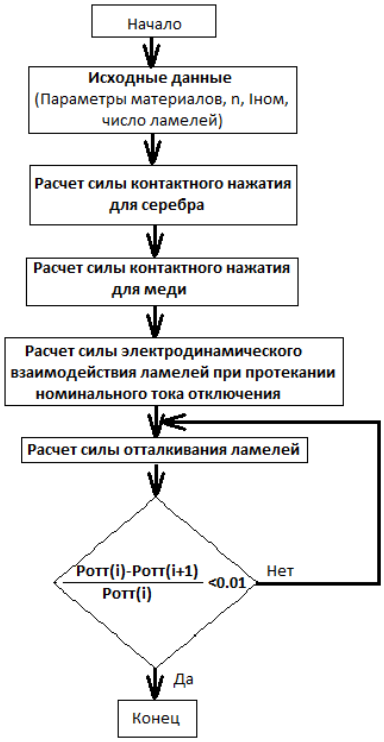


Рис. 2. Алгоритм расчета главного контакта высоковольтного элегазового выключателя

Нередко в расчетах приходится сталкиваться с различными методами, для которых удобно использовать циклы, например метод последовательных приближений. Расчет методом последовательных приближений показан на рис. 3.

Для удобства работы с программой автоматизированного расчета необходимо воспользоваться функцией построения пользовательского интерфейса. Здесь могут быть отражены параметры, которые необходимо изменить, например, по требованию заказчика, а также контролируемые параметры. Пример пользовательского интерфейса представлен на рис. 4 [3].

```
%Цикл для расчета силы отталкивания
Fott1=2;
Fott2=1;
while (((Fott1-Fott2)/Fott1)>0.0001);
    Spl=Pf/mHB;
    Fott1=Iud^2*10^(-7)*log((Sk/Spl)^(1/2));
    Pf=Pk+Fed/2-Fott1;
    Spl=Pf/mHB;
    Fott2=Iud^2*10^(-7)*log((Sk/Spl)^(1/2));
    Pf=Pk+Fed/2-Fott2;
end
```

Рис. 3. Расчет методом последовательных приближений

Удобство использования и скорость расчета сокращают время от проектирования до выпуска готовой продукции, снижение временных затрат ведет к оперативному выполнению поступающих заказов, что в свою очередь, ведет к повышению конкурентоспособности предприятия на рынке.

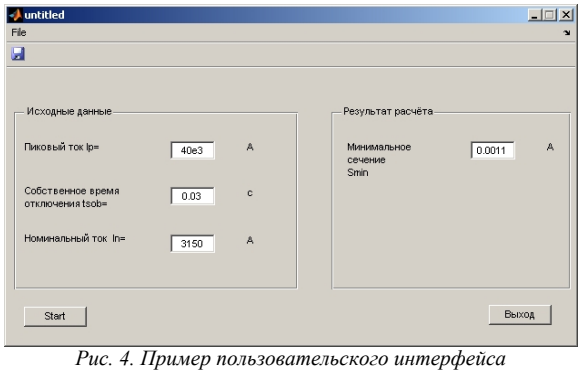


Рис. 4. Пример пользовательского интерфейса

Список литературы

1. Полтев А. И. Конструкции и расчёт элегазовых аппаратов высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1993. – 239 с.
2. Кукеков Г.А. Выключатели переменного тока высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1972. – 336 с.
3. Черных И. Моделирование электротехничес-ких устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ИД Питер, 2007. – 288 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Афанасьев К.С.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: muzhik1@sibmail.com

Электроприводы постоянного тока, применяемые в различных отраслях промышленности, в последнее время активно заменяются электроприводами переменного тока, в большей степени содержащими в своей основе асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Для обеспечения качественного технологического процесса необходимо применение регулируемого электропривода, позволяющего управлять координатами электродвигателя. В случае применения систем векторного управления асинхронным электроприводом, получивших распространение в последние годы, требуется информация о скорости вала двигателя, а также о модуле и фазе вектора потокосцепления ротора. Развитие микропроцессорной техники позволило применять различные математические методы (фильтр Калмана, наблюдатель Люенбергера, метод наименьших квадратов) для оценки переменных электропривода. Явным преимуществом при этом является возможность отказа в системе управления от датчиков таких координат, как скорость вала и потокосцепление двигателя.

В данной работе рассматривается наблюдатель Люенбергера, относящийся к детерминированным наблюдателям, так как он может быть применен к динамическим объектам в условии отсутствия случайных внешних воздействий [1]. Пусть некоторая динамическая система имеет математическое описание в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) \\ y(t) = C^T \cdot x(t) \end{cases},$$

где $x(t)$ – вектор переменных состояния системы; $y(t)$ – вектор выходных переменных; $u(t)$ – вектор входных воздействий; A, B, C – матрицы коэффициентов. При условии полной наблюдаемости этой системы возможно построение наблюдателя Люенбергера, позволяющего получить вектор оценки состояния исследуемой системы. Математическое описание наблюдателя в этом случае:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{x}(t)}{dt} = A \cdot \hat{x}(t) + B \cdot u(t) + L \cdot \left[y(t) - \hat{y}(t) \right] \\ \hat{y}(t) = C^T \cdot \hat{x}(t) \end{cases},$$

где $\left[y(t) - \hat{y}(t) \right]$ – разница между реальными и наблюдаемыми выходными координатами; L – матрица усиления наблюдателя.

В качестве объекта исследований был принят асинхронный электродвигатель типа 4А225М4У3 с номинальной мощностью $P_н$=55 кВт и синхронной скоростью n_0=1500 об/мин. При этом выходными координатами являлись токи статора, то есть применение датчиков скорости и потокосцепления ротора в системе векторного управления этим электродвигателем не предполагалось. Математическая модель асинхронного двигателя была представлена в неподвижной системе координат α–β [2,3]:

$$\begin{cases} \dfrac{di_{S\alpha}(t)}{dt} = \dfrac{1}{L_Э} \cdot \left[U_{S\alpha}(t) - R_Э \cdot i_{S\alpha}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) + K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t) \right] \\ \dfrac{di_{S\beta}(t)}{dt} = \dfrac{1}{L_Э} \cdot \left[U_{S\beta}(t) - R_Э \cdot i_{S\beta}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) - K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t) \right] \\ \dfrac{d\psi_{r\alpha}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{S\alpha}(t) - A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) - z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t) \\ \dfrac{d\psi_{r\beta}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{S\beta}(t) - A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) + z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t) \\ M(t) = K_m \cdot \left[\psi_{r\alpha}(t) \cdot i_{S\beta}(t) - \psi_{r\beta}(t) \cdot i_{S\alpha}(t) \right] \\ \dfrac{d\omega(t)}{dt} = \dfrac{1}{J} \cdot \left[M(t) - M_C \right] \end{cases}.$$

Здесь $i_{S\alpha}(t)$, $i_{S\beta}(t)$, $U_{S\alpha}(t)$, $U_{S\beta}(t)$ – компоненты пространственных векторов тока и напряжения статора; $\psi_{r\alpha}(t)$, $\psi_{r\beta}(t)$ – компоненты пространственного вектора потокосцепления ротора; $R_Э$, $L_Э$, K_r, A_r, R_r, K_m – коэффициенты, учитывающие параметры АД; J, z_p, $\omega(t)$, $M(t)$, M_C – момент инерции, число пар полюсов, частота вращения, момент, развиваемый на валу АД, и момент нагрузки.

Исследования проводились с помощью имитационного моделирования параллельной работы асинхронного двигателя и наблюдателя Люенбергера в программной среде *MATLAB Simulink*. На вход наблюдателя подавались компоненты пространственных векторов тока и напряжения статора, а на выходе формировалась оценка полного вектора состояния двигателя в режимах пуска, наброса и последующего сброса номинального момента нагрузки. Графики совмещенных переходных процессов координат электродвигателя и их оценок представлены на рис. 1–3.

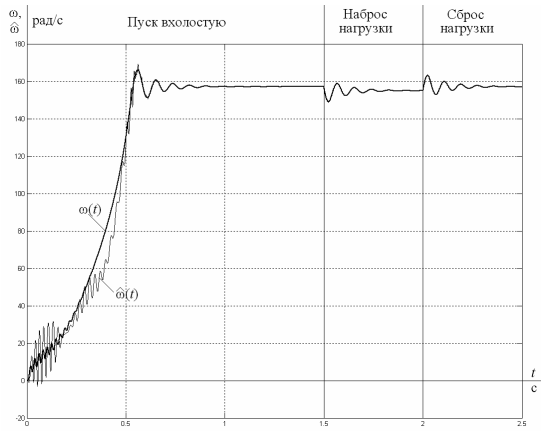


Рис. 1. Переходные процессы скорости двигателя и ее оценки

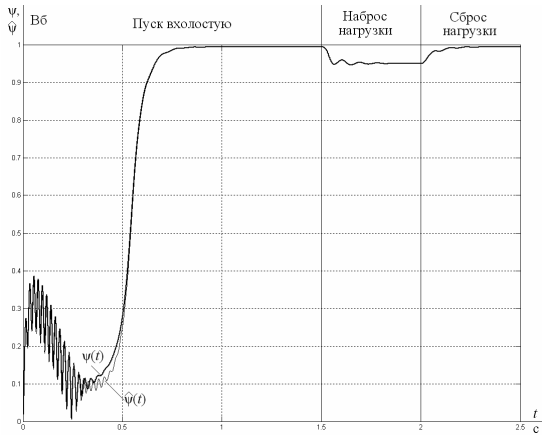


Рис. 2. Переходные процессы модуля вектора потокосцепления ротора двигателя и его оценки

Из полученных результатов моделирования видно, что оценка координат асинхронного двигателя расходится с эталонной моделью только при пуске. В статических режимах работы и при изменении нагрузки на валу наблюдатель Люенбергера рассчитывает переменные двигателя без существенной ошибки.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что выходные координаты исследуемого наблюдателя могут быть использованы в качестве сигналов обратных связей по скорости и потокосцеплению в системе векторного управления асинхронного электропривода. Одним из ограничений, как уже и было сказано, является детерминированность наблюдателя, а при работе реального электропривода всегда существуют случайные помехи, уровень которых зависит от степени помехозащищенности установки. Также преграду для использования наблюдателя Люенбергера создает общая для всех бездатчиковых электроприводов проблема нестационарности внутренних параметров двигателя, изменяющихся в зависимости от режима его работы. Для качественного регулирования переменных бездатчикового электропривода необходима идентификация в реальном времени таких параметров как активные сопротивления обмоток, индуктивность цепи намагничивания.

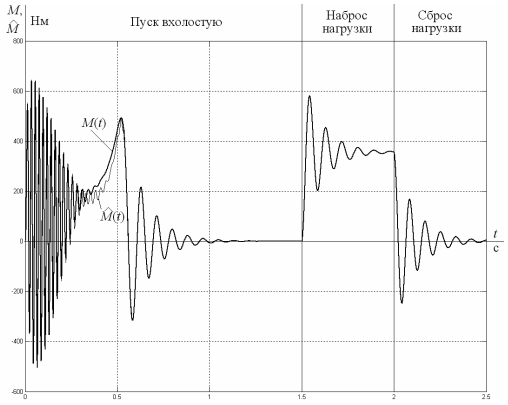


Рис. 3. Переходные процессы электромагнитного момента двигателя и его оценки

Список литературы

1. Juraj Gacho, Milan Zalman. Im based speed servodrive with Luenberger observer // Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, vol. 61, NO. 3, 2010, pp. 149–156.
2. Ланграф С.В., Глазырин А.С. Применение фильтра Калмана в моментном асинхронном электроприводе с векторным бездатчиковым управлением //Известия вузов. Электромеханика, 2009, № 6, с. 61–64.
3. Глазырин А.С., Ланграф С.В. Идентификация скорости и момента асинхронного двигателя с применением фильтра Калмана // Электричество, 2009, № 12, с. 61–63.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Баженов М С.

Научный руководитель: Игнатович В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bazhenovms@gmail.com

Добавочные потери, вызываемые магнитным полем рассеяния в элементах конструкции и обмотках трансформатора, приводят к снижению коэффициента полезного действия. Немаловажное значение добавочные потери имеют и для эксплуатации трансформатора, т.к. их возникновение бывает связано с местными нагревами, которые при неблагоприятных условиях приводят к преждевременному выводу трансформатора из эксплуатации. С увеличением мощности, усложнением конструкции и уменьшением изоляционных расстояний добавочные потери возрастают, достигая в отдельных случаях 40 % нагрузочных потерь [1].

Объект исследования

В данной работе производится расчет и моделирование на базе трансформатора ТДЦ-31000/138 кВА производства ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш»

Цель и актуальность

Разработка в трансформаторостроении способов исследования поля рассеяния в трансформаторе и создание точных способов анализа распределения поля и вызываемых им электродинамических сил, действующих на обмотки, позволят обеспечить электродинамическую стойкость и надежность силовых трансформаторов. Исследование поля рассеяния трансформаторов имеет целью также обеспечить определенную организацию и локализацию этого поля за счет оптимального размещения обмоток и использования магнитных экранов, что позволяет значительно уменьшить добавочные потери в конструктивных деталях трансформатора – стенах бака, прессующих деталях обмоток и остова.

Высокая значимость и недостаточная практическая разработанность проблемы, включающая в себя моделирование и анализ, определяют несомненную новизну и необходимость данного исследования. Актуальность настоящей работы обусловлена, с одной стороны, большим интересом к возможности уменьшения электрических потерь в стенках бака и прессующих элементах силовых трансформаторов, с другой стороны, ее недостаточной разработанностью и внедрением в современное электромашиностроение. Рассмотрение вопросов связанных с данной тематикой имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

Методы решения

Добавочные потери в элементах конструкции трансформатора определяются полем рассеяния (напряженностью у поверхности элемента или потоком через него), формой и размерами элемента, а также свойствами его материала (электропроводностью и магнитной проницаемостью).

В соответствии с этим методы снижения добавочных потерь можно разделить на три основные группы:

1. Управление полем рассеяния, которое осуществляется за счет перераспределения намагничивающих сил внутри сечения обмотки (без изменения или с изменением её радиальных и осевых размеров); канализации потока рассеяния в обход деталей конструкции, в которых возможны добавочные потери (бак, полки ярмовых балок, прессующие кольца).

2. Выбор оптимальных размеров и формы элементов конструкции; это достигается за счет применения транспонированного провода, уменьшения размеров и подразделения полок ярмовых балок, использования раздельных прессующих колец для каждой из обмоток, дробление провода обмоток и пр.

3. Использование непроводящих материалов и маломагнитных сталей с соответствующими электрическими характеристиками.

Современное состояние данной проблемы:

В основном до настоящего времени контроль поля рассеяния осуществлялся, прежде всего, для того, чтобы избежать недопустимого нагрева в отдельных точках стенок бака и других металлических частей, особенно в трансформаторах большой мощности. Сегодня такой контроль производится также для снижения добавочных потерь. В данной работе с помощью специального программного обеспечения можно исследовать потоки рассеяния в стенках бака и добиться снижения их значения, тем самым уменьшить величину потерь.

Ход работы

Создания модели проводится в специализированной программе EDMAG-3D. Программа EDMAG-3D предназначена для расчета стационарных (постоянного тока) и квазистационарных (переменного тока) магнитных полей в трансформаторах.

В расчетную модель входит описание формы, геометрии конструкции (размеры, положение относительно друг друга магнитопровода, обмоток, бака, шунтов, экранов), токораспределение в обмотках, расположение линий, в которых необходимо провести расчет эпюр поля, расположение контуров для определения потоков, проникающих в различные элементы конструкции, описание поверхностей элементов конструкций, не являющихся проводниками основного магнитного потока. Описание геометрии магнитопровода, бака, шунтов и других элементов конструкции осуществляется с помощью геометрических форм, обмотки задаются в соответствии со своими параметрами или упрощенно [2].

Для исследования созданы две расчетные модели (с шунтами и без шунтов) для определения добавочных потерь:

- -в стенках бака трансформатора,
- в крайнем пакете стержня магнитопровода,
- -в нижней и верхней ферромагнитной ярмовой балке.

Модели представлены на рис. 1 и 2.

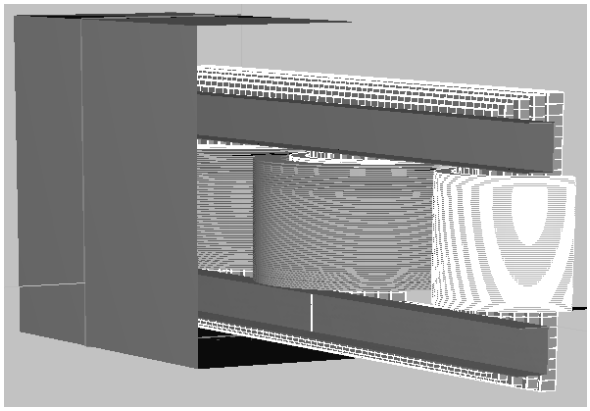


Рис. 1. Расчетная модель без шунтов

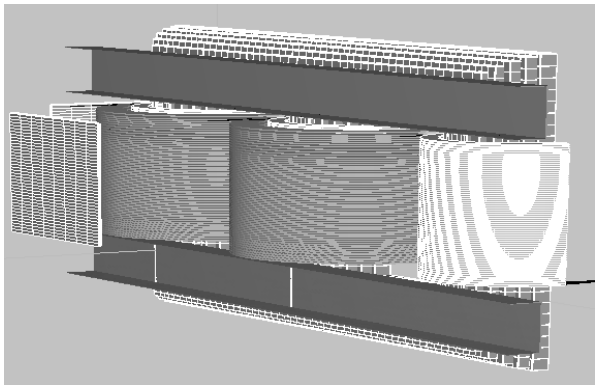


Рис. 2. Расчетная модель с шунтами

В процессе проделанной работы были получены данные по потерям в элементах указанных выше.

Результаты сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Расчеты модели без шунтов

Положение переключающего устройства		1 (макс)	3 (ном)	5 (мин)
Добавочные потери в баке, кВт	расчет	17,85	26,13	42,06
	эксперимент	12,2	22,0	37,0
Добавочные потери в нижних ярмовых балках, кВт		4,431	5,024	5,093
Добавочные потери в верхних ярмовых балках, кВт		1,412	1,344	1,263
Добавочные потери в крайних пакетах стержня, кВт		0, 806	0,454	3,727

Таблица 2

Расчеты модели с шунтами

Положение переключающего устройства		1 (макс)	3 (ном)	5 (мин)
Добавочные потери в баке, кВт	расчет	9, 51	13,43	21,95
	эксперимент	0	8,0	18,2
Добавочные потери в нижних ярмовых балках, кВт		3,801	4,572	4,381
Добавочные потери в верхних ярмовых балках, кВт		1,221	1,262	1,181
Добавочные потери в крайних пакетах стержня, кВт		0, 806	0,454	3,727

Вывод

На основании полученных результатов, можно сделать вывод о том, что исследование проблемы добавочных потерь и применение экранирующих шунтов на баке трансформатора является необходимым. Программа EDMAG-3D, используемая для моделирования, позволяет построить расчетную модель с соблюдением всех необходимых условий и получить требуемые объективные данные, соизмеримые с экспериментальными.

Список литературы

1. Лизунов С.Д. Лоханин А.К. Силовые трансформаторы: Справочная книга. – М.:Энергоиздат, 2004. – 616с.
2. Программа расчета трехмерного магнитного поля, добавочных потерь в элементах конструкции и температур наиболее нагретых точек EDMAG – 3D: Руководство пользователя – VIT, 2005. – 82с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Балтынов Т.Т.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: turar@inbox.ru

В настоящее время положение в мировой энергетике характеризуется некоторыми особенностями, объясняющее повышенное внимание к надежности работы оборудования энергосистем, и в том числе силовых трансформаторов. Силовой трансформатор является в энергосистеме одним из важнейших элементов, определяющих надежность электроснабжения. Внезапный выход из строя трансформатора причиняет особенно большой ущерб, так как при этом убытки связаны не только с необходимостью восстановления трансформатора, но и с перерывом в производстве. В настоящее время доля электрооборудования, выработавшего свой ресурс, составляет от 30% и более, а для силовых трансформаторов доходит до 70% [1]. Нарастание объема изношенного оборудования и отсутствие возможности его восстановления вводит энергетическое обеспечение в зону повышенного риска, технологических отказов и аварий. Надежная работа силового трансформатора определяется техническим состоянием всех его узлов и элементов. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести его замену. Отказ крупного силового трансформатора в работе может привести к аварии в энергосистеме с масштабными последствиями. Одним из главных путей поддержания эксплуатационной надежности является организация эффективного контроля состояния работающего оборудования. Поэтому для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов очень важным является оценка технического состояния, качественное обслуживание трансформаторов, организация эффективного контроля состояния работающего оборудовании, диагностический контроль и точное выявление причин отказов. По таким причинам, как выявление возникающих в работе дефектов, их обнаружение на ранних стадиях развития, своевременное принятие правильных решений по ликвидации дефектов, сокращение времени простоя, продление срока службы оборудования в последние годы контролю и диагностике основного электрооборудования энергосистем уделяется особенно большое внимание.

Цель работы – рассмотреть причины отказов силовых трансформаторов при эксплуатации.

Одним из важных показателей качества технических устройств и систем является надежность, т.е. способность безотказно работать с заданными техническими характеристиками в определенных условиях эксплуатации в течение заданного времени [2]. Эффективность функционирования силовых трансформаторов, обеспечение их безотказности и долговечности связаны с анализом и оценкой показателей надежности. Обеспечение надежной работы трансформаторов необходимо для предотвращения катастрофических последствий, так как выбросы масла или пожары из-за внутренних повреждений трансформаторов [4]. Для избежание таких повреждений трансформаторов требуются усиление прочности бака, соответствующее устройство мембран, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, быстродействующие защитные системы.

На предприятиях электрических сетей доля электрооборудования подстанций прослужившего более 25 лет эксплуатируемых силовых трансформаторов и автотрансформаторов составляет 32%. Внедрение современных средств и методик контроля технического состояния позволит принимать правильные решения о необходимости проведения ревизий и предупредительных ремонтов, а также решений о продолжении сроков эксплуатации оборудования с истекшим сроком службы на базе более точного определения остаточного физического ресурса [1, 3].

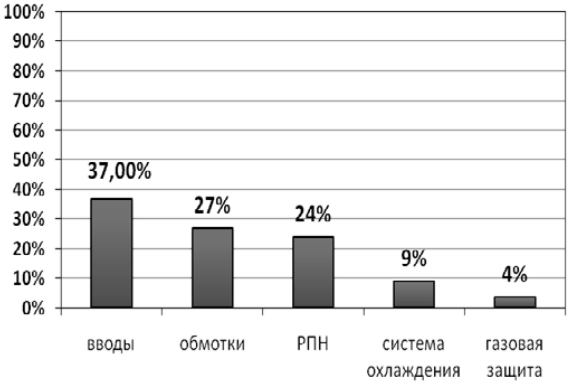


Рис. 1. Распределение технологических нарушений трансформаторов

Доля технологических нарушений, приходящаяся на силовые трансформаторы, составила около 42%. Таким образом, большая часть технологических нарушений связана с повреждениями маслонаполненных вводов, обмоток и устройств регулирования. На основании анализа технологи-

ческих нарушений можно сделать вывод, что наибольшее внимание в ходе эксплуатации трансформаторов следует уделять состоянию вводов, обмоток и устройств РПН.

Оценка технического состояния силовых трансформаторов в эксплуатации ведется по комплексу контролируемых показателей и их нормативам. Для определения технического состояния силовых трансформаторов и оценки остаточного ресурса используют комплексный подход [1]. Оценка технического состояния силового трансформатора его вспомогательных систем и узлов проводится в несколько этапов: подготовительный этап, проведение анализов и обработка полученных результатов.

Наиболее опасными по интенсивности возникновения отказов у силовых трансформаторов являются периоды межсезонья с характерными резкими перепадами температур и изменением электрических нагрузок. Основными причинами отказов в работе трансформаторного оборудования является: износ силовых обмоток, низкое качество технического обслуживания и ремонта, несоблюдения периодичности и объема выполнения профилактических мероприятий, недостаточный уровень исполнения средств оценки технического состояния и диагностики, недостатки эксплуатации. Значительная часть отказов трансформаторов может быть предотвращена путем использования современных методов диагностики технического состояния и комплексного обследования [2]. Основными причинами возникновения внутренних коротких замыканий в трансформаторах являются: загрязнение и увлажнение твердой изоляции и масла, газовыделение из изоляции, повреждение устройства переключения ответвлений под рабочим напряжением и др. В последние годы в энергетике наметилась тенденция к последовательному переходу от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по действительному техническому состоянию электрооборудования. Система технического обслуживания и ремонта силовых трансформаторов по текущему состоянию электрооборудования является наиболее эффективной, однако требует детальной проработки и совершенствования организации технического обслуживания и ремонтов. Одним из способов продления эксплуатации силовых трансформаторов является оценка, диагностика технического состояния силовых трансформаторов. Оценка состояния трансформаторов выполняется с помощью замеров и испытаний. Система диагностики опирается на действующие нормативные документы и обеспечивает не только комплексную оценку технического состояния силовых трансформаторов, но и принятие правильных решений по их дальнейшей эксплуатации [3]. Система диагностики позволяет принимать решения по их дальнейшей эксплуатации и осуществлять техническую политику перехода к ремонту по фактическому состоянию оборудования в соответствии с правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей.

Таким образом, основными причинами отказов в работе трансформаторного оборудования является: износ изоляции обмоток, низкое качество технического обслуживания и ремонта, несоблюдения периодичности и объема выполнения профилактических мероприятий, недостаточный уровень исполнения средств оценки технического состояния и диагностики, недостатки эксплуатации. Значительная часть отказов трансформаторов может быть предотвращена путем использования современных методов диагностики технического состояния и комплексного обследования Для предотвращения отказов силовых трансформаторов предусмотрен ряд мероприятий и действий. Одним из способов продления эксплуатации силовых трансформаторов является точная оценка, диагностика технического состояния трансформаторов. Система диагностики позволяет комплексно оценивать состояние силовых трансформаторов, принимать решения по их дальнейшей эксплуатации, позволяет прогнозировать возможность дальнейшей безаварийной работы силовых трансформаторов в течение определенного промежутка времени. Методы и средства диагностики постоянно совершенствуются.

Список литературы

1. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. – М.: Издательство Академия, 2003. – 383 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: Издательство БХВ-Петербург, 2008. – 702 с.
3. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 391 с.
4. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2008. – 460 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУТАЦИОННОЙ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ НА ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Берг А.Ю., Ларин А.О.

Научный руководитель: Рапопорт О. Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7

E-mail: allexberg@gmail.com

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируется более 70 тыс. тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов различных типов, при этом 36 % составляют двигатели НБ-418К6 и 38 % двигатели ТЛ-2К1. За пределами установленных техническими условиями сроков службы (25 лет) находятся 78 % ТЛ-2К1. Около 95 % двигателей имеют срок службы более 15 лет. Это означает, что все ТЭД уже восстанавливались в объеме среднего и капитального ремонта на заводах Желдорреммаша. Однако, двигатели, прошедшие ремонт, очень часто имеют отклонение по частоте вращения. На частоту вращения, в свою очередь, влияет коммутационная реакция якоря, вызванная неравномерностью первого воздушного зазора под дополнительными полюсами, и неправильным выбором величины второго диамагнитного зазора.

Величина необходимого зазора на основании опыта подпитки дополнительных полюсов (ДП) может приближённо определяться по формуле:

$$\delta'_{экв} = \delta_{экв} \cdot \frac{1}{1 \pm \frac{I_{ДИТ}}{I_{Я}} \cdot \left(\frac{\vartheta}{\vartheta - 1} \right)};$$

где $\delta'_{экв}$ и $\delta_{экв}$ – необходимый и существующий эквивалентные зазоры между добавочными полюсами и якорем;

$$\delta_{экв} = \delta_1 + \delta_2;$$

где δ_1 и δ_2 – первый и второй диамагнитный зазоры; ϑ – коэффициент компенсации реакции якоря.

$$\vartheta = \frac{8ap \cdot (W_{ДП} + W_{КО})}{N \cdot a_{ДП}};$$

где a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря; p – число пар полюсов; $W_{ДП}$ – число витков на 1-м ДП; $W_{КО}$ – число витков КО на 1 полюс; N – общее число проводников обмотки якоря; $a_{ДП}$ – число параллельных ветвей в обмотках ДП и КО.

Под коммутационной реакцией якоря понимают воздействие намагничивающей силы (НС), создаваемой токами коммутируемых секций, на основной поток машины. [1]. Будем считать, что машина работает в режиме двигателя, причём щётки установлены на геометрической нейтрали и шаг обмотки якоря $y_1 = \tau$ (рис. 1, *а*). В этом случае ось коммутируемых контуров совпадает с осью основных полюсов и, следовательно, НС, создаваемая этими контурами, может действовать либо встречно, т.е. размагничивающим образом, относительно НС основных полюсов, либо согласно с нею, т.е. намагничивающим образом.

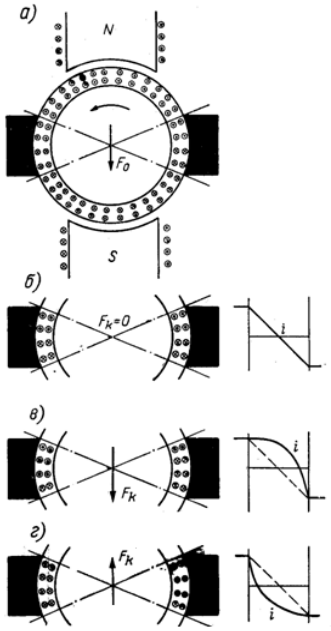


Рис. 1. Влияние н.с. коммутационной реакции якоря на основной поток машины

Пусть коммутация носит прямолинейный характер. В этом случае в первую половину периода коммутации за время от $t = 0$ до $t = T/2$ ток i в коммутируемых секциях имеет ещё то же направление, что и до начала коммутации, а во вторую половину периода коммутация за время от $t = T/2$ до $t = T$ направление токов в коммутируемых секциях изменяется на обратное (рис. 1, *б*, щётка изображена в увеличенном масштабе). Следовательно, в первую половину коммутации НС коммутируемых секций оказывает на основное поле размагничивающее влияние, а во вторую половину – намагничивающее. В результате оба действия взаимно компенсируются, и на этом основании можно сказать, что при прямолинейной коммутации НС коммутационной реакции не оказывает влияние на основное магнитное поле.

Если коммутация носит замедленный характер, то, как это видно на рис. 1, *в*, намагничивающее действие НС коммутируемых контуров преобладает, и в результате, основное поле усиливается. Если, наоборот, коммутация носит ускоренный характер, то в двигателе коммутационная реакция оказывает на основное поле размагничивающее действие (рис. 1, *г*).

В общем случае н.с. реакции якоря имеет вид:

$$F_{Я} = \pm F_{я.d} \pm F_{к.с.} + F_{qd};$$

где продольная составляющая якоря $F_{Я.d}$ в зависимости от направления сдвига щёток может либо уменьшать основное поле («+»), либо его увеличивать («-»). НС коммутационной реакции $F_{к.с.}$ увеличивает или уменьшает основное поле в зависимости от типа коммутации. Поперечная составляющая НС. якоря $F_{я.q}$ уменьшает основное поле, размагничивающая составляющая поперечной реакции обозначена как F_{qd}.

На основании теоретических данных, была построена физическая модель машины постоянного тока, на которой производилось исследование коммутационной реакции якоря. Для получения ускоренной или замедленной коммутации использовался метод безыскровой зоны, предложенный В.Т. Касьяновым (рис. 2), который заключается в следующем: к ДП подключается дополнительный источник тока (ДИТ). [2]. Вектор тока от ДИТ может иметь тоже направление, что и основной «Подпитка» или направлен противоположно «Отпитка». При «Подпитке» была получена замедленная коммутация, а при «Отпитке», ускоренная.

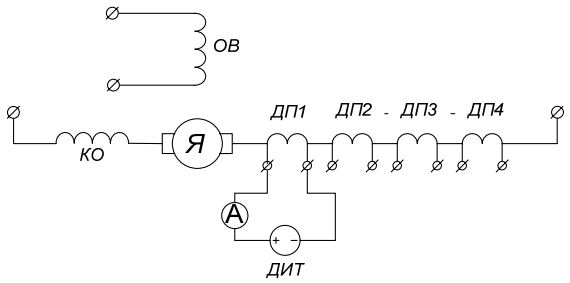


Рис. 2. Схема подключения дополнительного источника тока ДИТ к обмоткам дополнительных полюсов

На основании проведённых исследований были построены кривые зависимостей частоты вращения от тока ДИТ $n = f(I_{ДИТ})$ (рис. 3, 4).

Исследование проводилось следующим образом: подпитывали/отпитывали одну обмотку ДП, затем две последовательно соединённые, далее три и четыре. Таким образом, была достигнута несимметрия магнитного поля ДП, и выявлена степень влияния НС ДП на коммутационную реакцию якоря.

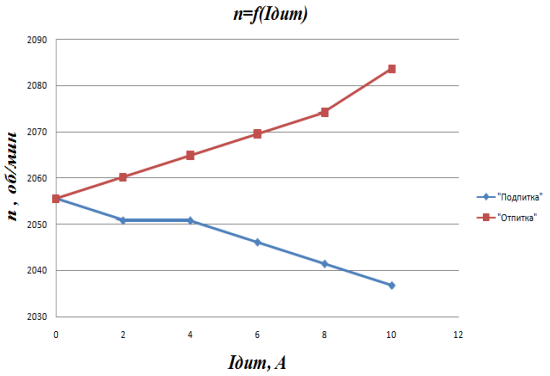


Рис. 3. Зависимость $n = f(I_{ДИТ})$ при «Подпитке/Отпитке» одного дополнительного полюса

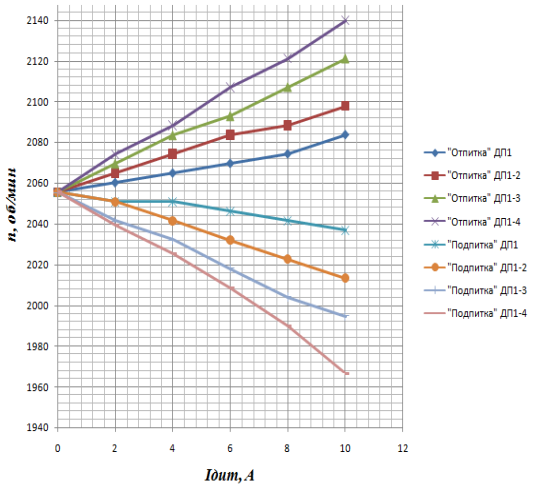


Рис. 4. Зависимость $n = f(I_{ДИТ})$ при «Подпитке/Отпитке» одного, двух, трёх и четырёх последовательно соединённых обмоток ДП

Исследования показали, что НС ДП оказывает большое влияние на коммутационную реакцию якоря, которая в свою очередь влияет на частоту вращения ТЭД. Усилить или ослабить НС ДП можно как методом «Подпитки/Отпитки», так и увеличением или уменьшением второго диамагнитного зазора. Усиливая или ослабляя НС ДП мы можем обеспечить равенство частот вращения всех ТЭД, устанавливаемых на электровоз, при этом необходимо обеспечивать прямолинейную коммутацию.

Список литературы

1. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Машины постоянного тока. Трансформаторы. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. Изд. 3-е, перераб. Л., «Энергия», 1972г. – 544с.
2. Битюцкий И. Б. Новые методы расчёта и наладки коммутации машин постоянного тока – Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2003. – 226 с., ил.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ОБМОТКИ

Бесперстова А.П., Коробцов А.А., Леонов А.П.

Научный руководитель: Леонов А.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

Besperstova-anna@mail.ru

Для современного развития электротехники характерно создание изделий с лучшими потребительскими свойствами, техническими параметрами и более высокой надежностью в эксплуатации.

В последние годы одним из основных, приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира стало энергосбережение. Очевидно, что основные усилия по энергосбережению должны быть направлены на сферу потребления электроэнергии, в том числе на электропривод. Большая часть электроэнергии, потребляемая электроприводами, относится к электроприводам на основе повсеместно используемых асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором в диапазоне мощностей до 100 кВт. Это обусловлено неоспоримыми преимуществами АД перед другими типами электромеханических преобразователей энергии, а именно: низкой стоимостью и материалоемкостью, высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями, отсутствием щеточно-коллекторного узла.

Для электроприводов, построенных на базе АД с короткозамкнутым ротором, оптимальным экономичным способом плавного регулирования в продолжительных режимах является частотный, основанный на использовании преобразователей частоты (ПЧ). Силовая часть такого ПЧ состоит из регулируемого выпрямителя, фильтра и автономного инвертора на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Повышенные требования к современным приводным системам привели к значительному развитию технологии регулируемых электроприводов. Существующие на сегодняшний день недорогие трехфазные асинхронные двигатели подходят для задач с самыми высокими требованиями. Главное – обеспечить электронное управление напряжением на двигателе. Сначала в промежуточном контуре (шине постоянного тока) привода происходит преобразование синусоидального напряжения питания в постоянный ток. Для генерации выходного напряжения, соответствующего техническим характеристикам двигателя и требуемой величине тока, используется полупроводниковый ключ.

При малых значениях синусоиды генерируются узкие импульсы, содержащие небольшое количество энергии. Ближе к максимуму синусоиды ширина импульсов увеличивается. После прохождения максимума ширина импульсов снова уменьшается до нуля. Аналогичный процесс наблюдается и при отрицательных значениях синусоиды, меняется только полярность напряжения. Процессор регулирует время, в течение которого напряжение подается на обмотки привода, управляя таким образом вращающим полем, крутящим моментом, ускорением и замедлением двигателя.

Новые современные типы регулируемых электроприводов открывают новые области применения электрических двигателей, в то же время имеется ряд недостатков, вызванных особенностями характеристики-скорости изменения выходного сигнала.

Современные полупроводниковые ключи, используемые в регулируемых электроприводах, отличаются исключительно высокой скоростью перехода из открытого состояния в закрытое, что проявляется в резких скачках напряжения до 10 кВ/мкс. Таким образом, на обмотку АД поступают импульсы прямоугольной формы с высоким значением перенапряжения, что вызывает протекание в обмотке волновых процессов (ВП). Под волновыми процессами следует понимать сложный комплекс физических явлений возникновения, распространения и быстрого изменения электромагнитного импульса вдоль цепи с распределенными параметрами (обмотка и магнитная система электрической машины). Это явление приводит к чрезмерным нагрузкам на изолированные медные провода обмоток двигателя и, как следствие, к преждевременному износу изоляционного слоя.

Явления распространения и отражения волн при ВП имеют место в обмотке статора АД. Отраженные волны, складываясь с питающим напряжением и ЭДС в обмотке статора, вызывают перенапряжения в изоляции статора, которые воздействуют на изоляцию статорной обмотки. Величины перенапряжений могут до 10 раз превышать значение питающего напряжения (рис. 1). Таким образом, при работе от ПЧ изоляция двигателя испытывает намного большее напряжение, чем при работе от источника синусоидального напряжения такой же амплитуды и частоты. Кроме того, при быстром нарастании напряженности электрического поля на фронте волны в изоляции машины возникают заметные диэлектрические потери. Все

это приводит к быстрому старению изоляции, что сказывается на снижении надежности и срока службы электрической машины. В результате этих процессов срок службы изоляции АД существенно сокращается.

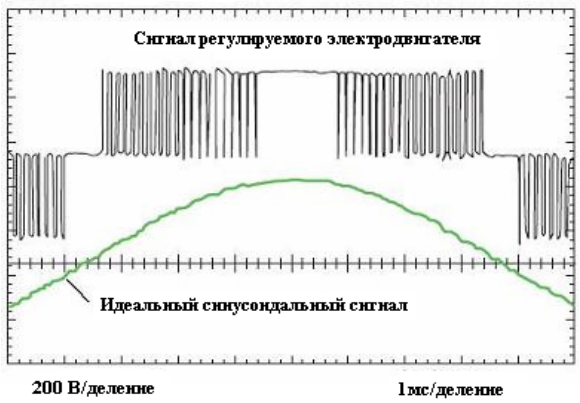


Рис 1. Напряжение на выходе регулируемого электродвигателя

Высокие рабочие частоты и крайне быстрое переключение напряжения накладывают дополнительные требования на длину соединительного кабеля. При подключении двигателя необходимо учитывать особенности распространения высокочастотных волн в проводниках. Характеристики длинного электрического кабеля напрямую зависят от его волнового сопротивления. Импульсы напряжения, генерируемые электроприводом, поступают на клеммы двигателя в виде отраженных волн. Отражение волн от концов кабеля может привести к двукратному повышению выходного напряжения электропривода. Лаковая изоляция обмоток двигателя не рассчитана на подобные скачки напряжения, поэтому может произойти пробой изоляции. Скачки напряжения, возникающие в результате переотражения волн, могут привести к пробою изоляции на обмотках двигателя.

Исходя из этого, можно сделать следующие выводы:

1. Развитие техники предопределило использование частотного управления двигателей. В обмотках данных двигателей возникают скачки напряжения. Возникшие электрические перенапряжения приводят к ускоренному износу изоляции обмоток и кабельных изделий.

2. Исследование волновых процессов, протекающих в обмотках асинхронных двигателей при частотном регулировании, является актуальной задачей. Один из главных недостатков частотного регулирования – сокращение срока службы изоляции двигателей, а соответственно и самого двигателя, в процессе регулирования. В 9 из 10 случаев поломка электродвигателя происходит по причине выхода из строя компонентов системы изоляции. Изучение волновых процессов в низковольтных двигателях и принятие соответствующих мер позволит существенно увеличить срок службы изоляции и самого двигателя соответственно.

3. В качестве мер защиты, помимо использования синусоидальных фильтров, для изготовления обмоток необходимо применять короностойкие электроизоляционные материалы. Фильтры устраняют эффект отражения волн и снижают напряжение до приемлемого уровня, предотвращая повреждение двигателя и аварийную остановку системы, короностойкие материалы обеспечивают необходимые эксплуатационные и ресурсные показатели.

В России в настоящее время первым и единственным предприятием по изготовлению короностойких эмалированных обмоточных проводов является ЗАО «Сибкабель» г.Томск. В дальнейшем в нашей работе планируется разработка оригинальной методики оценки короностойкости изоляции эмалированных обмоточных проводов, проведение сравнительных испытаний эмалированных проводов ряда марок, разработка практических рекомендаций по их применению.

Список литературы

1. Зайцев А.И., Лядов Ю.С. Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении. 2004г.
2. M. Lietal, “Effects of Repetitive Pulse Voltages on Surface temperature Increase at End Corona Protection Region of HV Motors”, Insucon, Birmingham, May 2006, pp105-108
3. M.K.W. Stranges, “IEC 60034-18-41 And -42: New Technical Specifications For Inverter Duty Motor Insulation”, Industry Applications Magazine, Jan 2007.
4. G. Stone, E.A. Boulter, I. Culbert, H. Dhirani, “Electrical Insulation for Rotating Machines,“ Wiley IEEE Press, January 2004.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Бобриков А.Н., Оскеро Д.С., Колокольцов В.Н.

Научный руководитель: Кляйн Р.Я., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: antoxa7m350@sibmail.com

Прямой пуск асинхронного электродвигателя вызывает большие пусковые токи, в 6-10 раз превышающие номинальные. Такой ток чрезмерно нагревает изоляцию, что приводит к ее старению и уменьшению срока службы двигателя. При прямом пуске, крутящий момент на валу двигателя также значительно превышает номинальный, что приводит к перегрузке приводимых механизмов, вибрации, и может вызвать поломку привода. Для предотвращения таких условий пуска, в электроприводе, где нет необходимости регулировать скорость вращения двигателя (вентиляторы, конвейеры и т.п.), применяют устройства плавного пуска (УПП).

Плавный пуск двигателя с помощью УПП позволяет снизить пусковые токи до 2-3 номинальных, уменьшить момент на валу двигателя (что снизит риск поломки привода), а также осуществить некоторые виды защиты. УПП может использоваться в условиях повышенной взрыво- и пожароопасности, в химически активной среде, и в других условиях, где возможно применение бесконтактных электрических аппаратов (горношахтное оборудование и др.). Взрывозащита достигается путем применения трекингостойких изоляционных материалов, материалов не поддерживающих горение, а также с помощью конструктивных способов: использование в конструкции взрывобезопасных зазоров (не более 0.4 мм), увеличенные расстояния между токоведущими частями, высокая чистота обработки поверхностей.

УПП представляет собой электронный регулятор напряжения, выполненный на тиристорах. Основой силовой части УПП являются два встречно-параллельно включенных тиристора, включаемые последовательно между питающим проводником и обмоткой двигателя (рис. 1).

Система управления (СУ) не только генерирует управляющие сигналы для отпирания тиристоров, а также может следить за состоянием двигателя, анализировать режим работы, осуществлять индикацию параметров и выполнять защитные функции. Основным элементом в СУ является микроконтроллер.

Плавный разгон асинхронного двигателя до номинальной скорости осуществляется путем бесступенчатого управляемого повышения напряжения на статоре двигателя, посредством изменения угла открытия тиристоров α (рис. 2).

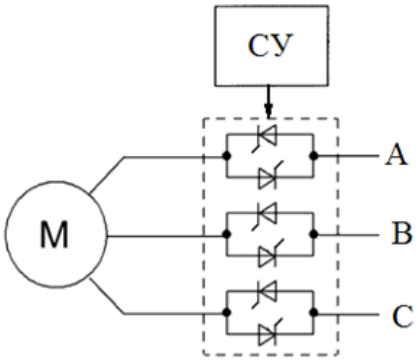


Рис. 1. Общая структура УПП

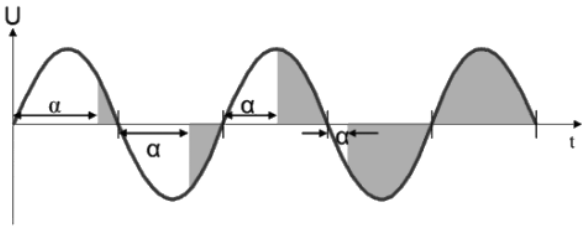


Рис. 2. Регулирование напряжения посредством изменения угла открытия тиристора

Тиристор отпирается при условии приложения прямого напряжения анод-катод и одновременной подачи отпирающего потенциала или его импульса на управляющий электрод. Запирается тиристор только снижением тока в цепи "анод-катод-нагрузка" до значения, близкого к нулевому.

Чем больше угол открытия тиристора – тем больше будет значение напряжения, прикладываемого к двигателю. Значение пускового тока определяется настройкой начального и конечного углов открытия тиристоров, а также требуемой длительностью нарастания напряжения (временем плавного пуска).

Характер и особенности теплофизических процессов, протекающих в полупроводниковых приборах, в основном определяются их конструкцией. Основным элементом конструкции является монокристаллическая пластина полупроводника с p-n-переходом. Контакт кристалла с выводами обеспечивается приплавлением ее поверхностей к специальным электродным элементам, которые, в свою очередь, припаиваются к внешним выводам. Для улучшения теплопередачи от p-n-перехода в

окружающую среду, внешние выводы делаются массивными, с большой контактной площадью. Внешние выводы полупроводникового прибора присоединяются к плоскому токопроводу, на который ставятся охладители, вся система скрепляется болтами.

В итоге такая теплофизическая модель может быть представлена в виде многослойной системы разнородных элементов (пластин). Пластина полупроводника, в таком случае, является элементом с внутренним источником тепла. Для удобства расчетов, производитель указывает тепловые сопротивления p-n-переход – корпус, что позволяет не учитывать внутреннее строение прибора, при построении модели.

Нестационарные тепловые процессы в многослойных системах могут быть описаны в общем виде нелинейными уравнениями теплопроводности с неоднородными граничными и начальными условиями. Решение этих уравнений чрезвычайно громоздко, использование программных средств позволяет значительно сократить время решения.

Тепловой расчет полупроводникового блока проводился для продолжительного режима работы тиристоров при пусковом токе асинхронного электродвигателя. По данному расчету был выбран тиристор Т273-1250-44, обеспечивающий протекание пусковых токов и выдерживающий максимальное повторяющееся напряжение. С учетом того, что тиристор используется во взрывозащищенной оболочке, для повышения надежности его номинальные параметры значительно превышают номинальные параметры сети, в которой он будет использоваться. Для поглощения мощности, выделяющейся на тиристоре, используется плоский охладитель. После того как двигатель запустится, полупроводниковый блок шунтируется контактором, и больше не работает. По этой причине и отсутствию во взрывозащищенной оболочке вентиляции, делать охладитель оребренным нецелесообразно. Задача охладителя, в данном случае, поглотить тепло, выделившееся на тиристоре за время его работы (до 30 секунд). После чего тепло, посредством излучения и естественной конвекции рассеется внутри корпуса, а затем через стенки корпуса – в окружающую среду.

Расчет многослойной системы полупроводникового блока производился в программе Elcut 5.1 путем построения модели (рис. 3). Цифрой 1 обозначен тиристор, 2 – токопровод, 3 – охладитель.

На данном рисунке приведен результат расчета работы полупроводникового блока на пусковом токе асинхронного электродвигателя большой мощности в течение 12 секунд, что соответствует эксперименту.

На предприятии ОАО «ТЭМЗ» был изготовлен полупроводниковый блок и собран испытательный стенд, для проверки теплового расчета. В состав испытательного стенда входят: индукционный регулятор напряжения, понижающий трансформатор, пускатель с вакуумным контактором, времязадающее устройство, полупроводниковый блок, препарированный термопарами, сигнал с которых поступает на измерители температуры. Термопары располагаются на охладителе таким образом, чтобы можно было получить картину температурного поля на разной глубине (рис. 4).

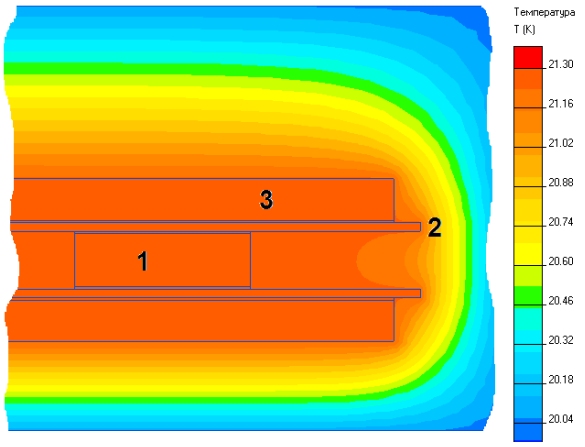


Рис. 3. Модель в программе Elcut

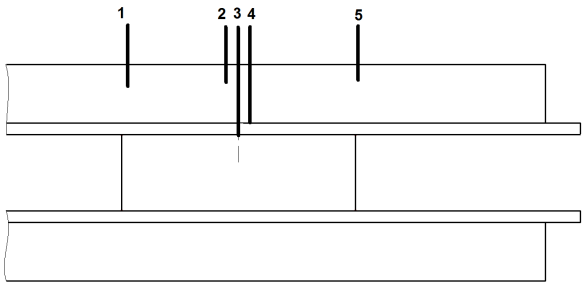


Рис. 4. Расположение термопар

Эксперимент имитировал запуск асинхронного двигателя большой мощности на протяжении 12 секунд. Показания измерителя температуры в соответствии с указанными на рисунке 4 термопарами:

1 – 19,8°C;
2 – 20,4°C;
3 – 20,9°C;
4 – 20,3°C;
5 – 19,4°C.

По результатам эксперимента можно сказать, что тепловой расчет выполнен верно, и значения температуры не превышают погрешности в 10%.

Список литературы

1. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. М.: Энергия, 1980. – 360 с.
2. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного привода/ Л.П. Петров, О.А. Андрющенко и др. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.
3. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Тиристорные усилители в схемах электропривода / Б.Н. Иванчук, Р.А. Липман, Б.Я. Рувинов. –М: Энергоатомиздат, 1966. – 112 с.
4. Давидов П.Д. Анализ и расчет тепловых режимов полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1967. – 145 с.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Болгов И.С.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: elektrik@sibmail.com

Качественная оценка наземного городского электрического транспорта, как и любого технического изделия, играет важную роль в определении его способности выполнять функциональные задачи. Обобщенным показателем, дающим количественную оценку качества, является надежность. Надежность изменяется с течением времени, так как изменяется и качество изделия.[2]

Анализ работы парка трамваев городов РФ показывает, что ежегодно должны подлежать списанию 5-7% единиц подвижного состава, как выработавшие заданный технический ресурс эксплуатации. Однако, из-за отсутствия средств на приобретение нового подвижного состава они попрежнему работают при установленных ранее параметрах эксплуатационного обслуживания.

В результате сложилась следующая ситуация. Уровень износа элементов электросилового оборудования значительно превышает установленный из-за их «старения», а сроки их межремонтного обслуживания и объемы ремонта сохраняются.[4]

Актуальность темы заключается в обеспечении безотказной работы городского электротранспорта путем адекватной оценки параметров их надежности в условиях постоянного роста удельных нагрузок.

Цель работы – разработка способов увеличения надежности электрооборудования городского транспорта, выработавшего заданный ресурс, с применением минимальных финансовых затрат.

Надежность оценивается величиной безотказности, долговечности и ремонтопригодности. Необходимую надежность имеет изделие, которое не только работает безотказно, но и длительно сохраняет свою работоспособность. Следовательно, необходимой надежностью будет обладать тот трамвай или троллейбус, который безотказно работает на пассажирских маршрутах при соблюдении и выполнении объемов и характеристик планово-предупредительной системы ремонтов, длительно эксплуатируется, а на поиск и устранение выявленных неисправностей требуются незначительные затраты времени, трудовых и материальных средств.[1]

Под условиями эксплуатации подвижного состава, в частности, понимаются климат и профиль пути, квалификация водителей и ремонтного персонала, соблюдение требований технического обслуживания и ремонта, производственная база и обеспеченность запасными частями, напряженность пассажиропотоков и методы регулирования движения, а также все то, что оказывает влияние на работоспособность подвижного состава.

На рис. 1 изображена кривая распределения интенсивности отказов в зависимости от пробега.[1]

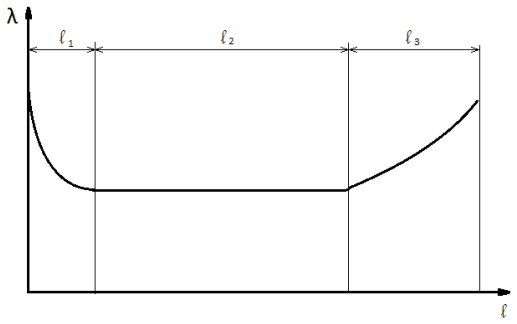


Рис. 1. Кривая распределения интенсивности отказов в зависимости от пробега

На этой кривой l_1-участок приработки электрооборудования, l_2-участок нормальной эксплуатации, l_3-участок выработки ресурса работоспособности.

Выполнение ремонта предполагает восстановление утраченной за межремонтный период части надежности. Однако надежность отремонтированных узлов становится несколько ниже, чем у новых. Основной причиной этого является то, что не все части конструкции подвергаются ремонту и восстановлению.

На рис. 2 графически представлено изменение уровня надежности эксплуатируемого электрооборудования. [1]

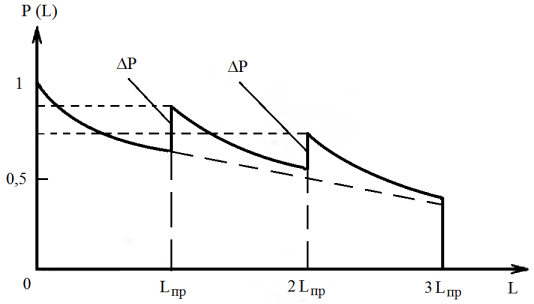


Рис. 2. Изменение уровня надежности эксплуатируемого электрооборудования

На этом графике L-пробег транспорта, ΔP – вероятностный уровень прироста надежности после ремонта. ΔP можно найти как:

$$\Delta P = P(L_2) - P(L_1) \quad (1)$$

где $P(L_2)$-вероятность нахождения узла единицы подвижного состава в исправном состоянии после ремонта; $P(L_1)$-вероятность нахождения в неисправном состоянии до начала ремонта. При выполнении работы с учетом всех требований и при высокой культуре производства наиболее возможный вероятный прирост безотказной работы:

$$\Delta P = 1 - P(L_1) \quad (2)$$

Тогда эффективность ремонтных и профилактических работ можно оценить по отношению вероятности безотказной работы после выполнения ремонта к вероятности ее до ремонта:

$$Э_р = \frac{P(L_2)}{P(L_1)} \quad (3)$$

С 2001г. по 2006 г. Челябинским МУП "Челябгортранс" была проведена Комплексная программа энергосбережения.[3]

Основные мероприятия программы включали в себя следующие пункты:

1.Установка приборов учета на объектах транспортной инфраструктуры;

2. Установка 15 комплектов автоматов электроотопления тяговых подстанций;

3. Ввод в строй тяговой подстанции № 47;

4. Установка счетчиков эл. энергии в трамваях и троллейбусах;

В результате этой программы удалось существенно уменьшить расходы на электроэнергию и увеличить доходы предприятия. Проанализируем диаграммы доходов и расходов предприятия. [3]

Как видно из рис. 3 в период с 2003 по 2004 года расход предприятия снизился, что вызвано сокращением расходов на электроэнергию. В свою очередь, из рис. 5 видно, что расходы на техническое обслуживание с каждым годом увеличиваются и уже в 2004 году они становится выше, чем прибыль от уменьшения расхода электроэнергии. Большинство аварий с транспортом происходило на маршруте либо перед самим выходом его на маршрут. Это приводило к простою трамваев и капитальному ремонту электрооборудования. Таких последствий можно было избежать при улучшении качества технического обслуживания, своевременной замены изношенных деталей, использовании рекомендованных типов масел, проведении более частых плановых технических осмотров и более глубокой диагностики.

Как видно из рис. 2 надежность оборудования после ремонта становится меньше, следовательно, следующий технический осмотр для этого оборудования должен проходить раньше, чем для нового, на которое рассчитывается план осмотров. Таким образом, участив технический осмотр и углубив диагностику для более старых трамваев и троллейбусов, можно было продлить их срок службы без особых затрат. Так же проанализировав формулы 2 и 3 можно сделать вывод, что качество обслуживания и технических осмотров существенно увеличивают продолжительность безотказной работы электрооборудования.

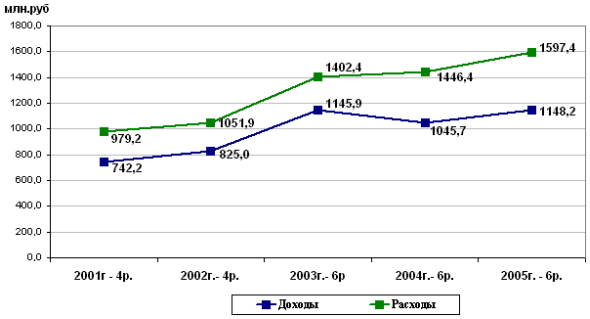


Рис. 3. Динамика доходов и расходов по городским перевозкам муниципальных предприятий пассажирского транспорта г. Челябинска

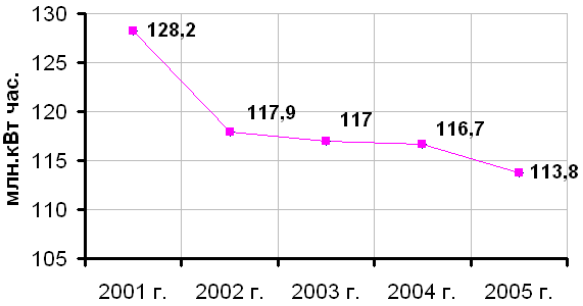


Рис. 4. Расход электроэнергии

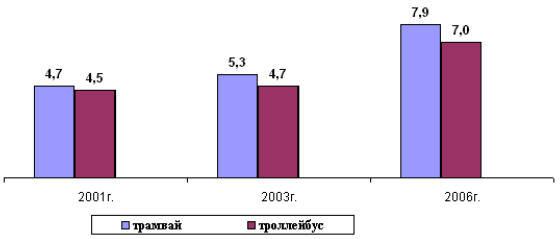


Рис. 5. Фактические затраты по техническому обслуживанию и ремонту на единицу подвижного состава в месяц, тыс. руб.

Список литературы

1. Коган Л.Я. Эксплуатация и ремонт трамваев и троллейбусов.- М.: Транспорт, 1979. – 272 с.
2. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта.- М.: Академия, 2006. – 464 с.
3. Комплексная программа энергосбережения// www.transport74.ru. 2011.URL: http://www.transport74.ru/index.php?chap=2&sub=4 (дата обращения 26.02.2011).
4. Колесников С.В. Разработка метода расчета эксплуатационной надежности электродвигателей трамваев, выработавших заданный технический ресурс: автореф.дис. канд. техн. наук.- Казань, 2002. -19 с.

ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Валеева О.Р.

Научный руководитель: Сипайлова Н.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: 13ways@sibmail.com

В различных производственных установках для сокращения непродуктивного рабочего времени, повышения точности технологических операций или безопасности рабочего места требуется немедленная остановка приводного электродвигателя после его отключения от питающей сети.

Область применения тормозных электродвигателей весьма широка. Они используются в станкостроении – в станках с коротким циклом работы, при подачах и установочных перемещениях для повышения точности останова в требуемом положении, при быстрых перемещениях масс, обладающих значительной инерцией, с целью уменьшения потерь времени на перебеги; в подъемно-транспортных машинах и механизмах – в крановых установках, лебедках, лифтах, для привода механизмов подъема и передвижения, где требуется удержание груза на весу или ходовой тележки на наклонной плоскости при отключении электроэнергии.

При этом в зависимости от конкретного типа применения, вал электродвигателя после торможения либо может иметь свободное вращение, либо должен быть закреплен неподвижно.

Если для вала допустимо свободное вращение, то можно предусматривать как электрические (торможение противовключением, динамическое торможение и т.п.), так и механический, способы торможения. Электрические способы торможения не требуют применения механических тормозов, увеличивающих габариты привода. Механический способ торможения по сравнению с электрическим позволяет резко сократить количество пусковой аппаратуры и упростить схему управления двигателем, улучшить его тепловой режим и значительно увеличить число торможений [1]. Данные способы имеют свои особенности применения (табл. 1) [2].

Если же вал необходимо резко перевести в неподвижное состояние, то обязательно предусматривают механический способ торможения.

Ранее были довольно распространены электроприводы, где для механического торможения использовали фрикционные тормоза, устанавливаемые рядом с приводным механизмом и управляемые с помощью электромагнита или электрогидротолкателя. Наиболее существенный недостаток таких устройств – это их громоздкость. Более компактным и удобным приводом быстрого останова являются устройства, в которых электродвигатель и тормоз выполняются в виде единой конструкции.

Таблица 1

	Особенности Эксплуатации	Особенности управления
Торможение противовключением	Низкая надежность из-за возможности возникновения реверса. Необходимо устройство контроля скорости. Торможение резкое. Мало допустимое число включений в час.	В отключенном состоянии вал расторможен. Автоматическая регулировка тормозного момента затруднена. Аппаратура управления: реле контроля скорости, контакторы.
Динамическое торможение	Торможение до полной остановки, наиболее надежный способ из всех электрических. Торможение плавное.	В отключенном состоянии вал расторможен. Возможна автоматическая регулировка тормозного момента. Аппаратура управления: реле времени, контактор, выпрямительное устройство.
Механическое торможение	Торможение до полной остановки. Наибольшая надежность при исчезновении напряжения сети. Торможение резкое. Тормозной момент постоянен.	В отключенном состоянии вал заторможен. Отсутствует возможность автоматической регулировки тормозного момента. Специальная аппаратура не требуется.

Тормозные электродвигатели обычно выполняются на базе серийных асинхронных двигателей общепромышленного исполнения с тормозным устройством на базе электромагнита постоянного тока с форсировкой. Они должны удовлетворять следующим требованиям:

- – должна обеспечиваться высокая надежность и долговечность тормозного устройства и самого электродвигателя;
- маховые массы тормозной системы должны быть минимальными;
- тормозное устройство должно срабатывать плавно, без ударов, при высоком тормозном моменте и обеспечивать достаточно быстрое размыкание и замыкание тормозных поверхностей;
- тормозное устройство должно обеспечивать достаточный тормозной момент для заданных условий работы, а также возможность его регулировки;

• конструкция тормозного устройства должна быть простой и технологичной, а также обеспечивать удобство осмотра, регулирования и замены изнашивающихся деталей;

• допустимая частота включений тормоза в единицу времени должна быть не ниже, чем частота включений базового электродвигателя;

• тормозной электродвигатель должен работать в любом положении, а его тормозная система должна допускать возможность растормаживания вала без приведения его во вращение как механическим, так и электрическим способами;

• износ трущихся элементов тормоза должен быть минимальным.

В настоящее время применяются в основном нормально замкнутые тормозные устройства. При отключении электродвигателя от сети питания их фрикционные тормозные поверхности замыкаются и препятствуют вращению вала, а при включении – размыкаются под действием электромагнита [1].

Основными конструкциями, в которых электродвигатель и тормоз выполняются в едином корпусе, являются электродвигатели со встроенным и пристроенным тормозом.

Конструктивная особенность двигателей со встроенным электромагнитным тормозом заключается в том, что за счет специальной конструкции ротора и вала, основная часть электромагнитного тормоза размещается внутри самого двигателя. Снаружи под кожухом находится только тормозной диск-вентилятор. Принцип действия тормоза основан на использовании части основного магнитного потока между статором и ротором для создания тягового усилия, растормаживающего двигатель. С этой целью ротор выполняется специальной конструкции. Основная и тормозная части ротора объединены в единое целое. Тормозной момент создается пружиной, которая прижимает тормозной диск-вентилятор с тормозными накладками к поверхности специального подшипникового щита. Но у такого вида конструкции двигателя есть большой недостаток – пакет ротора не унифицирован (это недопустимо для серийного производства).

Асинхронные двигатели с пристроенным электромагнитным тормозом состоят из собственно двигателя и электромагнитного тормозного устройства, смонтированного на подшипниковом щите и валу двигателя и размещенного под защитным кожухом (рис. 1).

Тормозное устройство состоит из электромагнита, тормозного диска, пружин и системы настройки тормозного момента. При включении двигателя на номинальное напряжение одновременно через диодный мостик включается электромагнит тормоза и двигатель растормаживается. Время замедления срабатывания тормоза при номинальном напряжении: при включении двигателя не более 0,04 сек, при отключении двигателя не более 0,2 сек. Эти двигатели имеют большее быстродействие, меньшую массу и габаритные размеры [3].

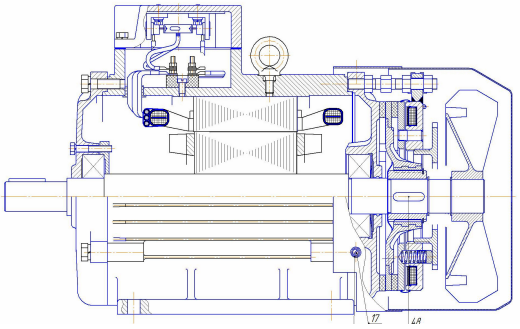


Рис. 1. Двигатель с пристроенным электромагнитным тормозом

Вследствие расширения области применения, а также в связи с интенсификацией производственных процессов и роста общего технического уровня электромашиностроения, требования, предъявляемые к электромагнитным тормозным устройствам, с каждым годом постоянно ужесточаются. Поэтому создание надежных электромеханических тормозных устройств с высокими технико-экономическими показателями является важной и актуальной практической задачей, также актуальной остается разработка новых эффективных конструкций и схем управления тормозами.

Список литературы

1. Гринберг В. С. Переходные процессы в асинхронных двигателях со встроенными электромагнитными тормозами постоянного тока: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических – Томск: Томский Политехнический Институт 1974. – 206 с.
2. Соленков В.В. Разработка и исследование асинхронных двигателей с электромеханическими тормозными устройствами постоянного тока: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Томск: Томский Политехнический Институт, 1981. – 233 с.
3. ОАО «СКБ Сибэлектромотор» [Электронный ресурс]: асинхронные тормозные двигатели с электромагнитным тормозом, Томск, URL:http://www.scbsem.ru/with_electromagnetic_brake.html

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

Ван Бо, Усачева Т.В.

Научный руководитель: Усачева Т.В., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: goodwb@126.com

Перспективами развития электротехнической промышленности является стремление предприятий повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции в первую очередь за счет усовершенствования и модернизации старой. В настоящее время к числу задач по модернизации электрических машин в большей степени относят повышение энергетических показателей, так как энергосберегающие двигатели с оптимальным коэффициентом полезного действия (КПД), потребляют меньше энергии при одной и той же выходной мощности и при этом использование таких модернизированных асинхронных двигателей позволяет частично решить проблему энергосбережения. В настоящее время техническим решением, позволяющим повысить энергетически показатели асинхронных двигателей (АД) является увеличение массы активных материалов – электротехнической стали и обмоточной меди.

Цель работы: на основе математической модели оценки влияния электромагнитных нагрузок провести модернизацию для получения энергосберегающих асинхронных двигателей средней мощности за счет увеличения материалоемкости.

Модернизированный АД более эффективный вариант своего предшественника, обеспечивающий выполнение обозначенных задач лучше других аналогов. Для получения при модернизации энергоэффективного АД была использована математическая модель оценки влияния электромагнитных нагрузок на показатели качества асинхронных двигателей [1]. Так как электромагнитные нагрузки играют основную роль в эффективности использования объема активной части машины и от их назначения зависят энергетические показатели электротехнического изделия в целом. Например, чем больше электромагнитные нагрузки, тем меньше коэффициент использования объема активной части и повышается КПД асинхронного двигателя [2].

Разработанная математическая модель охватывает основные этапы проектирования АД, такие как электромагнитный и тепловой расчеты, позволяющие оценить оптимальность спроектированной машины на стадии проектирования. Предложенную математическую модель используют для расчетов АД средней мощности общепромышленного исполнения.

Использование данной математической модели позволяет получить асинхронный двигатель без изменения геометрии поперечного сечения с измененной длиной сердечника статора за счет увеличения линейной нагрузки.

В качестве начальных данных была принята поперечная геометрия, а так же обмоточные данные базовых машин. Варьируемыми факторами расчета являлись электромагнитные нагрузки. Линейная нагрузка определяется отношением тока всех витков обмотки к длине окружности. Чем больше электромагнитные нагрузки, тем больше коэффициент использования объема активной части. Для обеспечения лучшего использования материалов нужно предусмотреть лучшие условия охлаждения в двигателях, что позволит выбирать большие электромагнитные нагрузки.

Наибольшие допустимые уровни электромагнитных нагрузок для конкретных двигателей определяются допустимым нагревом активных частей, так как с ростом электромагнитных нагрузок увеличиваются потери в единице активного объема двигателей. Значения электромагнитных нагрузок задаются в виде рекомендаций в соответствующих расчетных методиках и служат основой для правильного выбора объема активной части. С развитием теории и практики электромашиностроения коэффициент использования объема активной части двигателей повышается.

Математическая модель реализована в программной среде mathCAD. С помощью программы была проведена модернизация асинхронных двигателей серии АИР разных высот осей вращения (h=90;100;112;132;160мм).

В таблице 1 представлены базовые и граничные значения возможного увеличения длины сердечника статора для каждого асинхронного двигателя при сохранении заданного уровня качества (показатели качества служат ограничением данной математической модели).

Также в табл. 1 для рассмотрения возможностей снижения материалоемкости асинхронных двигателей внесены массы стали, меди, алюминия и суммарная масса активных материалов. В табл. 2 приведены значения изменения массы активных материалов (ΔM, %).

Таблица 1

Результаты модернизации асинхронных двигателей при увеличении длины сердечника статора

h, мм	90		100		112		132		160	
	ном	расчет	ном	расчет	ном	расчет	ном	расчет	ном	расчет
L,%	100	115	100	115	100	115	100	108	100	106
L,м	0,115	0,132	0,195	0,224	0,185	0,213	0,175	0,193	0,200	0,211
cosφ, о.е.	0,778	0,74	0,816	0,8	0,845	0,835	0,890	0,889	0,9	0,896
η,%	0,78	0,79	0,845	0,849	0,86	0,868	0,877	0,881	0,892	0,896
$I_П$, о.е.	5,23	5,93	6,5	7,05	6,59	7,51	7,44	7,52	6,56	7,41
$M_П$, о.е.	2,74	3,59	3,19	3,52	2,67	3,49	2,98	3,15	2,05	2,39
$M_М$, о.е.	3,01	3,7	3,56	3,8	3,14	3,94	3,38	3,46	2,83	3,24
$S_н$,%	6,2	5,8	5,5	4,9	4,68	4,55	4,14	3,85	3,7	3,56
Мст,кг	15,39	17,7	33,77	38,83	40,73	46,84	49,80	53,45	78,88	83,52
Мал,кг	0,527	0,531	0,998	1,003	1,208	1,211	1,453	1,462	2,409	2,412
Мм,кг	0,507	0,568	0,934	1,014	1,162	1,30	1,487	1,532	2,356	2,411
$M_{сум}$,кг	16,43	18,80	35,70	40,849	43,10	49,35	52,74	56,44	83,64	88,34

Таблица 2

Изменения массы при увеличении длин сердечников асинхронного двигателя

h, мм	90	100	112	132	160
	15	15	15	8	6
ΔМст,%	15,010	14,983	15,001	7,329	5,882
ΔМал,%	0,759	0,501	0,248	0,619	0,125
ΔМм,%	12,032	8,565	11,876	3,026	2,334
$ΔM_{сум}$,%	14,425	14,423	14,501	7,016	5,619

Анализ результатов показал тенденцию:

а) при увеличении длины сердечника статора АД электромагнитные нагрузки увеличились, энергетические показатели улучшились – КПД возрос;

б) для разных высот осей вращения КПД улучшается на 0,4%-1,3%, но с ростом высоты оси вращения тенденция к повышению данного параметра снижается;

г) для разных высот осей вращения массы увеличиваются: стали до 15,010%, меди до 12,032%, алюминия до 0,759%.

Значит, при увеличении оси вращения, допустимый предел для энергетических характеристик уменьшается. Поэтому эффективность модернизации более влияет на маленькие габариты.

Как видно, с увеличением массогабаритных показателей АД происходит улучшение энергетических показателей за счет уменьшения электрических потерь приходящихся на обмотку статора и ротора. При этом комплексный показатель эффективности оказываются выше, чем у базового двигателя для вариантов с одновременным изменением числа витков в обмотке фазы статора и длины сердечников статора и ротора. Наилучший комплексный показатель эффективности получается при уменьшении числа витков в обмотке фазы статора на 8,87 % от базового значения. За счет улучшения энергетических показателей произойдет снижение годовых затрат на активные потери электроэнергии, которые и являются основной статьей расходов при эксплуатации АД.

Предложенная математическая модель может быть использована при модернизации асинхронных двигателей для решения задач по улучшению энергетических показателей асинхронных двигателей. Поэтому, исследование влияния электромагнитных нагрузок на коэффициент полезного действия и материалоемкость асинхронных двигателей своевременны и актуальны при усовершенствовании широко применяемых в промышленности асинхронных двигателей.

Список литературы

1. Ван Бо. Математическая модель оценки влияния электромагнитных нагрузок на показатели качества асинхронных двигателей. XVI Международная научно – практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» – Томск: издательство ТПУ, 2010 г.
2. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов. И.П. Копылов и др.; Под ред. И.П. Копылова.- М.: Энергия, 2002. – 767 с.: ил. (12).

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КООРДИНАТ СОСТОЯНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАТОРА В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Вдовин В.В.

Научный руководитель: Панкратов В.В. д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет

Россия, 630092, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

E-mail: vdovin_88@mail.ru

Сегодня все более актуальной становится проблема высокой энергоемкости отечественного производства. По различным оценкам до 60% вырабатываемой в нашей стране электроэнергии потребляется электроприводами переменного тока на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АД), что обуславливается известными преимуществами таких машин – дешевизной, простотой конструкции, отсутствием скользящих контактов.

Основной областью применения АД являются привода общепромышленных механизмов – насосов, вентиляторов, конвейеров, дробилок, деревообрабатывающих станков, грузоподъемных механизмов и т.п.

Однако большинство этих приводов электрически не регулируются. Построение замкнутых систем регулирования позволяет сократить энергопотребление на 40-50%. Кроме того, повышается качество технологического процесса, продлевается срок службы оборудования.

Известно, что векторное управление АД обеспечивает лучшие динамические показатели, чем частотное, и позволяет реализовывать различные энергоптимальные алгоритмы, путем регулирования поля АД. Для построения системы векторного управления необходима информация о текущих координатах состояния асинхронного двигателя – токах статора, опорном векторе потокосцепления и электрической частоте вращения ротора. Применение датчиков Холла и датчиков скорости для измерения последних, как правило, невозможно или нецелесообразно.

По этой причине в последнее время уделяется большое вниманию развитию так называемых алгоритмов бездатчикового векторного управлении, которые, оперируя информацией о текущих токах и напряжениях статора АД, получают оценки электрической частоты вращения двигателя и опорного вектора потокосцепления.

Данные алгоритмы можно разделить на две группы – пассивные и активные. Активные алгоритмы предполагают использование каких-либо дополнительных тестовых воздействий, что естественно будет неизбежно проявляться в магнитном потоке и электромагнитном моменте машины и влиять на ход технологического процесса. По этой причине для промышленных применений целесообразно использовать пассивные алгоритмы идентификации координат состояния АД.

Системы пассивной идентификации делятся на неадаптивные и адаптивные. Неадаптивные системы используют либо статорную модель электромагнитных процессов АД или роторную. Адаптивные системы используют две модели – эталонную и настраиваемую.

Наиболее популярными и теоретически проработанными системами пассивной идентификации частоты вращения ротора АД являются алгоритмы [1] типа MRAS – Model Reference Adaptive System (адаптивная система с задающей или эталонной моделью – АСЗМ), FOO – Full Order Observer (наблюдатель полного порядка – НПП), EKF – Extended Kalman Filter (расширенный фильтр Калмана).

Известно, что эти алгоритмы имеют области неустойчивой работы в генераторных режимах на малых частотах питания. Также алгоритмы идентификации чувствительны к отклонениям параметров асинхронного двигателя. Эти отклонения могут быть вызваны как ошибочной априорной информации о параметрах машины, так и их дрейфом в процессе работы, в частности изменение активных сопротивлений вследствие теплового нагрева.

Известно, что отклонение активного сопротивления ротора приводит к появлению статической ошибки идентификации электрической частоты вращения. Отклонение активного сопротивления статора приводит к неустойчивости алгоритмов идентификации на малых частотах, ограничивая тем самым диапазон регулирования частоты вращения АД.

Автором предлагается алгоритм идентификации координат состояния и активного сопротивления статора асинхронного двигателя построенного на базе наблюдателя полного порядка

Математическая модель НПП в неподвижной системе координат [2]:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mathbf{x}}} = \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\mathbf{U}_S + \mathbf{L}(\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y}), \\ \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}, \end{cases}$$

где ^ – оценки соответствующих величин; **L** – матрица «стабилизирующей добавки»,

$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} & i_{s\beta} & \psi_{r\alpha} & \psi_{r\beta} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор координат состояния объекта; $\mathbf{U}_s = \begin{bmatrix} U_{s\alpha} & U_{s\beta} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор управляющих воздействий; $\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – матрица выхода; $\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} & i_{s\beta} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец доступных для прямого измерения переменных; $\hat{\mathbf{A}}$ – собственная матрица наблюдателя,

$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} -\dfrac{R_r k_r^2}{L_{\sigma\mathrm{e}}}\mathbf{E} - \dfrac{\hat{R}_s}{L_{\sigma\mathrm{e}}}\mathbf{E} & \dfrac{k_r}{L_{\sigma\mathrm{e}} T_r}\mathbf{E} - \dfrac{k_r}{L_{\sigma\mathrm{e}}}\hat{\omega}_{\mathrm{e}}\mathbf{D} \\ \dfrac{L_m}{T_r}\mathbf{E} & -\dfrac{1}{T_r}\mathbf{E} + \hat{\omega}_{\mathrm{e}}\mathbf{D} \end{bmatrix},$$

$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{L_{\sigma\mathrm{e}}}\mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – матрица управления; $\mathbf{E}$ – единичная матрица; $\mathbf{D}$ – матрица поворота вектора на угол $\pi/2$; R_r, R_s, k_r, $L_{\sigma\mathrm{e}}$, T_r, L_m – параметры двигателя; ω_{e} – электрическая частота вращения ротора двигателя.

Для обеспечения устойчивости алгоритма идентификации предлагается использовать следующую стабилизирующую добавку

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} -\hat{\omega}_{\mathrm{e}}\mathbf{D}\dfrac{\hat{R}_s}{R_r}\dfrac{L_r}{L_{\sigma\mathrm{e}}} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

и законы адаптации активного сопротивления статора и электрической частоты вращения

$$\hat{R}_s = k_\rho \int \boldsymbol{\varepsilon}_i^{\mathrm{T}} \hat{\mathbf{I}}_s dt + R_{s0},$$

$$\hat{\omega}_{\mathrm{e}} = k_i \int \boldsymbol{\varepsilon}_i^{\mathrm{T}} \mathbf{D}\hat{\boldsymbol{\psi}}_r dt + k_p \boldsymbol{\varepsilon}_i^{\mathrm{T}} \mathbf{D}\hat{\boldsymbol{\psi}}_r.$$

где k_ρ, k_i, k_p – коэффициенты регуляторов, R_{s0} – начальная априорная информация об активном сопротивлении статора, $\boldsymbol{\varepsilon}_i = \hat{\mathbf{I}}_s - \mathbf{I}_s$ – вектор токовой ошибки.

Структурная схема алгоритма идентификации представлена на рис. 1, где НПП – математическая модель наблюдателя полного порядка; БА – блок, реализующий законы адаптации.

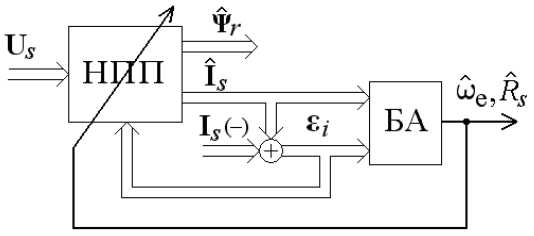


Рис. 1. Структурная схема алгоритма

Цифровое моделирование предлагаемого алгоритма производилось в среде MATLAB/Simulink в составе системы «бездатчикового» асинхронного электропривода с векторным управлением на базе электродвигателя 4А225М4У3.

На рис. 2 представлены графики переходных процессов по электрической частоте ротора, заданию на токи в системе координат (d,q), заданиям фазных токов и напряжений при работе в двигательном режиме. Электропривод отрабатывает следующие режимы – намагничивание двигателя, разгон без нагрузки на частоту $\omega_{\mathrm{e.ном}}/2$, наброс номинальной нагрузки, сброс нагрузки.

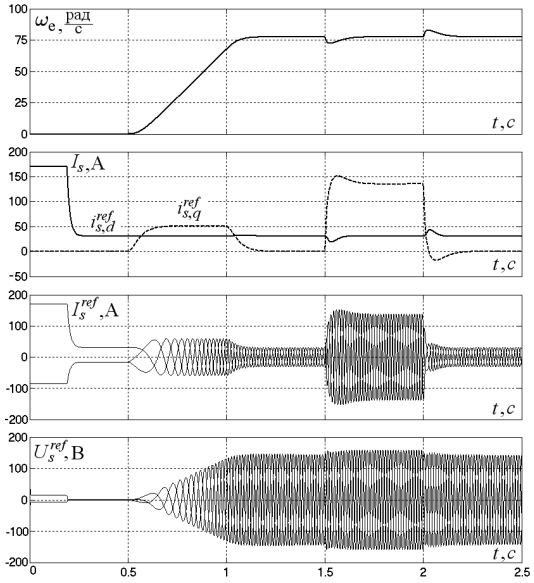


Рис. 2. Переходные процессы в «бездатчиковой» СВУ

Переходной процесс идентификации сопротивления статора при изменении сопротивления АД на 10% представлен на рис. 3.

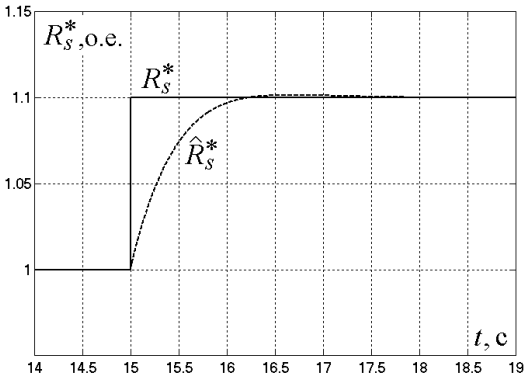


Рис. 3. Идентификация сопротивления статора

Результаты моделирования подтверждают работоспособность предлагаемого алгоритма идентификации опорный вектор потокосцепления ротора и электрической частоты вращения ротора асинхронного двигателя, а также активного сопротивления статора во всей плоскости механических характеристик.

Список литературы

1. J. Holtz. Sensorless Control of Induction Motor Drives / Proceedings of the IEEE. August 2002, vol. 90, no.8.
2. H. Kubota, K. Matsuse, T. Nakano. DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor / IEEE Trans. Ind. Applicat. March/April 1993, vol. 29, no. 2, pp. 344-348

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ

Воронина Н.А.

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., проф.

Томский политехнический университет, Энергетический институт

634050, Россия, г. Томск, ул. Усова 7 корп. 8, ауд. 130

E-mail: VoroninaNataly@vtomske.ru

Электроприводы углового движения с прерывистым движением вала широко используются в машиностроении и приборостроении, горной и химической промышленности, в технике контроля и измерения, строительстве, текстильной промышленности, сейсмологии.

Например, в машиностроении такие устройства применяются для виброшлифования, перемешивания металлических расплавов, виброобкатки, рубки и обработки ударами, в сельском хозяйстве – для расфасовки, упаковки и сушки, в текстильной промышленности – для прокидки челноков и раскладки нити при намотке, в медицине – в системах искусственного кровообращения, в оптико-механике и радиолокации – для создания различных траекторий сканирования и т.д.

Принцип работы асинхронного электропривода прерывистого движения заключается в создании шагового изменения электромагнитного поля, определяющего закон перемещения подвижного элемента двигателя. Это может быть достигнуто за счет прерывистого питания одной из обмоток исполнительного двигателя напряжением, когда электромагнитный момент переходит через ноль и прикладывается в одном и том же направлении [1, 2].

Для исследования электропривода с прерывистым движением необходимо аналитически определить закон движения подвижного элемента двигателя при токовой фазовой модуляции, когда функции регулирования имеют вид

$$\begin{aligned} I_{\alpha s}(t) &= I_{m1}\cdot\sin(\omega_1 t+\alpha)\cdot A(t) \\ I_{\beta s}(t) &= I_{m2}\cdot\sin(\omega_2 t+\beta), \end{aligned} \qquad 1$$

где I_{m1}, I_{m2} – амплитуды питающих токов, α,β – начальные фазы на обмотках, ω_1,ω_2 – угловые частоты питающих напряжений, A – импульсная функция, определяемая как

$$A=\frac{1}{2}+\frac{2}{\pi}\left[\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(2n-1)\Omega t}{(2n-1)}\right],$$

где $\Omega=\omega_1-\omega_2$ – круговая частота шага.

Переходя к операторной форме записи и определив корни выражений (1), $p_{1,2}=\pm j\omega_1$; $p_{3,4}=\pm j\omega_2$; $p_{5,6}=\pm j(\omega_1-(2i-1)\Omega)$; $p_{7,8}=\pm j(\omega_1+(2i-1)\Omega)$ значения токов во временной форме будет иметь вид

$$\begin{aligned} i_n(t)=\; & I_{m1}\cdot\Bigg((-1)^{n+1}\Bigg[-T_{1n}\begin{pmatrix}\omega_1\cdot\sin(\omega_1 t-\alpha-\theta_{1n})+\\ +\omega\cdot\sin(\omega_1 t+\alpha+\theta_{1n})\end{pmatrix}+ \\ & \frac{1}{\pi}\cdot\sum_{i=1}^{\infty}\left((2i-1)^{-1}\omega_1-\Omega\right)\cdot\begin{bmatrix}T_{2ni}\cdot\sin\cdot\\ \left(\begin{matrix}[\omega_1-(2i-1)\Omega]t+\\ +\alpha+\theta_{2ni}\end{matrix}\right)+\\ T_{3ni}\cdot\sin\cdot\\ \left(\begin{matrix}[\omega_1-(2i-1)\Omega]t+\\ +\alpha+\theta_{3ni}\end{matrix}\right)\end{bmatrix}\Bigg]+ \\ & +\frac{1}{\pi}\cdot\sum_{i=1}^{\infty}\left((2i-1)^{-1}\cdot\omega\right)\cdot\begin{bmatrix}T_{2ni}\cdot\sin\cdot\\ \left(\begin{matrix}[\omega_1-(2i-1)\Omega]t-\\ -\alpha-\theta_{2ni}\end{matrix}\right)+\\ \frac{1}{2}T_{3ni}\cdot\sin\cdot\\ \left(\begin{matrix}[\omega_1+(2i-1)\Omega]t-\\ -\alpha-\theta_{3ni}\end{matrix}\right)\end{bmatrix}\Bigg)\Bigg)+ \\ & +(-1)^{n+1}\cdot I_{2m}\cdot T_{4n}\cdot\begin{pmatrix}\omega\cdot\sin(\omega_2 t+\beta+\theta_{4n})+\\ +\omega_2\cdot\sin(\omega_2 t-\beta-\theta_{4n})\end{pmatrix}, \end{aligned} \qquad (2)$$

где T_{in}, θ_{in} – коэффициенты и начальные фазы токов, определяемые параметрами электрической машины и функциями регулирования;

ω – скорость; $n=3,4$.

Полученные выражения токов $i_{\alpha r}$, $i_{\beta r}$, позволяют определить значение электромагнитного момента электрической машины при прерывистом движении[3]

$$M_{\text{эл}}(t)=(i_{\alpha s}(t)\cdot i_{\beta r}(t)-i_{\alpha r}(t)\cdot i_{\beta s}(t))\cdot L_m, \qquad (3)$$

где L_m – взаимоиндуктивность обмоток статора и ротора.

Выражение электромагнитного момента удобно представлять в виде ряда Маклорена по скорости, в окрестности $\omega=0$. При этом достаточно учесть первые два члена разложения, т.к. последующие члены ряда вносят незначительную погрешность (до 5%) вследствие своей сильной сходимости

$$M_{\text{эм}}(t)=M_{\text{п}}(t)+M_{\text{демпф}}(t), \qquad (4)$$

где первая составляющая $\left(M_{\text{п}}(t)\right)$ характеризует пусковой, а вторая $\left(M_{\text{демпф}}(t)\right)$ – демпфирующий моменты.

Пренебрегая высокочастотными составляющими частоты ω_1, ω_2, и их комбинациями, для которых электрические машины являются естест-

венным электромеханическим фильтром, пусковая составляющая электромагнитного момента будет иметь вид:

$$M_{\text{п}}(t) = M_1 \cdot \cos\Omega t + M_2 \cdot \sin\Omega t + \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \begin{bmatrix} \left((2i-1)^{-1} \cdot M_3 + M_4\right) \cdot \cos(2(1-i)\Omega t) + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_5 + M_6\right) \cdot \sin(2(1-i)\Omega t) + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_7 + M_8\right) \cdot \cos(2-i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_9 + M_{10}\right) \cdot \sin(2-i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_{11} + M_{12}\right) \cdot \cos(2i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_{13} + M_{14}\right) \cdot \sin(2i)\Omega t \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где M_j – величины, определяемые произведениями фазных токов.

Демпферная составляющая электромагнитного момента будет иметь вид:

$$M_{\text{демпф}}(t) = \left[M_{\text{демпф1}} + \sum_{i=1}^{\infty} \cdot \sum_{j=1}^{\infty} M_{\text{демпф}\,i\,j} \right] \cdot \frac{d\chi}{dt},$$

где χ – координата подвижного элемента электропривода; $M_{\text{демпф1}}$, $M_{\text{демпф}\,i\,j}$ – величины, определяемые произведениями фазных токов и их производных в окрестности $\omega = 0$. Здесь также допустимо пренебрежение высокочастотными гармоническими составляющими питающих напряжений ввиду малости их весового вклада в коэффициент электродемпфирования.

Тогда, уравнение движения подвижного элемента электропривода можно представить как:

$$L_{\text{мех}} \frac{d^2\chi}{dt^2} + \left(R_{\text{мех}} - M_{\text{демпф}}(t)\right)\frac{d\chi}{dt} = M_{\text{п}}(t) \qquad (6)$$

где $L_{\text{мех}}, R_{\text{мех}}$ – коэффициенты инерционной и демпфирующей сил нагрузки.

Решение уравнения (6) позволяет определить искомые законы движения электропривода с прерывистым законом движения для заданных параметров электрической машины, нагрузки и функций регулирования при токовом питании.

Так, например, при токовом питании решение уравнения (6) методом гармонического баланса, позволяет найти закон движения подвижного элемента двигателя

$$\chi(t) = \chi_{m1} \sin\Omega t + \chi_{m2} \cos\Omega t + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} (2i-1)^{-1} \left[\chi_{m3i} \sin 2i\Omega t + \chi_{m4i} \cos 2i\Omega t\right] + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} (2i-1)^{-1} \left[\chi_{m5i} \sin(2i-1)\Omega t + \chi_{m6i} \cos(2i-1)\Omega t\right] + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} (2i-1)^{-1} \left[\chi_{m7i} \sin 2(1-i)\Omega t + \chi_{m8i} \cos 2(1-i)\Omega t\right],$$

где χ_{mi} – амплитуды гармонических составляющих закона движения.

При учете только 1-й гармоники, когда $\chi(t) = \chi_m \sin\left(\Omega t + \Psi\right)$ амплитуду и фазу закона движения можно определить как

$$\chi_m = \frac{\sqrt{M_1^2 + M_2^2}}{\sqrt{L_{\text{мех}}^2\,\Omega^4 + (R_{\text{мех}} - M_{\text{демпф}})^2\,\Omega^2}};$$

$$\psi = \text{Arctg}\frac{M_2 \Omega L_{\text{мех}} - M_1 (R_{\text{мех}} - M_{\text{демпф}})}{M_2 (R_{\text{мех}} - M_{\text{демпф}}) + M_1 \Omega L_{\text{мех}}}. \qquad (7)$$

Выражения (6) совместно с (5) позволяет определить развиваемое двигателем электромагнитное шаговое усилие, и могут быть полезны при анализе и синтезе силовых электроприводов с прерывистым законом движения по динамическим и энергетическим показателям.

Список литературы

1. Патент на полезную модель №88874, МПК H02P 7/00. Устройство для управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме прерывистого движения / Аристов А.В., Воронина Н.А. Заявка 2009125766/22, 06.07.2009. Опубликовано 20.11.2009, Бюл. №32.
2. Аристов А. В. Электропривод колебательного движения в режиме прерывистого перемещения // Известия ТПУ. – 2008г. – Т. 313, №4. – С. 107 – 109.
3. Копылов И. П. Электромеханические преобразователи энергии. – М.: Энергия, 1973.– 400 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ПУТЕМ РАСЧЕТА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Вяльцев Г.Б.

Научный руководитель Шевченко А.Ф., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет

630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

elmotron@online.sinor.ru

Моделирование электрических машин с выраженной зубчатостью воздушного зазора представляет определенную сложность ввиду наличия переменных величин – сопротивления воздушного зазора и нелинейной характеристики насыщения стали. Перспективным для моделирования, особенностей является использование методов конечно-элементного анализа магнитной системы и компьютерного моделирования.

В этой публикации описан такой метод моделирования.

Основой описываемого метода является массив данных описывающих состояние магнитной системы моделируемого двигателя (потокосцепления каждой из фаз и момент, рассчитанные методом конечных элементов) для любых значений токов в фазах и положения ротора. Этот массив можно представить как участок пятимерного пространства. В этом участке определены строго заданные дискретные точки. Предполагая, что ни потоки, ни момент в описанных координатах являются гладкими функциями, все прочие точки могут определяться путем интерполяции уже известных.

Используя таким образом массив известных точек для решения системы уравнений электромеханического равновесия, можно моделировать как установившиеся так и переходные процессы учитывая при этом насыщение стали, особенности геометрии стали и любые особенности питания электрической машины.

Целью этой публикации является практическая демонстрация возможностей описанной выше методики моделирования. В качестве демонстрации моделируется работа трехфазного индукторного двигателя с параметрами $2p = 2$, $Z_1 = 18$, $Z_2 = 20$. В данном двигателе элементарные зубцы статора выполнены на поверхности массивных зубцов количеством 6шт, что предполагает наличие в результатах гармоник соответствующей частоты.

Геометрия этого двигателя приведена на рисунке 1.

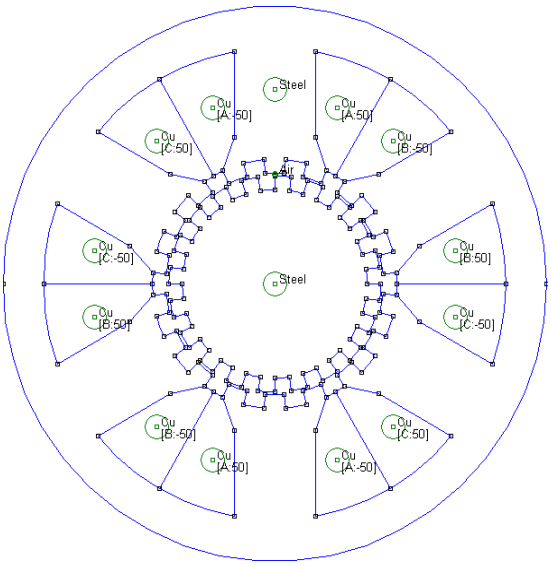


Рис. 1. Геометрия машины

Предполагается, что в таком двигателе проявятся гармоники тока и момента вызванные несинусоидальностью поля и распределением обмоток и т.д.

В качестве примера рассмотрим включение двигателя вращающегося на синхронной скорости в сеть и последующую работу в режиме холостого хода. Подобный эксперимент может показаться надуманным, однако он хорошо демонстрирует возможности метода моделирования как при работе с неустановившимися режимами, так и с установившимися. При этом графическая часть не перегружается сложными для восприятия осциллограммами имеющими место при реальном пуске, а весь эксперимент укладывается в 30–50 колебаний питающего напряжения, что также упрощает конечный вид графиков.

На рис. 2–5 представлены результаты моделирования такого процесса описанным выше способом. Ось абсцисс проградуирована в геометрических градусах а не в секундах что при вращении со скоростью близкой к синхронной не влияет на внешний вид графиков, однако позволяет сопоставить результаты с приведенной выше геометрией машины.

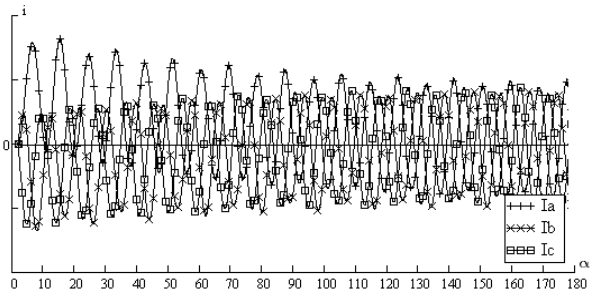


Рис. 2. Токи трех фаз

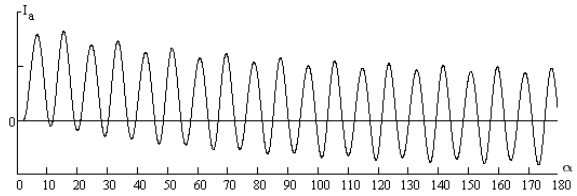


Рис. 3. Ток фазы А

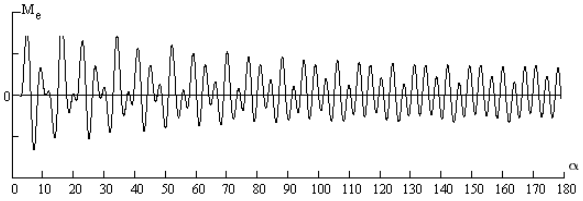


Рис. 4. Электромагнитный момент

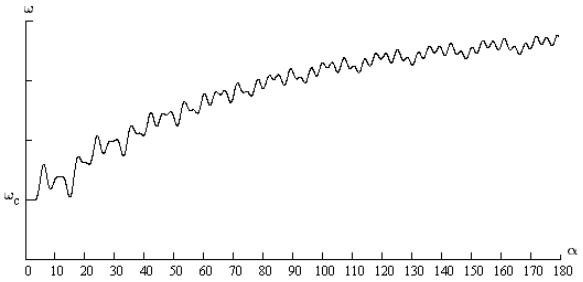


Рис. 5. Скорость ротора

Тот факт, что на рисунке 5 скорость отклоняется от синхронной, объясняется тем, что ротор в нулевой момент времени находился в произвольном положении и после включения стремится занять нейтральное положение соответствующее нулевому углу нагрузки. Однако за счет собственной инерции не приходит в нейтральное положение сразу, а совершает колебания, затухающие из-за сил механического сопротивления. На рисунке соответственно показана четверть периода такого колебания.

Рисунки 2 и 3 демонстрируют развитие переходного электрического процесса при включении двигателя в сеть. Явно виден экспоненциальный характер этого процесса. Внешне ток на графике выглядит синусоидальным, однако разложение в ряд результатов расчета показывает наличие двух гармоник – основной с периодом в 9 геометрических градусов и посторонней с периодом в 6 геометрических градусов. Вторую гармонику можно связать с влиянием зубцов на статоре.

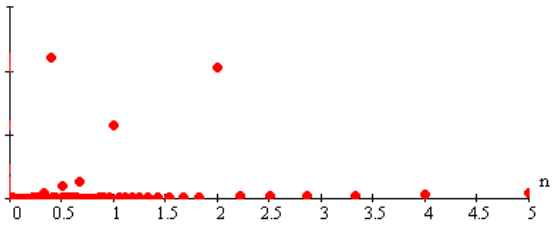


Рис. 6. Гармоники момента

Значительно интересней приведенные на рисунке результаты разложения графика момента в ряд Фурье. Помимо первой (имеющей частоту равную частоте тока) гармоники наблюдается мощная вторая гармоника момента (частота вдвое больше частоты тока). Эти гармоники нормальны для индукторных машин.

Также в разложении присутствуют гармоники с частотой в два и три раза меньшей, чем у питающего тока. Их природу легко понять, если рассмотреть период колебания не в секундах, а в градусах поворота ротора при синхронной скорости. Частоты этих гармоник будут соответствовать 9 и 6 геометрическим градусам, таким образом, эти гармоники являются результатом влияния гармоник токов.

Приведенные здесь результаты доказывают, что использование моделирования характеристик магнитной системы в многомерной системе координат при моделировании процессов в электрических машинах позволяет получать результат высокой точности и выявлять гармонические составляющие исследуемых процессов.

При этом метод удобен тем, не требует внесения в расчет изменений для разных типов двигателей и может быть применен практически в любых условиях. Например метод будет корректно работать даже если в целях эксперимента удалить из геометрии магнитопровода зубец, что для любых других методов моделирования потребовало бы фундаментального перестроения математического аппарата.

Список литературы

1. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханических преобразователей./ Р.В. Фильц – Киев: Наук. думка, 1979. – 208с.
2. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / И.П. Копылов – М.: Высшая школа, 2001. – 327с.: ил.
3. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока / А.И. Важнов – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. - 256с.:ил.
4. Жуловян, В.В. Электромеханическое преобразование энергии : учеб. пособие/ В.В Жуловян. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2005. – 452 с. – (Учебники НГТУ).

УСКОРЕННОЕ ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Тумаева Е. В., Ахметгалиева Р. М., Гаврилов Е. Н.

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ГОУ ВПО Казанский государственный технологический университет, 423570, г. Нижнекамск, ул. Строителей, 47
noble-86@mail.ru

Электроприемники системы электроснабжения ОАО «Нижнекамснефтехим» относятся в основном к первой категории надежности [1]. На данном предприятии массово используются высоковольтные синхронные двигатели (СД), которые получают питание от двух секций шин и имеют электромагнитное возбуждение с помощью тиристорных преобразователей. При аварийном отключении питания у мощных СД время спадания токов статора и обмотки возбуждения до нуля может быть больше времени автоматического включения резерва. Наличие остаточного тока возбуждения СД в случае автоматического включения резервного питания может приводить к появлению токов короткого замыкания (ТКЗ) [2]. С целью исключения аварийных ситуаций и ускоренного гашения магнитного поля СД, предлагается модернизировать схему тиристорного возбудительного устройства и обеспечить спадание тока возбуждения до нуля, а также остаточной ЭДС статора, за время меньшее, чем время автоматического восстановления питания.

В рамках выполнения научно-исследовательской хоздоговорной работы на ОАО «Нижнекамскнефтехим» была проведена модернизация тиристорного возбудительного устройства ТЕ 8-320, питающего обмотку возбуждения СД типа СДН-2-16-56-10, а именно дополнительно в схему управления было введено реле минимального напряжения РН-54. Реле РН-54 выполнено на электромагнитном принципе [3]. В случае падения напряжения питания СД до 70% от номинального нормально замкнутые контакты реле в результате размыкания открывают в схеме тиристорного преобразователя тиристорный ключ, с помощью которого обмотка возбуждения подключается к цепи разрядного сопротивления, происходит ускоренное гашение магнитного поля возбуждения; одновременно с этим нормально разомкнутые контакты реле РН-54 закрывают импульсы управления силовыми тиристорами выпрямителя.

Схема электроснабжения СД типа СДН 2-16-56-10У3 представлена на рис.1

Автоматическое включение резерва (АВР) реализуется через секционный выключатель Q3, время срабатывания АВР составляет 3,3 секунды. Ускоренное гашение поля двигателя СДН 2-16-56-10У3 особенно необходимо в случае срабатывания выключателя Q2 второй секции шин (рис. 1). С учетом особенностей работы технологического оборудования желательно, чтобы контакты выключателя Q4 не размыкались раньше времени срабатывания АВР, поэтому выключатель Q4 питания электродвигателя при снижении напряжения не отключается, так как время срабатывания минимальной защиты электродвигателя больше времени срабатывания АВР.

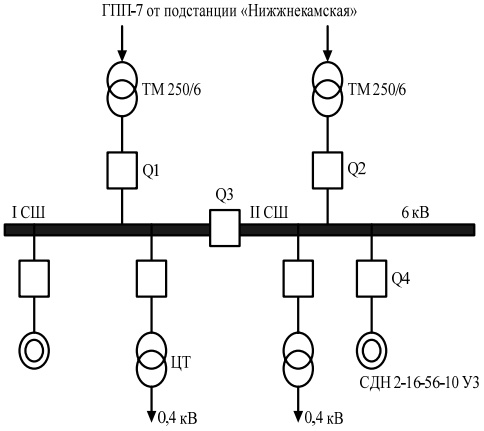


Рис. 1

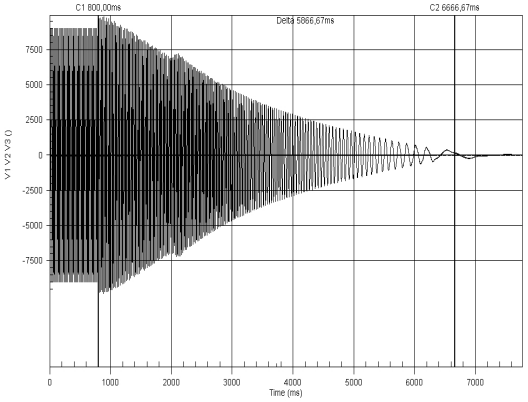


Рис. 2

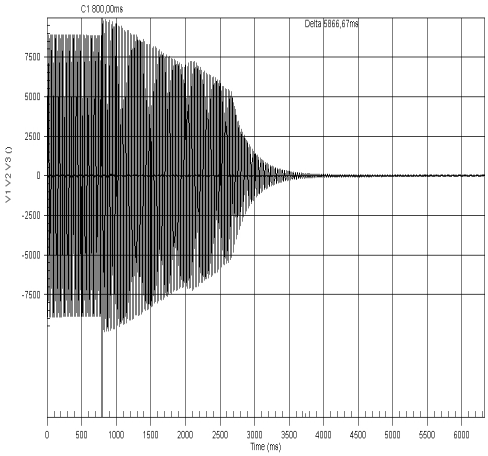


Рис. 3

В результате испытаний были сняты осциллограммы ЭДС обмотки статора СД после отключения его от сети до и после модернизации схемы. Так, согласно снятой осциллограммы остаточная ЭДС обмотки статора до модернизации (рис. 2) сохраняется в течение 5,8 с.

С учетом того, что время срабатывания автоматического включения резерва составляет 3,3 секунды, очевидна эффективность предложенного технического решения.

Список литературы

1. Нормативные основы устройства и эксплуатации электроустановок. – Нормативно-технический сборник. – Барнаул, 2002. – 976 с.
2. Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой.- М.: Издательство МЭИ, 1997. – 424 с.: ил.
3. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для техникумов.- М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

ЧАСТОТНО-ТОКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСТРУДЕРА НА ОСНОВЕ ЗАПИРАЕМЫХ ВЕНТИЛЕЙ

Ганиев Р.Н., Афлятунов И.Ф.

Научный руководитель: Сидоров С.Н., к.т.н., доцент

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)

ГОУ ВПО Казанский государственный технологический университет, 423570, г. Нижнекамск, ул. Строителей, 47

n7007@mail.ru

Эксплуатационные характеристики автошин во многом зависят от качества деталей шин, получаемых методом экструзии. Исследования [1] показывают, что одной из главных причин появления дефектов деталей является нестабильная скорость шприцевания, обусловленная колебаниями давления массы на выходе, а так же флуктуациями статического момента червяка в процессе переработки. Повышение уровня качества продукции агрегата можно достичь применением электропривода (ЭП) червяка, требующего регулирования крутящего момента в зависимости от свойств резиновой смеси. В настоящее время для ЭП червяков экструдеров применяются системы векторного управления (ВУ) с прямой или косвенной ориентацией по полю. Но, сложная система управления с преобразователями координат, большое количество нелинейных элементов, необходимость установки датчиков Холла в воздушном зазоре АД в случае систем с прямой ориентацией, создают определенные трудности в процессе эксплуатации таких систем.

Альтернативой ЭП с ВУ может служить более простая система частотно-токового (ЧТ) привода по системе двухзвенный преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ДПЧ-АД) в составе с активным выпрямителем (АВ) и автономным инвертором напряжения (АИН) (рис. 1). Преобразователь работает в режиме источника тока (ИТ), функции которого выполняет АИН [2].

Благодаря применению запираемых вентилей в составе АВ, выходное напряжение получают модуляционным методом. В условиях скалярного управления для этого необходимо, чтобы управляющий сигнал задавал на каждом такте несущей частоты усреднённые значения выходного напряжения, а нагрузка имела индуктивный характер. [2] При высокой частоте переключений данная зависимость позволяет получать необходимую величину и форму тока независимо от низкочастотных сетевых пульсаций выпрямленного напряжения. Особенность силовой схемы в том, что работа запираемых вентилей позволяет воспроизводить те же условия для протекания электромагнитных процессов, что и в схеме с ИТ [7]. К числу этих условий относится питание статорных обмоток АД от источника неизменного по величине и форме тока. Эти функции способен выполнить АВ при наличии отрицательной обратной связи по выпрямленному току [2].

Условием, воссоздающим режим работы АИТ, является отсутствие в схеме инвертора обратных диодов, а в звене постоянного тока (ПТ) – полярного конденсатора фильтра низких частот. Наличие этих элементов в ДПЧ с АИН препятствует получению необходимой фазы тока статорных обмоток, в результате построение систем ЧТ управления на базе АИН затрудняется. Но полное устранение из схемы ДПЧ полярного конденсатора невозможно, ввиду необходимости обмена реактивной энергией обмоток АД. Во избежание аварийного прерывания реактивных токов защитные функции конденсаторного фильтра сохраняются, путем перемещения обратных диодов и полярного конденсатора фильтра $C_ф$ из звена ПТ в цепь статорных обмоток АД.

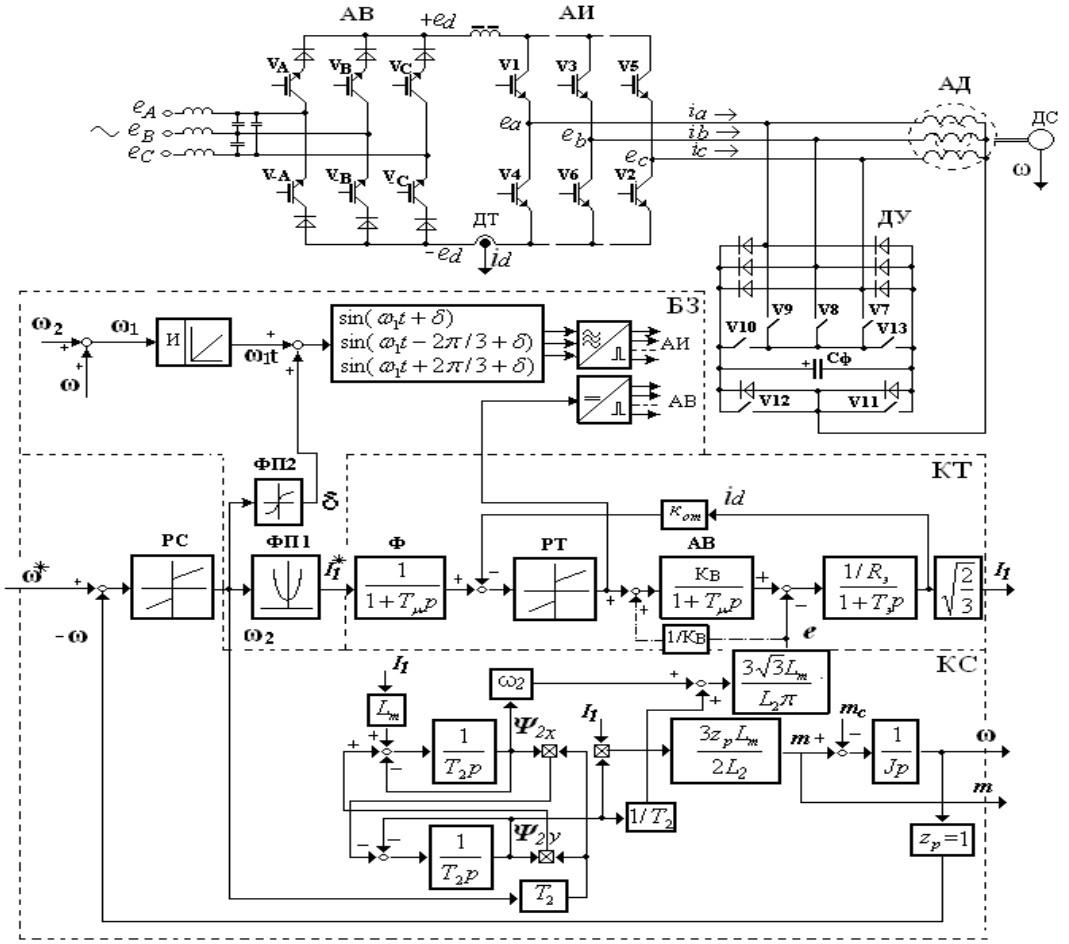


Рис .1. Структурная схема частотно-токового электропривода

Целью синтеза ЧТ привода является получение регулировочных и нагрузочных свойств асинхронного привода, не уступающих приводам ПТ. Система отличается простотой поддержания постоянства магнитного потока (Ψ_2=*const*) заданием величины (I^*_1) и фазы (δ) вектора тока на выходе АИТ в функции частоты скольжения ротора (ω_p). Угол поворота вектора статорного напряжения θ задаётся периодическим интегрированием частоты тока с помощью интегратора **И**. Закон (Ψ_2=*const*) реализуется с помощью функциональных построителей ФП с получением на выходах этих блоков необходимых значений угла нагрузки δ и модуля тока статора I^*_{SM}, согласно уравнениям (1). Для этого в блоке задания используются ФП1, ФП2, реализующие зависимости [3]:

$$I^*_1 = (\psi_2 / L_m)\sqrt{1+(\omega_p T_2)^2}; \qquad \delta = arctg(\omega_p T_2) \quad (1)$$

Опытный образец ДПЧ с АВ был внедрен в 2010 году при модернизации электропривода шприцмашины МЧТ-250, работающей в составе поточной линии ИРУ-16Б в сборочном производстве ОАО «Нижнекамскшина». Результаты промышленных испытаний показали значительное снижение флуктуаций давления на выходе шприцмашины, и как следствие, снижение дефектов профилируемых изделий. Усадка при экструзии протекторных полуфабрикатов составила 0,5 %, что на 1,5 % меньше максимально допустимой технологическим регламентом значения усадки деталей при шприцевании протекторных заготовок для грузовых автошин.

Выводы

Представленные в работе технические решения позволяют:

- применить систему ЧТ управления на основе ИТ на запираемых вентилях с заменой традиционных для АИТ элементов в виде неполярных коммутирующих конденсаторов и отсекающих диодов общим для всех вентилей демпфирующим устройством на основе полярного конденсатора с меньшими массогабаритными и стоимостными показателями;
- поддерживать постоянство магнитного потока заданием величины (I^*_1) и фазы вектора тока на выходе АИТ в функции частоты скольжения ротора, что позволяет получить нагрузочные характеристики, подобные приводам постоянного тока.
- повысить качество профилируемых изделий, стабилизировав процесс экструзии резиновых смесей.

Список литературы

1. Предремонтные инструментальные испытания и регламентный контроль электроприводов поточной линии по выпуску протекторов ИРУ-16Б: отчет о НИР / Нижнекамский химико-технол. ин-т. – Нижнекамск, 2009. – 142 с
2. Ганиев Р.Н., Горбачевский Н.И., Платов В.Н., Сидоров С.Н. Модернизация электроприводов экструдеров в резинотехнической промышленности // Приводная техника. – 2010. – №6. – С. 8-15.
3. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием/ Г.Г. Соколовский – М.: Академия, 2006.- 270 с.
5. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебное пособие / А.А. Усольцев. – СПб: Изд. СПбГУ ИТМО, 2006.- 94 с.
6. Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн – М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.

ФОРМА КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ МИКРОГЭС С ФАЗОРЕГУЛИРУЕМОЙ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКОЙ

Гогатишвили Е.Ю. Сопыряева В.А.

Научный руководитель: Богданов Е.П. к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: _kati_@sibmail.com

Автобалластные системы стабилизации применимы для любого типа генераторов и могут создаваться на основе тиристорных коммутаторов или схем регуляторов с фазовым управлением. Важнейшим требованиям к автономным станциям – надежности и небольшой стоимости – в большей степени удовлетворяют фазорегулируемые регуляторы балластной нагрузки с естественной коммутацией тиристоров. Однако фазовое регулирование вносит существенные искажения в форму кривых тока и напряжения генератора.

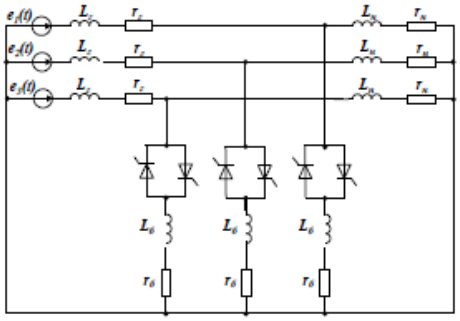


Рис. 1. Эквивалентная схема генератора с автобалластной системой стабилизации

Для расчета величины искажений напряжения генератора, вызванных коммутацией вентильной нагрузки, генератор микроГЭС эквивалентируется неискаженной ЭДС e(t) за индуктивным сопротивлением коммутации $L_н$ и активным фазным сопротивлением якорной обмотки $r_н$. Эквивалентная схема замещения генератора показана на рис. 1.

Полезная нагрузка активно-индуктивного характера $r_н L_н$ с коэффициентом мощности $\cos\varphi_н$. Балластная нагрузка, в общем случае, также активно-индуктивная $r_б L_б$. Расчетные схемы для переходного процесса коммутации балласта приведены на рис. 2.

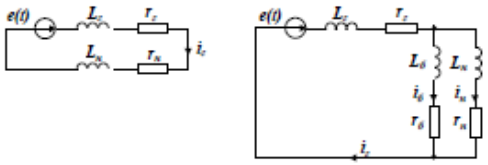


Рис. 2. Расчетные схемы для переходного процесса коммутации балласта

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные процессы при включении балластной нагрузки активного характера $r_б$ имеют вид:

$$L_г \frac{di_г}{dt} + r_г i_г + r_б i_б = e(t);$$

$$L_н \frac{di_н}{dt} + r_н i_н + r_б i_б = 0;$$

$$i_г - i_н - i_б = 0$$

При выключении $r_б$ ток и напряжение генератора определяются по уравнению:

$$(L_г + L_с)\frac{di_г}{dt} + (r_г + r_с)i_г = e(t)$$

Данные уравнения решаются в общем виде, например, классическим методом. Расчетные кривые тока и напряжения генератора при угле управления вентилями балласта $\alpha=90^o$ приведены на рис. 3.

Анализируя результаты расчетов, нетрудно заметить, что для реальных соотношений между параметрами генератора, нагрузки и балластного сопротивления: $x \approx 0.1x_н, r_г \approx 0.04r_н, \cos\varphi_н = 0.7 \div 0.9,$ переходный процесс включения вентилей регулятора балласта заканчивается в пределах полупериода питающего напряжения и длится не более 0,1 его части. Поэтому для анализа искажений напряжения и тока генератора в первом приближении можно пренебречь параметрами генератора $x_г$, $r_г$, что дает возможность учитывать только вынужденные составляющие в кривой тока генератора.

Выражения для тока балласта в этом случае имеют вид:

$$i_б = 0 \text{ в диапозоне } 0 \le \omega t \le \alpha;$$

$$i_б = I_m \sin \omega t \text{ для } \alpha \le \omega t \le \pi;$$

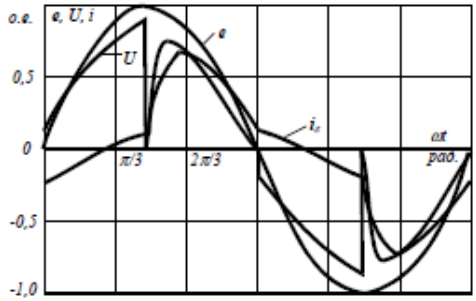


Рис. 3. Расчетные кривые тока и напряжения синхронного генератора $\alpha = 90^0$

Гармонический состав тока балласта определится выражениями:

$I_{mn} = \sqrt{A_n^2 + B^2{}_n}$ – амплитудное значение n-ой гармоники;

$$A_n = \frac{I_m}{\pi}\left[-\frac{1}{2(1+n)}\cos\left[(1+n)\omega t\right] - \frac{1}{2(1-n)}\cos\left[(1-n)\omega t\right]\right]\Big|_{\alpha}^{\pi} +$$

$$+\frac{I_m}{\pi}\left[-\frac{1}{2(1+n)}\cos\left[(1+n)\omega t\right] - \frac{1}{2(1-n)}\cos\left[(1-n)\omega t\right]\right]\Big|_{\pi+\alpha}^{2\pi} -$$

косинусная составляющая

$$B_n = \frac{I_m}{\pi}\left[-\frac{1}{2(1+n)}\sin\left[(1+n)\omega t\right] - \frac{1}{2(1-n)}\sin\left[(1-n)\omega t\right]\right] -$$

синусная составляющая

Степень искажения тока генератора нелинейной вентильной нагрузкой характеризуется коэффициентом несинусоидальности, который определяется как отношение среднеквадратичного значения величины высших гармоник *I*n к первой гармонике исследуемого сигнала I_1.

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_n I_n^2}}{I_1} \cdot 100\,\%$$

Зная гармонический состав тока балласта можно определить степень искажения кривой напряжения микроГЭС. Для этого следует воспользоваться схемами замещения расчетной цепи для высших гармонических составляющих:

$$U_n = I_n Z_{гn} = I_n \sqrt{(n\omega L_г)^2 + r_г^2},$$

где *In* – величина n-й гармоники фазного тока генератора.

Расчетные значения *К*нс для напряжения и тока микроГЭС с автобалластным регулированием показаны на рис. 4.

Следовательно, для станций мощностью 10-20 кВт величина коэффициента несинусоидальности напряжения при классической автобалластной системе на биполярных тиристорных ячейках достигает 12 %.

Результаты измерений степени нелинейных искажений напряжения, проведенные наэкспериментальной установке, представлены в виде графиков на рис. 5. Коэффициент несинусоидальности определялся для нескольких схем тиристорных регуляторов балластной нагрузки.

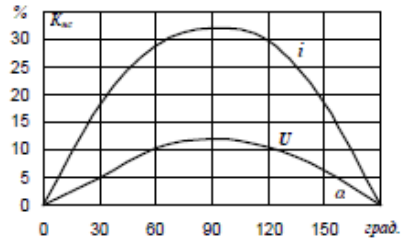


Рис. 4. Искажение тока и напряжения генератора

Учитывая несинусоидальность напряжения собственно синхронного генератора серии ЕСС мощностью 12 кВт. которая составляет величину порядка 5 %, можно утверждать, что экспериментальные значения лишь незначительно отличаются от расчетных.

Искажения напряжения, вызванные действием симметричных биполярных тиристорных ячеек, включенных по схеме с нулевым проводом, представлены кривой 1. Некоторое смещение максимума кривой *К*н в сторону меньших токов нагрузки *I*н объясняется нелинейной зависимостью углов управления тиристорами регулятора от величины тока *I*н.

Кривая 2 характеризует искажения, вносимые в форму напряжения генератора регулятором мостового типа с включением балласта на сторону постоянного тока.

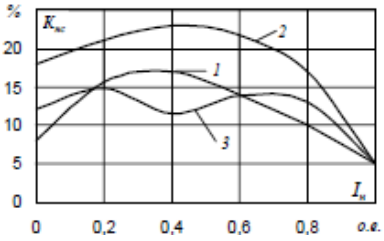


Рис. 5. Зависимость коэффициента несинусоидальности фазного напряжения генератора от тока полезной нагрузки микроГЭС: 1 – симметричная тиристорная ячейка с нулевым проводом; 2 – трехфазная мостовая выпрями-тельная схема; 3 – комбинированная схема

Как следует из зависимостей, показанных на рис. 5, степень искажения напряжения генератора микроГЭС зависит от схемы тиристорного регулятора балластной нагрузки и от величины тока полезной нагрузки. Худшие показатели в этом отношении имеют схемы выпрямительного типа, поскольку они искажают фазные токи и напряжения генератора и при углах управления вентилями $\alpha=0^o$ (что соответствует *I*н=0).

Наиболее неблагоприятной величиной полезной нагрузки станции является половинная нагрузка, соответствующая углам управления тиристорами $\alpha=90^o$ и вызывающая максимальные искажения напряжения.

Список литературы

1. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Выбор способа регулирования микрогидроэлектростан-ций с автобалластной нагрузкой. // Гидротехническое строительство. – 1990, №7, С. 33-35.
2. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Способы повышения качества выходного напряжения микрогидроэлек-тростанции с тиристорным автобал-ластом.// Промышленная энергетика. – 2000, №8, С. 49-52.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Голещихин А.С.

Научный руководитель: Качин О.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: R6lbak@sibmail.com

Автоматические электромеханические устройства, предназначенные для перемещения объектов на расстояние менее 1мм, принято назвать системами микроперемещений. Сфера их применения в последнее время постоянно расширяется. Это связанно с интенсивным развитием таких областей, как приборостроение, микроэлектроника и микромеханика, оптика и оптоэлектроника. Указанные области являются мощным стимулом прогресса робототехники, компьютерной техники, а также биологии и медицины [1].

В Томском политехническом университете был создан программно – аппаратный измерительный комплекс для бесконтактного контроля механического состояния элементов машин «МИКРОКОН». Данный комплекс предназначен для бесконтактного прецизионного контроля формы поперечных сечений валов машин и механизмов, контроля профилей коллекторов и контактных колец электрических машин в статических и динамических режимах их работы, измерения линейных микроперемещений и вибраций элементов машин и механизмов.

Для применения первичного измерительного преобразователя измерительного комплекса «МИКРОКОН»[2], требуется отработка перемещений в единицы микрометров. Даже при использовании для этой цели шаговых электродвигателей, обладающих малым угловым шагом все же необходима механическая передача с большим передаточным отношением, которой свойственны существенные погрешности. Частичным решением данной проблемы может быть применение шаговых двигателей с электрическим дроблением шага, когда посредством специальной электронной схемы обеспечивается перемещение не на полный шаг, а только на его часть.

Задачей разрабатываемого программного продукта – обеспечение управления шаговым электродвигателем с персонального компьютера.

Программное обеспечение верхнего уровня (выполняется на управляющем персональном компьютере), разработано для операционной системы Windows. Программное обеспечение (ПО) написано в среде Microsoft Visual Studio [3]. Это широко распространенный редактор, предназначенный для создания различных приложений и имеющий в своем составе несколько языков программирования, такие как C++, C#, Basic. Разработанное оконное приложение, интерфейс которого представлен на рис. 1, написано на языке C++.

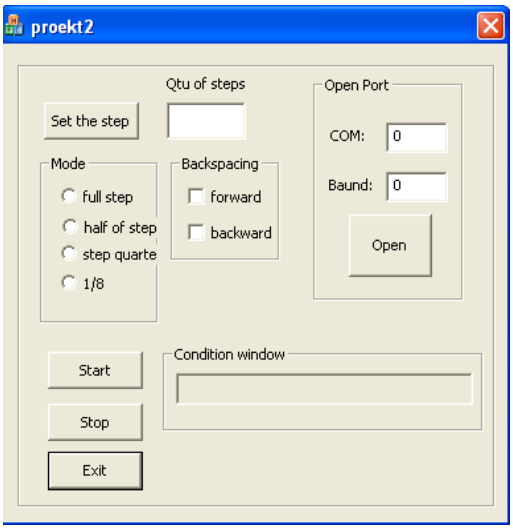


Рис. 1. Интерфейс оконного приложение

Управление электроприводом заключается в следующем: задаем необходимое количество шагов, выбираем режим перемещения (полный шаг, 1/2 шага, 1/4 шага и 1/8 шага), выбираем направление вращения (вперед или назад). Передача данных с ПК в микроконтроллер осуществляется посредством интерфейса RS-232. Последовательный интерфейс RS-232 широко используется в компьютерной технике, промышленной автоматизации для синхронной и асинхронной передачи данных. Линия передачи первого устройства соединяется с линией приема второго и наоборот (полный дуплекс). Данные в RS-232 передаются в последовательном коде побайтно. Каждый байт обрамляется стартовым и стоповыми битами. Данные могут передаваться как в одну, так и в другую сторону (дуплексный режим).

Так как протокол передачи данных – это набор правил, которые определяют обмен данными между различными программами, то при разработке ПО, для управления драйвером шагового электродвигателя (ШД) был разобран протокол

передачи данных для управления драйвером ШД, приведенный в табл. 1.

В системе управления шаговым электродвигателем применен драйвер Microstepping DMOS Driver with Translator A3977 компании Allegro со встроенным транслятором, предназначенный для управление биполярным шаговым двигателем с током потребления до 2,5А и напряжением до 35В. Драйвер обеспечивает четыре режима перемещения, полный шаг, 1/2 шага,1/4 шага и 1/8 шага, а так же задание направления движения: вперед или назад.

Для управления драйвером A3977, применен микроконтроллер ATtiny2313, для которого также разработана своя микропрограмма (ПО нижнего уровня).

Программирование нижнего уровня заключается в разработке микропрограммы для микроконтроллера ATtiny2313, а именно: разработка программы для получения данных и синхронизации с ПО верхнего уровня, и управление портами микроконтроллера, посредством которых и будет управляться драйвер ШД, а значит и сам двигатель. Логические уровни сигналов, которые непосредственно поступают с микроконтроллера на драйвер A3977, согласованны с технической документацией драйвера A3977 и занесены в табл. 2.

Для написания кода ПО нижнего уровня был выбран язык C и компилятор CodeVisionAVR. Алгоритм работы программного обеспечения микроконтроллера ATtiny2313 состоит в следующем: при поступлении посылки информации во входной буфер микроконтроллера по интерфейсу RS-232, программа считывает информацию, поступившую с ПК. Затем, в зависимости от требуемого задания, формирует управляющие сигналы на выводах микроконтроллера, соединенных с входами драйвера ШД. Таким образом, осуществляется выполнение полученного задания. После отработки заданного числа шагов, программа останавливает ШД и отсылает сообщение на управляющий ПК о том, что задание выполнено.

Таблица 1

Разработанный протокол передачи данных

№ Байта	Параметры	Значение
1	Номер (адрес) устройства	0-255
2	Режим вращения (полный шаг, ½ шага, ¼ шага, 1/8 шага)	1,2,4,8
3	Направление вращения	0-255
4	Количество шагов (старший байт)	0-255
5	Количество шагов (младший байт)	0-255
6	Резервный байт	0-255
7	Резервный байт	0-255
8	Резервный байт	0-255
9	Старт/Стоп	1/0

Таблица 2

Логические уровни драйвера ШД

Биты данных								Состояние
								Полный шаг, движение вперед
								½ шага, движение вперед
								¼ шага, движение вперед
								1/8 шага, движение вперед
								Полный шаг, движение назад
								½ шага, движение назад
								¼ шага, движение назад
								1/8 шага, движение назад

Дальнейшая модернизация программного обеспечения, для измерительного комплекса «МИКРОКОН» будет заключаться в совершенствовании алгоритма программного обеспечения верхнего и нижнего уровня. Модернизация ПО обеспечит, автоматическое перемещение первичного преобразователя на тестовую величину с высокой точность.

Список литературы

1. Смирнов А.Б Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами // Изд-во СПбГПУ, 2003. 106 с
2. Качин С.И., Боровиков Ю.С., Нечаев М.А. Программно-аппаратный комплекс для оценки механического состояния скользящих контактов коллекторных машин электроприводов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 140–144. 430.
3. Пахомов Б.И. C и MS Visual C 2009.-624 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Гончаров В.И.

Научный руководитель: Сипайлова Н.Ю., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: valera.goncharov@mail.ru

В настоящее время произошел качественный скачок в технологии выпускаемых высоковольтных коммутационных аппаратов – на смену масляным и воздушным выключателям пришли аппараты с использованием в качестве изоляционной и дугогасительной среды элегаза.

Совершенствование парка эксплуатируемых коммутационных аппаратов в мире движется по пути наращивания доли элегазовых и вакуумных выключателей. В первую очередь это связано с высокой степенью надежности и низкими эксплуатационными затратами данного вида оборудования [1].

Применение на средние классы напряжения элегазовой или вакуумной аппаратуры определяется как историческими условиями создания технологических баз, так и технико-экономическими показателями при производстве и эксплуатации. Каждое из указанных видов оборудования обладает своими преимуществами. Если вакуумные аппараты требуют менее мощные привода и имеют, как правило, более высокий коммутационный ресурс, то элегазовые выключатели при коммутациях создают меньшие перенапряжения и, соответственно, облегчают работу изоляции другого энергетического оборудования [2]. В целом можно считать, что доля элегазового оборудования на средние классы напряжения на мировом рынке устойчиво составляет 20-30 % от всего числа требуемых коммутационных аппаратов. Зато на высоких, сверхвысоких и ультравысоких напряжениях (от 110 кВ до 1150 кВ) господство практически полностью принадлежит элегазовой аппаратуре [3].

Основные достоинства элегазового оборудования определяются уникальными физико-химическими свойствами элегаза: при атмосферном давлении электрическая прочность элегаза в 3 раза выше, чем у воздуха, а уже при давлении элегаза 0,3-0,4 МПа его электрическая прочность выше, чем у трансформаторного масла; отключающая способность элегазовых коммутационных аппаратов при одинаковых условиях на 2 порядка выше, чем у воздушных [4].

Интенсивное внедрение элегазовой аппаратуры обусловлено тем, что в настоящее время пока не найдено способов эффективного дугогашения, способных конкурировать с дугогашением в элегазе в выключателях на напряжении от 110 кВ до 1150 кВ. Элегазовые выключатели на это напряжение в США и европейских странах практически вытеснили все другие типы аппаратов.

Хотя преимущества элегазовых аппаратов очевидны, полный переход на их использование займет не один год. При постоянно растущей доле современной аппаратуры в эксплуатации остается еще немало устаревших аппаратов.

В Единой национальной электрической сети России эксплуатируется около 30000 выключателей классов напряжения от 110 кВ до 750 кВ. Распределение выключателей по классам напряжения показано на рисунке 1 (по состоянию на 2008 год).

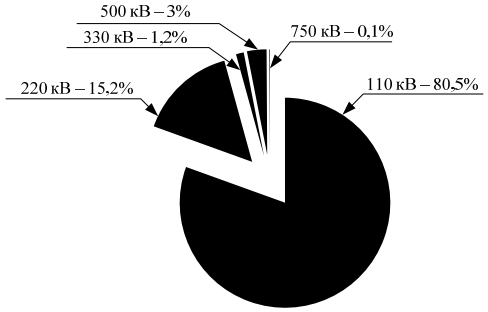


Рис. 1. Диаграмма распределения выключателей по классам напряжения

Большую часть выключателей составляют масляные баковые выключатели с номинальным напряжением 110 и 220 кВ. Среди выключателей 110 и 220 кВ масляные баковые выключатели составляют – 45,4%. Маломасляные выключатели 110 и 220 кВ составляют 19% от общего количества установленных выключателей.

Воздушные выключатели эксплуатируются в распределительных устройствах всех классов напряжения. Их количество составляет 15,6% от общего числа выключателей.

Эти выключатели не отвечают современным требованиям по надежности коммутационному и механическому ресурсам, по объемам ремонтных работ, массам и габаритам.

До 1996 г. в энергосистемах России имелись единичные образцы элегазовых выключателей, которые можно было рассматривать как находящиеся в опытной эксплуатации. В 1997 г. выпущено решение Департамента электрических сетей № Э-1/97 о преимущественном применении элега-

зовых выключателей при строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и замене оборудования подстанций 110-750 кВ в «ЕЭС России». За прошедшее после этого решения время количество элегазовых выключателей в распределительных устройствах всех напряжений постоянно увеличивалось и в настоящее время составляет около 20 %.

Значительная часть масляных и воздушных выключателей, эксплуатируемых в Единой национальной электрической сети, прежде всего напряжением 110 кВ и 220 кВ, отработала установленный нормативными документами срок службы. К настоящему времени число таких выключателей составляет около 40 %.

Как видно из таблицы 1 за весь период 2001-2015 гг. ожидается замена 15418 выключателей напряжением 110-750 кВ.

Таблица 1

Динамика замен выключателей

Год	Количество, шт.	Доля в % от количества установленных выключателей
2001-2005	9017	34,4
2006-2010	3659	13,9
2011-2015	2742	10,4
до 2015	15418	58,7

Программа технического перевооружения и реконструкции Единой национальной электрической сети предусматривает замену выключателей, отработавших свой ресурс. Прежде всего, должна производиться замена воздушных и масляных выключателей серий: ВВН, ВВ, У, МКП, ММО. В первую очередь при замене должны использоваться элегазовые выключатели. При этом надо использовать новые отечественные разработки колонковых и баковых элегазовых выключателей типов ВГТ, ВГК, ВГБ и др., а также выключатели ведущих зарубежных фирм: ABB, Siemens, AREVA. По данным SIGRE – Conseil Internationale des Grandes Reseaux Electriques a Haute Tension (международный совет по большим электрическим системам высокого напряжения) в зарубежных сетях доля элегазовых выключателей составляет 56% от общего количества установленных выключателей (распределение представлено на рисунке 2). Среди выключателей, установленных за последние 10 лет, доля элегазовых выключателей составляет 100 % [5].

Элегазовое коммутационное оборудование полностью отвечает требованиям потребителей в плане компактности, надежности, сокращения времени обслуживания, безопасности персонала и срока службы. Снижение механической энергии (что приводит к более высокой надежности) для отключения выключателя может быть достигнуто применением новых способов гашения дуги (вращение и дутье дуги).

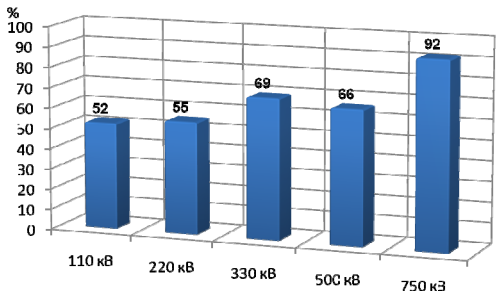


Рис. 2. Парк элегазовых выключателей в зарубежных странах по данным СИГРЭ

Давление при заполнение будет снижаться, способствуя оптимальной безопасности персонала. В отношении обслуживания, можно предвидеть диагностические возможности, позволяющие контролировать в режиме реального времени состояние оборудования и предоставлять информацию пользователю о необходимости обслуживания.

Что касается герметичности, вероятное развитие коммутационного оборудование высокого напряжения можно ожидать при более низкой интенсивности утечки – например, от 0,1 до 0,5 % в год. Также ведется работа над повторным использованием SF6, включая определение частоты SF6, используемого в силовом оборудовании. Таким образом, рассматривается применение SF6 в закрытом цикле, что поможет минимизировать его выброс в атмосферу [6]. Также перспективно создание моделей выключателя для изучения поведения электрических полей при различных нагрузках.

Список литературы

1. Добродеев А.Н., Ким Н.Е. Элегазовые выключатели 110 кВ и выше. // Новости электротехники – 2005. – № 3. – с. 62-64
2. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К, Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций // Издательский центр «Академия». – 2007. – 448 с.
3. Ведешенков Н.А. Электрические аппараты высокого напряжения. Выключатели. – 2001. – Т.1. Справочник. – М.: Информэлекгро, – 120 с.
4. Назарычев, А. Н. Надежность эксплуатации высоковольтных выключателей / Назарычев А. Н., Таджибаев А. И., Колцунова И. // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. – Вып. 28
5. Российский рынок электрооборудования. Аналитический обзор. «РосБизнесКонсалтинг», Москва, 2010 г.
6. Тонконогов Е. Н. Повышение отключающей способности элегазовых высоковольтных выключателей / Тонконогов Е. Н. // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 21, Опыт создания и эксплуатации электрических аппаратов высокого напряжения с элегазовой изоляцией: 21 заседание Семинара, Санкт-Петербург, 24 февр. – 1 марта, 2003. – СПб, 2003. – с. 37-39

ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕЛЕФОННОГО КАБЕЛЯ TEL-60

Гопалова Н.А.

Научный руководитель: Чернышев А.Ю. доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: natusik@sibmail.com

Электроприводы постоянного тока установленные на линиях TEL-60 отработали свой ресурс, поэтому на производстве возникает необходимость в замене устаревших электроприводов постоянного тока на электропривода переменного тока с асинхронными двигателями (АД).

Схема линии производства телефонного кабеля типа TEL-60/Nokia/, предназначенная для непрерывного производства телефонного кабеля приведена на рис. 1, где цифрами обозначено: 1 – отдающее устройство; 2 – компенсатор; 3 – машина SZ-скрутки; 4 – эксцентрический обмотчик; 5 – блок наложения пластмассовой ленты; 6 – наложение алюмополиэтиленовой ленты; 7 – накопитель; 8 – экструдер; 9 – измеритель диаметра; 10 – ванна охлаждения; 11 – тяговое устройство; 12 – горизонтальный накопитель; 13 – приемное устройство.

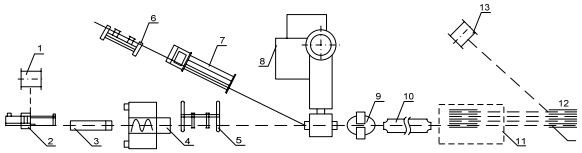


Рис. 1. Линия производства телефонного кабеля типа TEL-60

10-парные пучки непрерывно подаются в машину SZ-скрутки, после этого пластмассовая и алюмополиэтиленовая лента продольно накладывается на кабельный сердечник. Затем осуществляется наложение изоляции, после чего кабель подаётся через ванну охлаждения на накопитель и далее на приёмное устройство.

Электроприводы отдающих устройств 1 отдают элементарные пучки кабеля со скоростью равной скорости линии и поддерживают данную скорость постоянной. Предусматривают четыре скорости работы линии: 25 м/мин, 50 м/мин , 75 м/мин и 100 м/мин в зависимости от числа пар жил телефонного кабеля. Длина и шаг скрутки имеют свободный выбор, что исключает деформацию жил.

Для того, чтобы произвести эффективную замену электроприводов постоянного тока на электропривода переменного тока в минимальные сроки необходимо в начале произвести их исследования на имитационных моделях, наиболее приближенных к реальным системам.

Имитационная модель АД КЗ во вращающейся системе координат в среде Matlab представлена на рис. 2. Переходные процессы и фазовый портрет потокосцепления на рис. 3 и 4, соответственно.

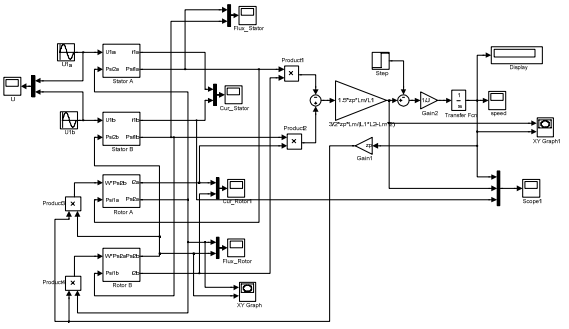


Рис. 2. Схема имитационной модели АД КЗ во вращающейся системе координат

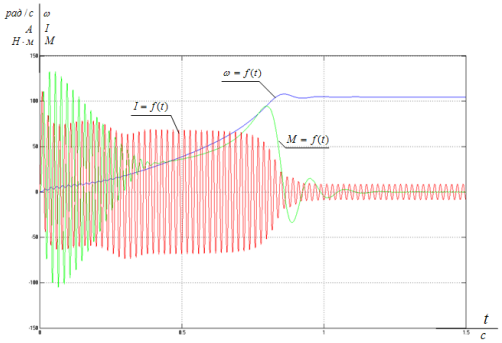


Рис. 3. Переходный процесс момента, скорости и тока при пуске АД КЗ

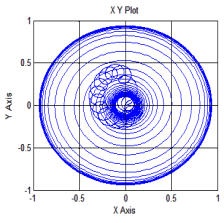


Рис. 4. Фазовый портрет потокосцепления

Анализ фазовой характеристики показывает что в начале графиков переходного процесса момента и скорости асинхронного двигателя будут неконтролируемые колебания. Асинхронный двигатель начнет вращаться равномерно только при круговом поле в зазоре двигателя. Круговое вращающееся магнитное поле устанавливается по окончанию переходных процессов.

В приводах отдающих устройств наиболее целесообразно применение систем векторного управления асинхронными двигателями с датчи-

ками скорости, так как эти электропривода обеспечивать плавное регулирование скорости в диапазоне регулирования D≥1:100.

В процессе исследования асинхронных электроприводов с векторным управлением была составлена имитационная модель электропривода с ШИМ-модуляцией преобразователя частоты.

Структурная схема и имитационная модель нелинейной следящей системы отдающих устройств линии по производству кабеля связи приведена на рис. 5 и 6 соответственно.

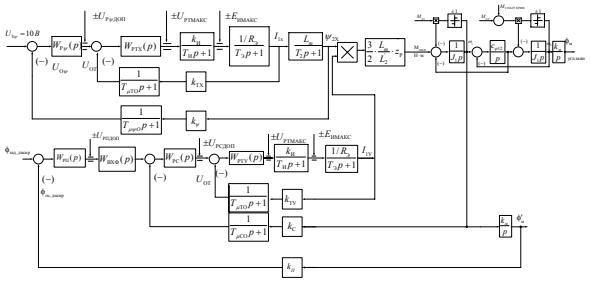


Рис. 5. Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

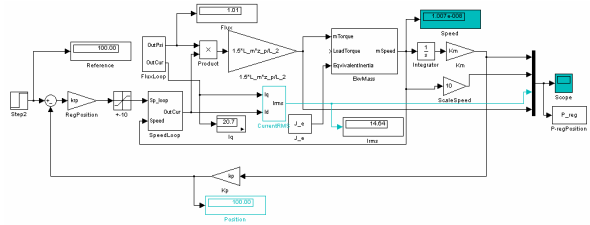


Рис. 6. Имитационная модель нелинейной САУ СЭП

Нелинейная следящая система отдающих устройств отличается существенным изменением момента инерции барабана с элементарными пучками кабеля.

В работе произведен синтез параметров регуляторов следящего асинхронного электропривода с векторным управлением с учетом изменение ее параметров.

Графики переходных процессов при отработке скачков управляющих устройств приведены на рис. 7.

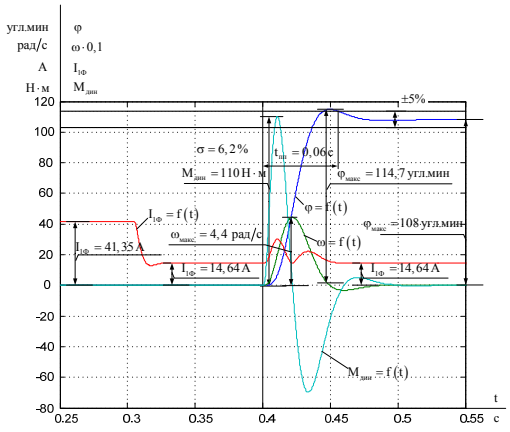


Рис. 7. Переходные процессы нелинейной САУ СЭП

В результате исследований установлено, что настройка параметров регуляторов скорости и положения должна производиться при заполненном барабане отдающего устройства, то есть при максимальном моменте инерции электропривода.

В этом случае переходные процессы системы остаются устойчивыми и протекают за минимальное время при любом моменте инерции барабана (пустого или заполненного).

Исследования электропривода проводились на имитационной модели преобразователя частоты с ШИМ модуляцией переменного напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя.

Имитационная модель ШИМ модулятора, используемого при исследовании системы следящего электропривода приведена на рис. 8, диаграммы напряжений поясняющее его работу, приведены на рис. 9, переходный процесс на рис. 10.

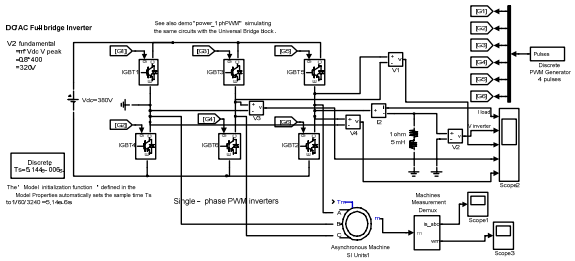


Рис. 8. Имитационная модель с ШИМ-модуляцией

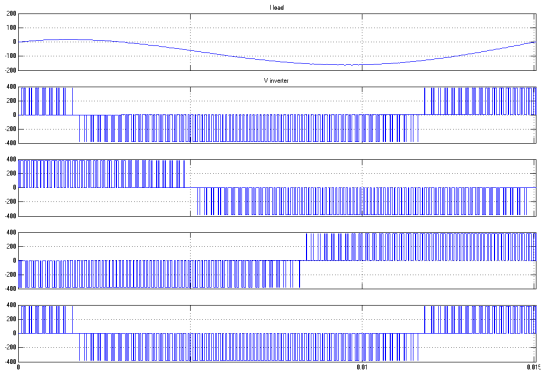


Рис. 9. Диаграммы напряжений

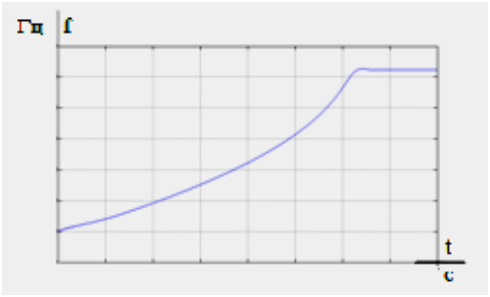


Рис. 10. Переходный процесс с ШИМ-модуляцией

Исследования нелинейного следящего электропривода отдающих устройств проведенные на имитационных моделях показали, что асинхронный электропривод с векторным управлением может быть использован в электроприводах отдающих устройств без потери качества производства кабеля связи, а надежность и эксплуатационные качества линии при этом только увеличиваются.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАВНОГО РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Горюнов Е.С.

Научный руководитель: Краснов И.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: jonik@vtomske.ru

В настоящее время с всё большим развитием и усложнением технологических процессов, с одной стороны, и с доступностью современной преобразовательной техники – с другой, существует необходимость в разработке новых и совершенствовании уже имеющихся методов и алгоритмов управления промышленными механизмами. Механизмы, подвергающиеся частым включениям и отключениям, наиболее подвержены износу металлических конструкций именно во время пуска (разгона) и останова (торможения). Для минимизации нежелательных воздействий на подобные механизмы были разработаны алгоритмы, позволяющие сформировать S-образные профили разгона и торможения. По которым S-образным профилям осуществляется постепенное изменение выходной частоты в соответствии с требуемым уровнем и скоростью изменения.

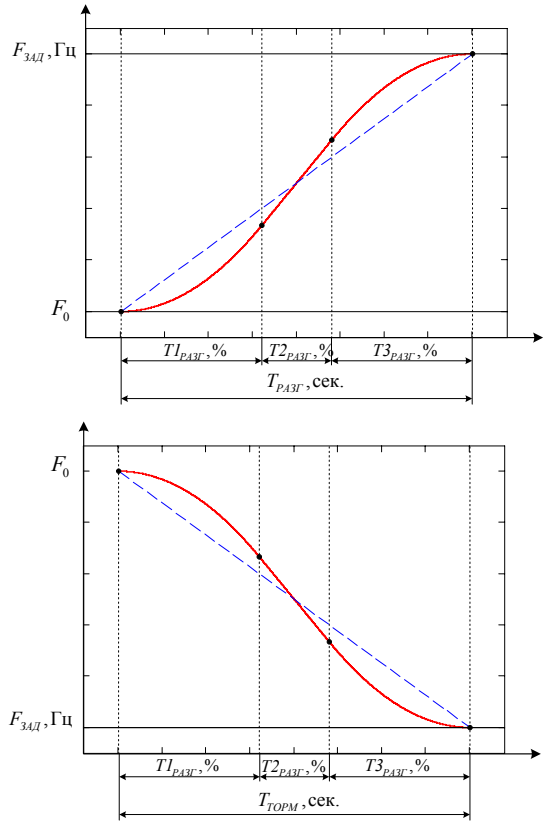


Рис. 1. Общий вид профиля частоты разгона (сверху) и торможения (снизу)

S-образные профили разгона и торможения формируются из трёх отдельных участков: два участка с равноускоренным характером, средний – с прямолинейным. Участки равноускоренного характера строятся в соответствии с параболическим законом, участок прямолинейного характера – в соответствии с линейным законом.

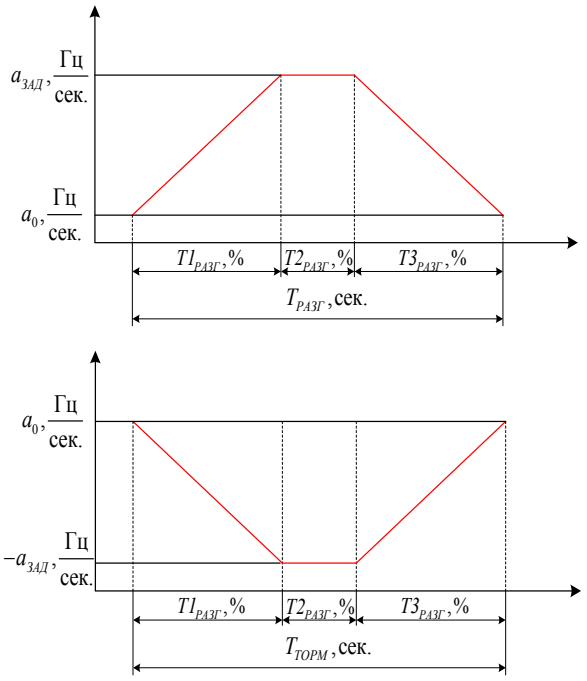


Рис. 2. Общий вид профиля ускорения разгона (сверху) и торможения (снизу)

Для создания или изменения S-образных профилей разгона и торможения задаются следующих определённых параметров (табл.1).

Вид линейного профиля разгона и торможения, при котором $T1 = T3 = 0$, обозначен на рисунках пунктирной линией.

Длительность линейных участков разгона и торможения вычисляется автоматически по выражениям:

$$T2_{РАЗГ} = T_{РАЗГ} - \left(T1_{РАЗГ} + T3_{РАЗГ}\right),$$

$$T2_{ТОРМ} = T_{ТОРМ} - \left(T1_{ТОРМ} + T3_{ТОРМ}\right).$$

Плавный разгон и торможение электропривода пассажирского лифта

Системами, максимально соответствующие современным тенденциям лифтостроения, являются электроприводы по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Они соответствуют современным требованиям и запросам современного рынка, но преимущественно производятся за пределами России, в Европе и Китае, или собираются на отечественных заводах из импортных комплектующих. Система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» вносит новые возможности в управлении и манипулировании электродвигателями. Как следствие возникает необходимость в формировании качественно новых алгоритмов управления, наиболее адаптивных и совершенных, способных выполнять широкий комплекс задач. Приоритетными из которых по сей день являются безопасность, бесперебойность, энергоэффективность и комфортность. Для обеспечения плавности движения механизмов электропривода лифта в качестве формы разгона целесообразно использовать S-образный профиль (рис. 1).

На этапе разработки алгоритма плавного разгона и торможения было проведено имитационное моделирование работы электропривода пассажирского лифта [1].

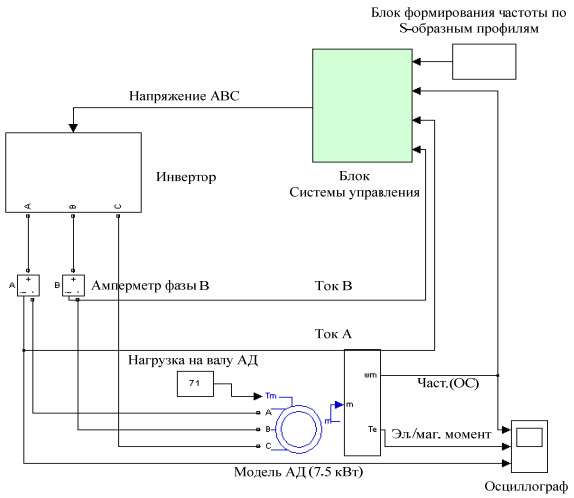


Рис. 5. Модель электропривода пассажирского лифта в системе Matlab / Simulink

Модель электропривода состоит из следующих блоков: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, источник питания, блок управления и блок задания скорости (рис. 5) [2]. Блок задания скорости формирует требуемую частоту вращения вара ротора двигателя по S-образному профилю (рис.6).

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 7,5 кВт был выбран на основе проведённых расчётов, исходя из предполагаемой нагрузки (массы кабины лифта с пассажирами).

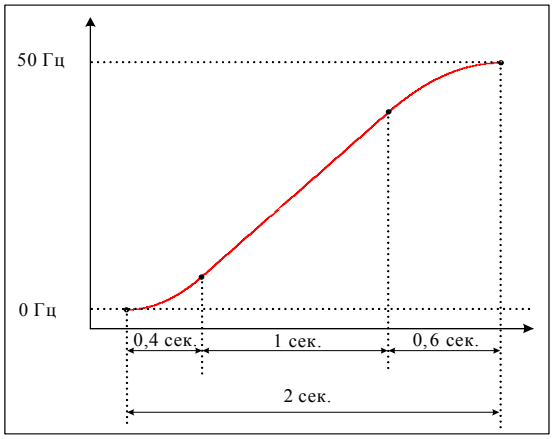


Рис. 6. Профиль разгона привода лифта по S-образному профилю с 0 до 50 Гц за 2 секунды

Трехфазный источник питания, представляющий собой преобразователь частоты, в зависимости от сигнала управления формирует необходимую частоту и амплитуду питающего напряжения.

В процессе проведения имитационного моделирования были получены кривые переходных процессов, протекающих в АД в процессе его разгона (рис. 7).

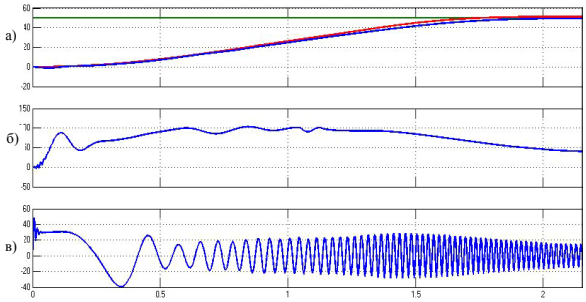
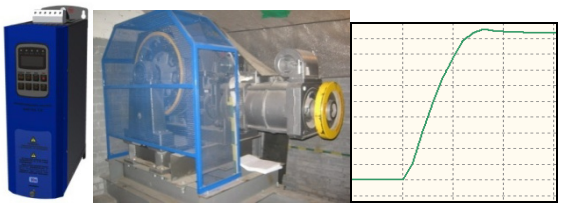


Рис. 7. Кривые переходных характеристик: а) заданная частота и частота вращения вала ротора; б) электромагнитный момент; в) фазный ток

На рис. 7 достаточная плавность кривой электромагнитного момента двигателя, а также отсутствие знакопеременного характера, свидетельствует о требуемой плавности процесса разгона электропривода и его механизмов.

При работе в преобразователе частоты алгоритм плавного разгона и торможения обеспечил заметное улучшение характеристик процессов асинхронного редукторного электропривода пассажирского лифта (рис. 8). Переходной процесс по частоте вращения вала ротора АД имеет S-образную форму, схожую с формой заданной частоты.



а) б) в)

Рис. 8. Преобразователь частоты «ESD-TCL» (ЗАО «ЭлеСи») (а), электропривод лифта с редукторной лебёдкой (б), частота вращения вала ротора АД при разгоне (в)

Заключение

В результате выполнения работы был разработан алгоритм плавного разгона и торможения, также промоделированы процессы, протекающие в асинхронном двигателе. Использование S-образного профиля разгона и торможения электропривода грузоподъемного механизма пассажирского лифта обеспечивает плавность хода кабины лифта, что сказывается на комфортности пассажиров, а также на сохранности механических частей оборудования (редуктора привода). Разработанный алгоритм функционирует в качестве программного обеспечения преобразователя частоты «ESD-TCL 7,5» ЗАО «ЭлеСи».

Список литературы

1. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MATLAB 7 – программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 737 с.
2. Богатырев Д.Е., Махонин С.В. и др. Микропроцессорные системы управления тяговым асинхронным электроприводом. // Электро-Форум. – 2001 – №2.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ С ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ, ОСНОВАННЫМ НА ЭЛЕКТРЕТНОМ ЭФФЕКТЕ

Грабов С.В.

Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор
Научный консультант: Ляпунов Д.Ю., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sgrabov@sibmail.com

Измерение и контроль деформации является актуальной задачей в силу того, что она является частью множества технологических процессов.

На сегодняшний день существуют следующие средства измерения деформации:

- для прямого измерения деформации или давления жидкой или газообразной среды с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются манометры;
- емкостные преобразователи используют упругий чувствительный элемент в виде конденсатора с переменным зазором: смещение или прогиб под действием прилагаемого давления подвижного электрода-мембраны относительно неподвижного изменяет его емкость;
- пьезоэлектрические – основаны на зависимости поляризованного заряда или резонансной частоты пьезокристаллов: кварца, турмалина и др. от прилагаемой к ним величины деформации;
- тензорезисторные – используют зависимость активного сопротивления проводника или полупроводника от степени его деформации.

На сегодняшний день в России самыми популярными являются тензорезисторные преобразователи [1].

У данных разновидностей преобразователей есть свои преимущества (высокая чувствительность, простота конструкции) и недостатки (наличие источника напряжения, погрешности измерения). Также современные системы измерения деформации требуют наличия источника питания, что затрудняет их использование в ряде технологических процессов, например, для контроля технического состояния строительных конструкций: датчики находятся непосредственно в самой конструкции, и их питание является актуальной задачей.

В данном случае одним из решений является использование источника питания, основанного на электретном эффекте. Электрет – это постоянно наэлектризованный диэлектрик, несущий на одной стороне положительный заряд, а на другой – отрицательный и способный создавать электрическое поле в окружающем его пространстве.

Принцип действия рассматриваемого источника питания основан на индуцировании переменного тока в электрическом поле электрета: при колебании металлических электродов в цепи, соединяющей эти электроды, потечет переменный ток (рис. 1):

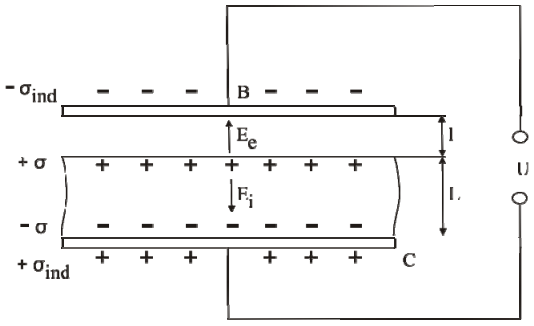


Рис. 1. Генерация энергии про помощи электрета

Принятые обозначения: σ – поверхностная плотность заряда электрета, σ_{ind} – поверхностная плотность заряда, индуцированная на электродах, E_i – напряженность поля внутри электрета, E_e – напряженность поля в зазоре электрет – электроды, B и C – металлические электроды, L – толщина электрета, l – величина зазора между электретом B и поверхностью электрета.

Для определения плотности заряда, индуцированного на поверхности электрода, можно использовать формулу (1):

$$\sigma_{ind} = \frac{\sigma}{\frac{\varepsilon l}{L} + 1}, \quad (1)$$

где σ – поверхностная плотность заряда электрета, σ_{ind} – поверхностная плотность заряда, индуцированная на электродах, L – толщина электрета, l – величина зазора между электретом и поверхностью электрета, ε – диэлектрическая проницаемость электрета.

Таким образом, плотность заряда, индуцируемого на электродах преобразователя, прямо пропорциональна поверхностной плотности заряда электрета и, следовательно, зависит от природы электрета.

В свою очередь σ можно определить различными методами: метод электростатической индукции, вибрационные методы, основанные на индуцировании переменного тока в поле электрета, использование электростатического взаимодействия в поле электрета. Для примера рассмотрим метод электростатической индукции (рис. 2):

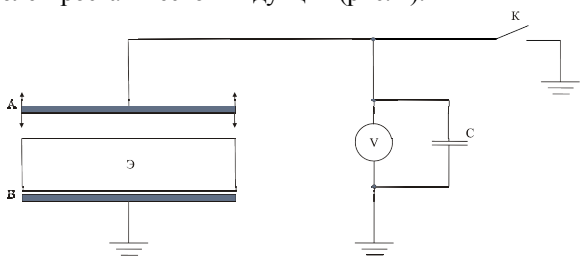


Рис. 2. Измерение заряда электрета методом электростатической индукции

Принятые обозначения: Э – электрет, А – подвижный электрод, В – неподвижный электрод, С – конденсатор, шунтирущий вольтметр, К – ключ, служащий для замыкания системы на землю. Плотность заряда определяется по формуле (2):

$$\sigma = \frac{q}{S} = \frac{(C_B + C) \cdot U}{S}, \quad (2)$$

где q – заряд электрета, S – площадь электрета, C_B – емкость вольтметра, C – емкость конденсатора, шунтирующего вольтметр, U – разность потенциалов, которую показывает вольтметр.

Здание даже в спокойном состоянии совершает вибрации [3], амплитуда которых составляет от 2 до 20 мкм. Возможность генерирования энергии отражена в публикациях [3, 4].

Выбор электрета определяется значением тока на выходе, который необходим для питания схемы генерирования информационного сигнала о техническом состоянии конструкции. Датчик деформации приведен на рис. 3.

Датчик содержит корпус 1, имеющий форму прямоугольного параллилепипеда, на дне которого закреплена металлическая подложка 2 с тонким слоем диэлектрика 3, обладающего высоким значением диэлектрической проницаемости. Внутри корпуса 1 расположен U-образный электрод 4 в виде изогнутой металлической пластины из упругого материала, обладающего электрической проводимостью. Наружняя изогнутая поверхность U-образного электрода 4 соприкасается со слоем диэлектрика 3. Прямоугольные поверхности U-образного электрода 4 примыкают к верхней внутренней поверхности корпуса 1 и подключены к системе 5 питания и управления (СПиУ). Металлическая подложка 2 также подключена к СПиУ [5].

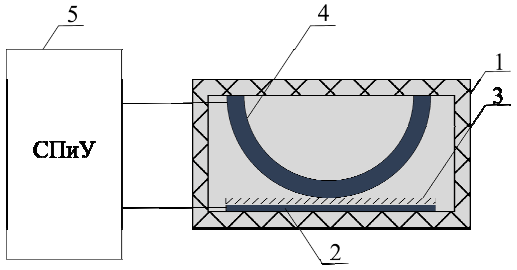


Рис. 3. Конструктивная схема датчика деформации (вариант)

Структура рассматриваемой системы измерения деформации представлена на рис. 4:

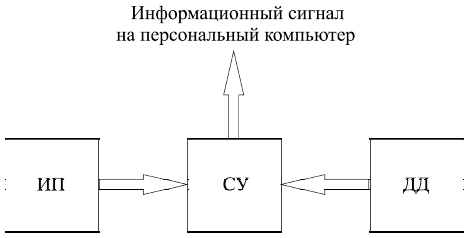


Рис. 4. Структура системы измерения деформации

Принятые обозначения: ИП – источник питания, основанный на электретном эффекте, ДД – датчик деформации, СУ – система управления, которая преобразует сигнал с датчика деформации и выдает информационный сигнал на персональный компьютер.

Таким образом, применение электретов в составе системы измерения деформации позволяет получать энергию для питания системы автономно, без внешних источников питания за счет колебаний конструкции зданий и сооружений.

Список литературы

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров [Текст]. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200 с.
2. Губкин А.Н. Электреты. Электретный эффект в твердых диэлектриках [Текст]. – М.: Наука, 1978.- 192 с.
3. Багинский И. Л., Косцов Э. Г. Анализ возможности создания микроэлектронного электростатического генератора энергии [Текст] // Автометрия. Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, 8 мая 2001 года. – с. 107-122.
4. Соболев В.С., Косцов Э.Г., Щербаченко А.М., Уткин Е.Н., Харин А.М. Микровибрации конструкций капитальных строений как источник возобновляемой энергии для МЭМС-генераторов [Текст]. – Нано- и микросистемная техника, №1 2009.
5. Ляпунов Д.Ю. Исследование микроэлектромеханических емкостных преобразователей с пленочными элементами. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст]. Томск, 2010.-21 с.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Гречушников Д.В.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: epeo@elti.tpu.ru

Большинство новых алгоритмов управления асинхронным электроприводом переменного тока представляет собой дальнейшее развитие и совершенствование классического алгоритма, и реализуются на основе общей теории автоматического управления. Однако поставленная задача может быть решена и нетрадиционными методами. Одним из таких решений является алгоритм управления электроприводом переменного тока с применением методов нечеткой логики.

Наиболее важным приложением теории нечетких множеств являются контроллеры нечеткой логики. Их функционирование немного отличается от работы обычных контроллеров. Здесь для описания системы вместо дифференциальных уравнений используются знания экспертов. Эти знания могут быть выражены естественным образом с помощью лингвистических переменных, которые описываются нечеткими множествами. Решением контроллера нечеткой логики является нечеткое множество. Далее необходимо выбрать одно значение для представления конечной выходной величины. Существует несколько эвристических методов, один из которых предполагает выбирать в качестве конечного значения центр тяжести нечеткого множества. Данная процедура получения решения называется контроллером Мамдани (Mamdani controller).

В данной работе показана разработка регулируемого электропривода (РЭП) переменного тока с различными системами управления.

Целью данной работы является проведение сравнительной оценки функционирования двух систем управления: стандартной и с нечетким регулятором.

Данные исследования проводились с использованием программного продукта *MATLAB Simulink*, позволяющего создать имитационную модель следящего электропривода с нечетким регулятором. Для математических расчетов параметров электропривода использовалась программа *MathCad*.

В нечёткой логике стратегия управления подобна процессу ассоциативного мышления человека. Именно поэтому системы с элементами нечёткой логики принято относить к искусственно-интеллектуальным.

Схема данного процесса такова:

- восприятие исходных условий;
- принятие решения (логическое заключение) с использованием знаний, хранящихся в памяти.

В fuzzy-регуляторе процесс преобразования физических входных переменных в управляющее воздействие происходит через три функциональных блока на основе fuzzy-логики:

1. Блок фаззификации – осуществляет преобразование входных физических переменных x_1, x_2 в значения их функций принадлежности $\mu(x_1)$, $\mu(x_2)$ к входным лингвистическим переменным – терминам A_1, A_2;

2. Блок логического заключения – преобразует на основе свода правил, записанных в памяти fuzzy-регулятора, входные термины A_1, A_2 в выходные В с определенными значениями функций принадлежности $\mu(y)$;

3. Блок дефаззификации – осуществляет обратное преобразование выходного термина в физическое управляющее воздействие.

При дальнейших расчетах будем использовать упрощенную структурную схему САУ СЭП, которая показана на рисунке 1. Здесь представлено следующее:

НР – нечёткий регулятор;

ОУ – объект управления.

На вход системы поступает задание $U_{ЗАД}$, которое сравнивается с текущим состоянием объекта $U_{ОС}$, приходящим по цепи обратной связи. Полученное значение ошибки $L_{ОШ}$ приходит на один из входов нечеткого регулятора НР. На второй вход поступает производная от ошибки $dL_{ОШ}/dt$. В соответствии с входными значениями и принятой стратегией управления нечёткий регулятор НР формирует управляющее воздействие $U_{УПР}$, приложенное к объекту управления ОУ. В результате выходная величина ω начинает изменяется, т. е. происходит её управление.

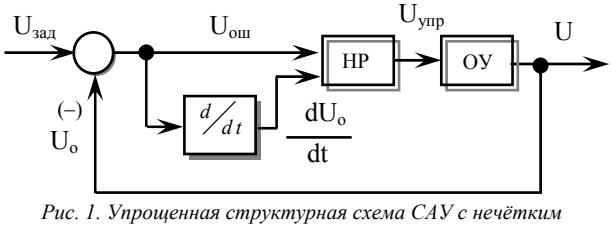


Рис. 1. Упрощенная структурная схема САУ с нечётким регулятором

Применительно к исследуемой САУ РЭП, классический ПИ – регулятор скорости был заменен нетрадиционным fuzzy – регулятором.

Сравнивая полученные переходные характеристики для систем с нечетким и классическим регуляторами в динамических режимах работы видно, что система с нечетким регулятором скорости ничуть не хуже удовлетворяет требованиям электропривода. За время пуска скорость достигает установившегося значения. Время переходного процесса в классической системе равно времени переходного процесса в системе с нечетким регулятором. Но система с нечетким регулятором лучше ведет себя в динамике, т.е динамический провал после наброса нагрузки меньше, чем в системе с классическим регулятором. Однако заметно появление статической ошибки по возмущению, равной, но т.к. она очень мала можно ей пренебречь. Время восстановления скорости после наброса нагрузки почти в два раза меньше в системе с классическим регулятором.

При пуске на максимальную скорость при максимальном моменте сопротивления происходит небольшое увеличение времени переходного процесса. В системе с нечетким регулятором скорости время переходного процесса приблизительно равно этому значению.

Как и в прошлый раз, система с нечетким регулятором лучше ведет себя в динамике – динамический провал после сброса нагрузки меньше, чем в системе с классическим регулятором. Статическая ошибка по возмущению также имеет место быть, но т.к. она очень мала можно ей пренебречь. Время восстановления скорости после сброса нагрузки почти в два раза меньше в системе с классическим регулятором.

При пуске на минимальную скорость при минимальном моменте заметно появление перерегулирования в классической системе, в системе с нечетким регулятором скорости перерегулирование отсутствует, время переходного процесса меньше.

Динамический провал после наброса нагрузки меньше, чем в системе с классическим регулятором. Статическая ошибка по возмущению также имеется, но т.к. она очень мала можно ей пренебречь. Время восстановления скорости после наброса нагрузки в нечеткой системе почти в два раза меньше в системе с классическим регулятором.

При пуске на минимальную скорость при максимальном моменте сопротивления перерегулирование отсутствует. В системе с нечетким регулятором скорости перерегулирование также отсутствует.

Как уже выяснили, система с нечетким регулятором ведет себя лучше в динамике – динамический провал после сброса нагрузки меньше, чем в системе с классическим регулятором. Статическая ошибка по возмущению осталась, но т.к. она очень мала можно ей пренебречь. Время восстановления скорости после сброса нагрузки в нечеткой системе почти в два раза меньше в системе с классическим регулятором.

Таким образом, после проведения сравнительной оценки поведения систем при линейном управлении мы можем сделать важный вывод: при ступенчатом и линейном управлении переходные процессы в системе с нечётким регулятором не уступают по качеству переходным процессам в стандартной системе, а в некоторых случаях превышают.

Список литературы

1. Удут Л. С., Мальцева О. П., Кояин Н. В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока. – Томск. Издательство ТПИ им. С.М. Кирова, 1991.– 104с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянского .- М.: Энергоатомиздат, 1983.– 616 с.
3. Официальный сайт Дортмундского технического университета (Германия): http://www.esr.e–technik.uni–dortmund.de/esr/windora
4. Терехов В.М. “Фаззи-логика в электротехнике” «Электричество», № 11/2000, с. 60–64
5. Нечёткая логика и её применение в автоматическом регулировании: Учеб. пособие / В.В. Стальский, Р.М. Проскуряков; Санкт–Петербургский горный ин-т. СПб., 1998. 94 с.
6. Constantin von Altrock “Anti–sway crane controller” Circuit cellar. Inc. Официальный сайт компании «fuzzyTech™»: http://www.fuzzytech.com
7. http://www.rst.e-technik.uni-dortmund.de/cms/de/Lehrstuhl/Chronik/index.html

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОНВЕЙЕРОВ В ТРАКТЕ ШИХТОПОДАЧИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Губин Д.А., Краснов И.Ю.

Научный руководитель: Краснов И.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: danya88@sibmail.com

Доменный способ является одним из самых древних способов выплавки металлов. С течением времени он постоянно совершенствовался. На сегодняшний день в России и странах СНГ (в частности, на Украине) доменное производство характеризуется следующими критериями:

1. Доменное производство – энергозатратное производство. В силу применяемых мощностей и сложностью процессов энергоемкость доменного производства велика.
2. Низкий уровень автоматизации. Нынешнее состояние металлургических предприятий таково, что большинство доменных печей долгое время не подвергались реконструкции с использованием современных технологий. С этим связаны и большие потери электроэнергии.
3. Шихтовый материал подвергается многоступенчатой транспортировке и обработке. В связи с этим наблюдается высокая степень измельчения агломерата и кокса.

Для работы доменной печи (ДП) требуется бесперебойная подача шихтовых материалов к загрузочному устройству на колошнике. К машинам для подачи шихтовых материалов предъявляются весьма жесткие требования, так как любой перебой в загрузке материалов приводит к переводу печи на тихий ход или полной ее остановке. Поэтому эти машины должны иметь высокую производительность, повышенную надежность при эксплуатации и обеспечивать возможность полной автоматизации процесса загрузки печи.

Применяют два основных способа подачи шихтовых материалов в ДП – скиповый и конвейерный. В первом случае все материалы подаются скипами из скиповой ямы бункерной эстакады вблизи ДП, а во втором – конвейерами из шихтовых бункеров вдали от ДП [1].

Скиповая подача шихты, схематически представленная на рис. 1 (а), осуществляется по скиповому подъемнику (СП), представляющему собой мост (3) с углом наклона более 50°. Подъем и опускание скипов (1) происходят при помощи скиповой лебедки, имеющей барабан (5), на который наматываются и одновременно разматываются тросы (2), связанные с каждым скипом. Загрузка скипа шихтовыми материалами осуществляется в скиповой яме (6), в которую поочередно опускают скипы [2].

Конвейерный колошниковый подъем схематически показан на рис. 1 (б). Подачу материалов на колошник осуществляют одним наклонным ленточным конвейером (ЛК) (8). Материал транспортируется по резинотросовой ленте шириной до 2 метров. ЛК размещен в закрытой наклонной галерее, монтируемой на нескольких опорах (9) и соединяющей колошниковое устройство печи с бункерной эстакадой (7).

Угол наклона ЛК к горизонту делают в пределах 10-11°, что обусловливает большую длину конвейера 250-500 м. Такие ЛК применяют для ДП больших объемов, где СП не обеспечивает требуемый темп загрузки ДП. ЛК работает непрерывно, а транспортируемые материалы располагаются на нем отдельными порциями с определенными интервалами [3].

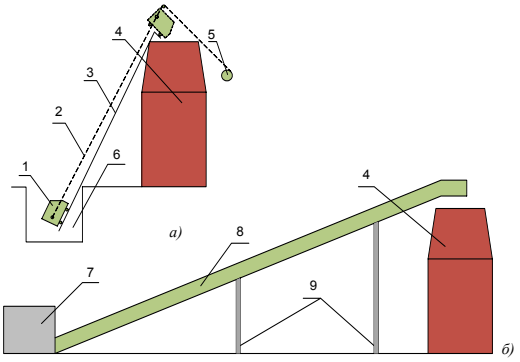


Рис. 1. Схемы подачи шихтовых материалов: а) с использованием скиповых подъемников; б) с использованием конвейера

Современные технологии позволяют существенно сократить длину непрерывно транспортирующих линий. Это стало возможным с применением конвейеров с лентами, оснащенными гофробортами (волнистые борта) и перегородками. Использование лент этого типа позволяет увеличить угол подъема и производительность конвейера, по сравнению с гладкими лентами, за счет увеличения сечения транспортируемого материала.

Ориентировочные расчеты показали, что при замене обычных лент лентами с бортами и перегородками удельная стоимость конвейера на 1 тонну его производительности уменьшается на 25-40 %, а стоимость транспортирования 1 тонны груза снижается на 25-47 %. Таким образом, применение лент с бортами и перегородками быстро окупается [4].

Стала возможной замена традиционно используемых скиповых подъемников Z-образными ленточными транспортерами. Применение вертикальных конвейеров (ВК) на тракте шихтоподачи при подъеме шихты к верхнему загрузочному устройству позволит снизить эксплуатационные и капитальные затраты. При замене скипового подъемника на Z-образный ленточный транспортер система нижней загрузки не демонтируется.

Так на рисунке 2 (а) показана функциональная схема тракта шихтоподачи доменной печи №5 Нижнетагильского металлургического комбината (далее ДП №5), выполненная на базе технических решений ОАО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ» по реконструкции тракта шихтоподачи [5]. На схеме представлены левая и правая стороны набора порций железорудных материалов (ЖРМ) (1) со сборными ленточными конвейерами (СЛК) (2), ВК 9 и ленточными дозаторами (ЛД) ЖРМ (3) и кокса (7) с весовыми бункерами.

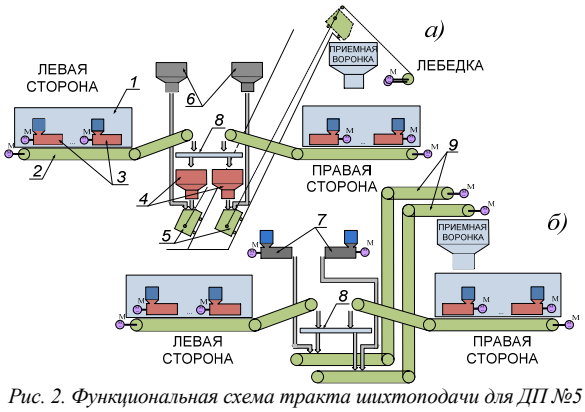


Рис. 2. Функциональная схема тракта шихтоподачи для ДП №5

Бункерные эстакады ЖРМ, окатышей, добавок и известняка левой и правой сторон расположены вдоль линии сборных конвейеров. Агломерат, подвергшийся грохочению (просеву мелочи), ленточными дозаторами (ЛД) (3) направляется на СЛК (2). Далее по СЛК ЖРМ направляют к бункерным весам ЖРМ (4) левой и правой сторон (система загрузки скипового типа), расположенным над скиповой ямой (рис. 2 (а). С помощью переключателя потока материалов (перекидной шибер) (8) осуществляется загрузка нужных бункерных весов ЖРМ дозирующей стороной. Бункерные весы кокса (6), также подверженного грохочению и дозированию, располагаются над скиповой ямой. В бункерных весах кокса и ЖРМ происходит взвешивание и разгрузка материала в скип (5).

На рис. 2 (б) представлена аналогичная схема тракта шихтоподачи с применением ВК (9) для подъема шихты на колошник ДП №5.

Данная система исключает использование бункеров в качестве элементов аккумулирования материала, что способствует снижению единичной производительности и протяженности линий системы нижней загрузки. Вследствие этого отпадает необходимость в строительстве скиповой ямы, что приводит к снижению длины подъема и, следовательно, к снижению длины подъемного конвейера.

Система предусматривает наличие двух подъемных конвейеров, обеспечивающих поочередную загрузку ЖРМ и коксом. Конвейерная система подачи ЖРМ сохраняется.

На основании представленных схем и необходимых данных по ДП №5 были произведены расчеты мощностей электроприводов и производительности ВК, СК, левого и правого СЛК при конвейерном и скиповом способах загрузки шихты (табл.) [5]. Расчет мощности СК производился по методике, изложенной в [6], расчет ЛК – в программе «Программный комплекс по проектированию ленточных конвейеров по методу О.В. Зеленского».

Таблица

Таблица результатов расчетов

Оборудование	Q, м^3/ч	$P_{расч}$, кВт
левый/правый СЛК при скиповой загрузке	820	77 / 89
левый/правый СЛК при загрузке z-образным конвейером (ВК)	407	47 / 52
Z-образный конвейер	440	**70**
Лебедка СП	865	**730**

В результате можно сделать выводы о снижении производительности сборных конвейеров, что способствовало уменьшению ширины ленты конвейера, тем самым, обеспечив снижение мощности используемых электродвигателей более чем на 40%. Мощность электродвигателя механизма подъема шихты снизилась более чем в 10 раз.

Как видно из естественной характеристики асинхронного двигателя привода ВК и статических моментов при нагруженной (481 Нм) и пустой ленте (94,5 Нм) ВК (рис. 3), нагрузка снижается в 5 раз. Так как работа левой и правой сторон тракта в нормальных условиях периодична, то разумно сделать вывод о снижении скорости ленты конвейера на холостом ходу, что, в свою очередь, снижает не только нагрузку на ленту и ее износ, но и потребление электроэнергии двигателем привода.

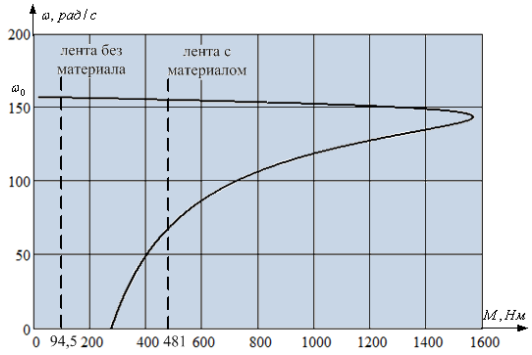


Рис. 3. Естественная механическая характеристика электродвигателя ВК

В результате проведенной работы можно сказать, что за счёт применения ВК общая номинальная мощность электроприводов снизилась на 730 кВт, что составляет 80% от применяемого в

настоящее время оборудования. Система нижней загрузки шихты с применением тракта шихтоподачи конвейерного типа превосходит систему с трактом шихтоподачи скипового типа в меньшей энергоемкости и высокой доле автоматизации процесса. Более того, транспортировка материала, исключающая его пересыпание с одного бункера в другой, позволяет уменьшить процент измельчения гранул агломерата и кокса.

Список литературы

1. Авдеев В.А., Друян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов. – М: Интермет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
2. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия черных металлов. Учебник для техникумов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 360 с.
3. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
4. Пертен Ю.А. Конвейерные системы: справочник. Ч. 2.– СПб.: Профессионал, 2008. – 508 с.
5. Техническая документация реконструкции доменной печи №5 Нижнетагильского металлургического комбината. – ОАО "Гипромез", Екатеринбург.
6. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И. Расчет металлургических машин и механизмов. – Киев: Выща шк. Головное изд., 1988. – 448 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Десятов А.В., Терехин В.Б., Вильнин А.Д.

Научный руководитель: Вильнин А.Д.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: paut25@sibmail.com

В настоящей статье приведены результаты моделирования в среде Matlab Simulink асинхронного электропривода рудничного электровоза, модель которого была ранее представлена в статье «Компьютерная модель асинхронного электропривода рудничного электровоза».

Результаты исследования приведены на диаграммах, показанных на рисунках 1,2 и 3.

Диаграммы, приведенные на рисунках 1 и 3, почти не отличаются. Различие состоит в том что при движении с положительным значением скорости первая колесная пара формирует тяговый момент 414.3 Нм (рисунок 1) , а вторая – 598.4 Нм (рисунок 3).

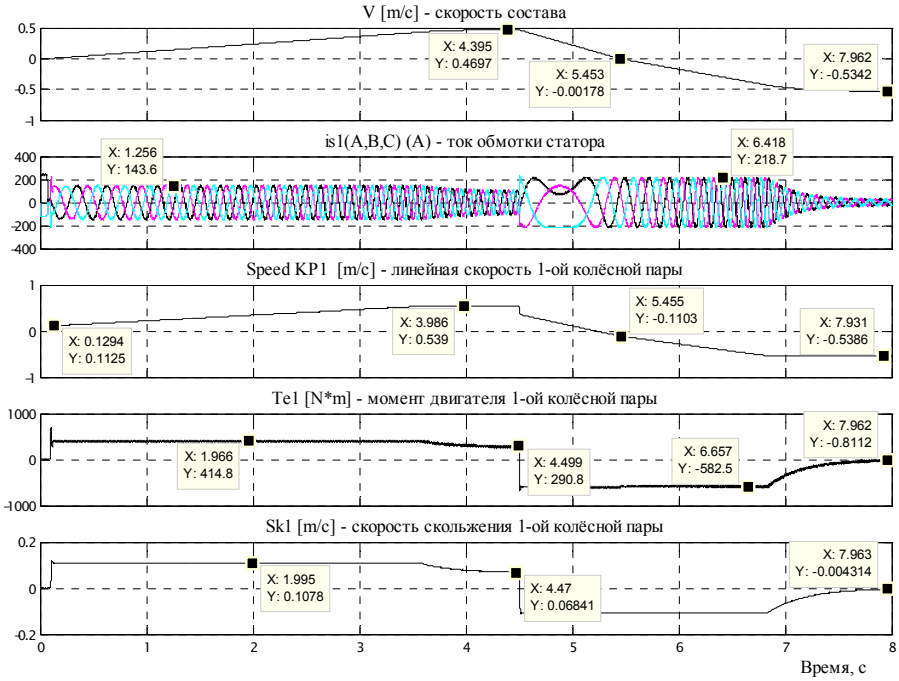


Рис. 1. Диаграммы скоростей и моментов 1-ой колёсной пары

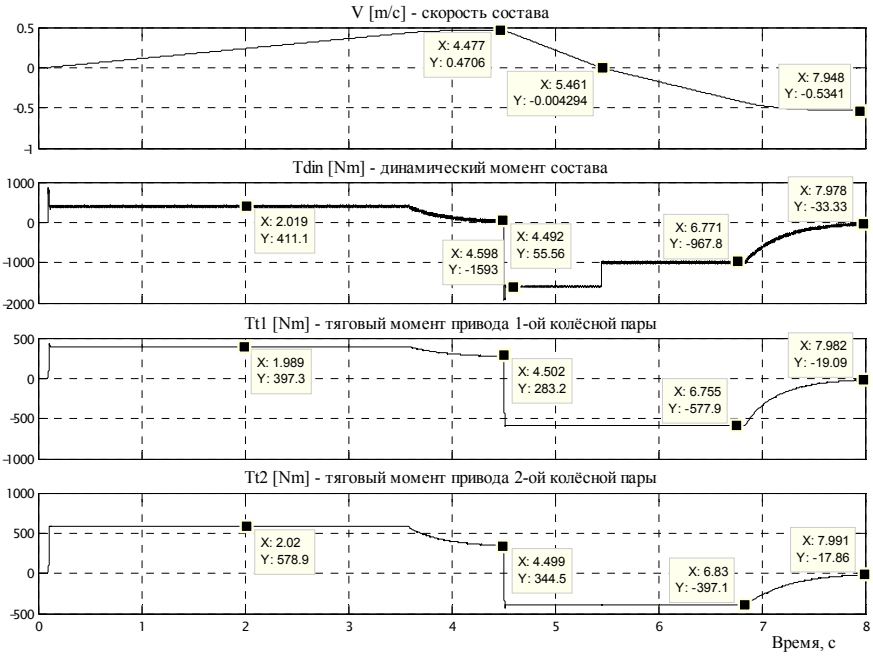


Рис. 2. Диаграммы скорости и моментов состава

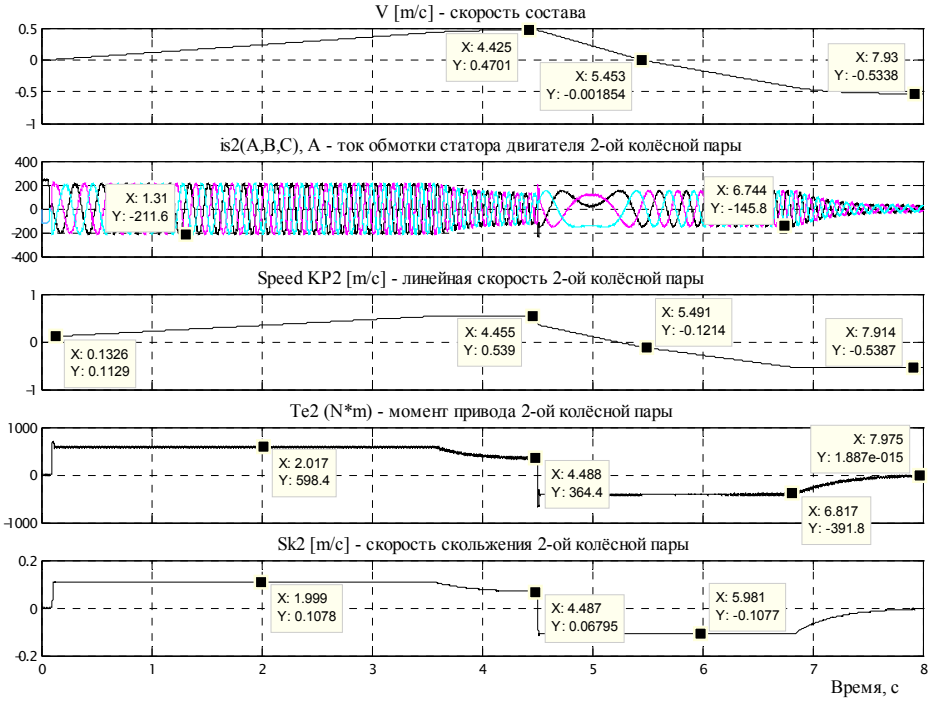


Рис. 3. Диаграммы скоростей и моментов 2-ой колёсной пары

Скорость скольжения колесных пар составляет ±0.1078 м/с. В момент реверса (4.5с) двигатель первой колесной пары загружен до 290.8 Нм, а вторая пара до 364 Нм. После реверса первая колесная пара формирует тяговый момент минус 582.5 Нм, а вторая минус 391.8 Нм. После завершения реверса оба двигателя сбрасывают нагрузку примерно до нулевого значения. Это обусловлено изменением знака момента и скорости приводов колесных пар, а активный момент Та знак не меняет, что соответствует движению под уклон. Активный момент уравновешивается реактивным моментом сопротивления. Суммарный момент сопротивления принимает нулевое значение и двигатели тоже имеют нулевую загрузку.

Двигатели чувствуют нагрузку через регулятор скорости (рисунок 2) по цепи обратной связи по скорости. Например, при движении состава с положительной скоростью, момент сопротивления большой и скорость состава меньше линейной скорости колесных пар, что предопределяет наличие выходного напряжения на ПИ-регуляторах

скорости, наличие задания на ток. Ток статора и момент двигателей уравновешивает момент сопротивления. При указанных нагрузках на состав и движении под уклон скорость состава и линейные скорости колесных пар примерно равны. Скольжение отсутствует и двигатели разгружаются до нулевого значения.

Проследим работу реактивного момента. При разгоне и работе электроприводов с положительной скоростью реактивный момент имеет также положительный знак и препятствует движению электроприводов (и состава в том числе). При реверсе (4.5 с) знак момента двигателя меняется на отрицательный и, пока скорость состава не достигнет нулевого значения (момент времени 5.453 с), реактивный момент сопротивления способствует торможению состава. Как только скорость состава меняет знак на отрицательный, реактивный момент тоже меняет знак и начинает препятствовать процессу пуска состава на отрицательную скорость. Этот процесс отражается на наклоне пусковой диаграммы состава «назад».

Таким образом, разработанная система управления тяговым электроприводом рудничного электровоза выполняет все задачи и обеспечивает управления во всех режимах и нагрузках.

Список литературы

1. Моделирование систем электропривода в Simulink/ Терехин В.Б. // Учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
2. Методы обнаружения буксования в системах управления тяговым электроприводом локомотива / Вильнин А.Д // XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009.
3. Повышение тяговых свойств рудничного электровоза средствами электропривода / Кутовой Ю.Н. // Phd thesis. – Харьков: Издательство Харьковского политехнического института, 1984.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Десятов А.В., Терехин В.Б., Вильнин А.Д.

Научный руководитель: Вильнин А.Д.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: paut25@sibmail.com

За основу электропривода принят электропривод переменного тока с частотным управлением [1]. Схема модели электропривода представлена на рисунке 1.

Рудничный электровоз К-14 имеет две колесные пары и соответственно два электропривода мощностью 45 кВт каждый. Питание электроприводов осуществляется от контактной сети или от аккумуляторов. Частотное, векторное управление асинхронным двигателем ведет блок Vector Control, схема модели которого представлена на рисунке 2.

Блок обеспечивает векторное управление с постоянством потокосцепления ротора.

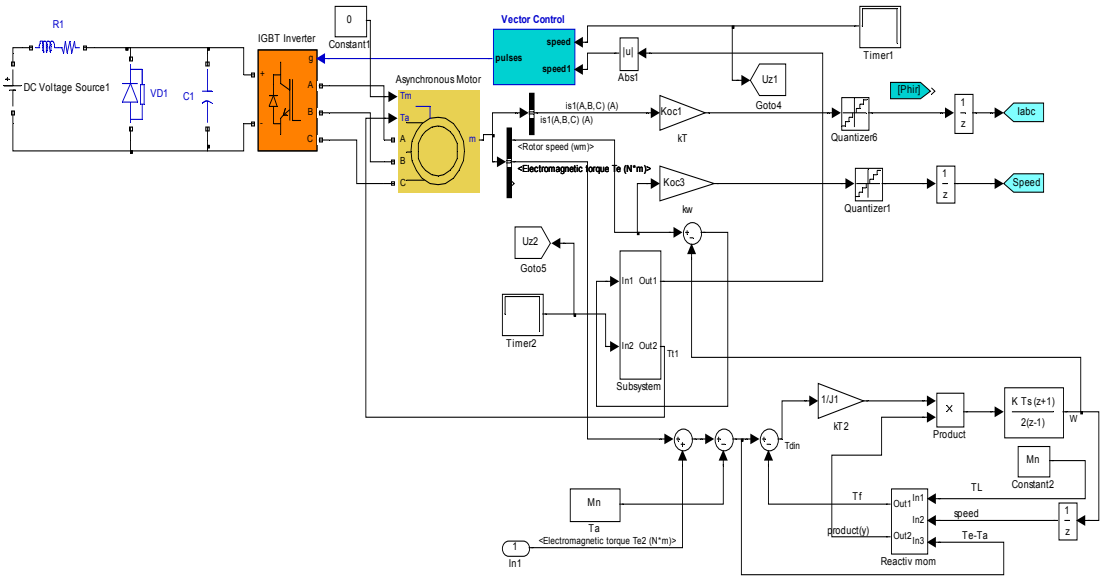


Рис. 1. Схема модели тягового электропривода в Simulink

Соответствующие регуляторы потока, тока статора и скорости обеспечивают стабилизация потокосцепления ротора, ограничение тока статора (и момента двигателя) на заданном уровне, регулирование частоты вращения двигателя и поддержание постоянства ее. Отличие этого блока в системе электропривода рудничного электровоза состоит в наличии блока ограничения выходного сигнала регулятора скорости от регулятора скольжения, который вырабатывается в блоке управления тяговым электроприводом Subsystem и Subsystem 1, схема модели которого приведена на рисунке 3. Эти два блока составляют основу тягового электропривода рудничного электровоза. Тяговый электропривод реализован по двух массовой структуре.

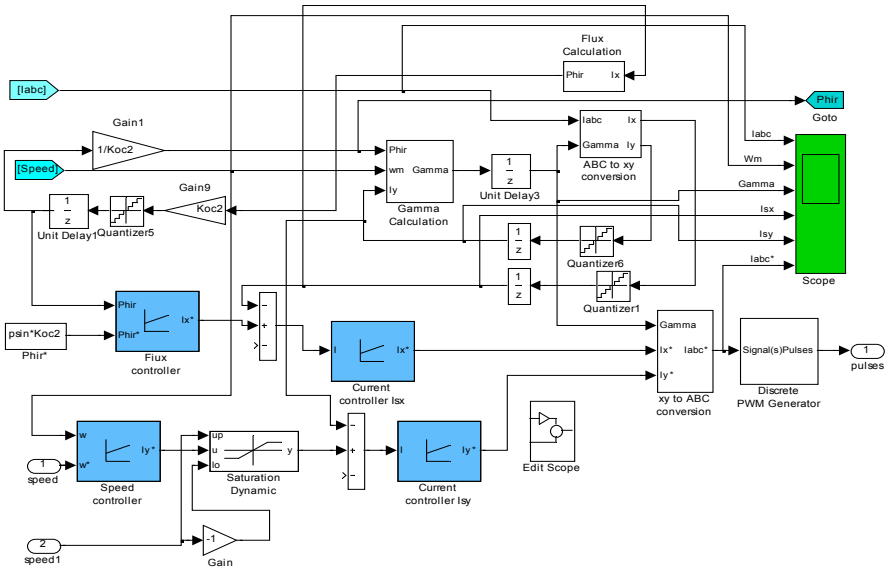


Рис. 2. Схема модели блока управления Vector Control отдельным электроприводом

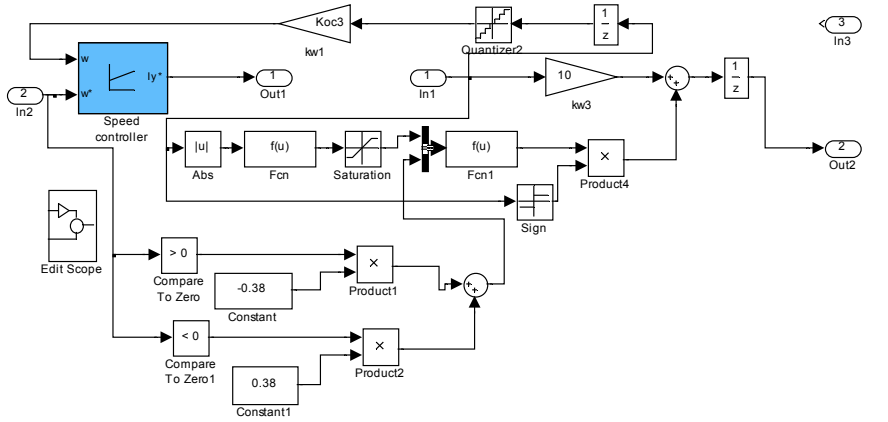


Рис. 3. Схема модели блока управления тяговым электроприводом

В первую массу включен сам двигатель и колесная пара. Параметры ПИ-регулятора скольжения Speed controller (рисунок 3) определены по первой массе. Модель формирования тягового усилия на колесной паре выполнена по описанию, приведенному в литературе [2, 3]. Функциональный блок Fcn определяет коэффициент сцепления по скорости скольжения, действующей на выходе In1. Дале по параметрам электровозного состава определяется тяговое усилие (момент) в соответствии с описанием, вложенном в функциональный блок Fcn1. При определении силы тяги электровоза учтен крутильный момент [3] относительно центра масс электровоза, приводящий к перераспределению нагрузок, действующий на оси колесных пар.

Кроме того, учтен коэффициент вязкого трения k_w3. На выходе Out2 блока Subsystem действует тяговый момент, приведенный к валу двигателя, обеспечивающий разгон, торможение и движение состава.

Регулятор скольжения обеспечивает постоянство скольжения колесной пары (разность скоростей колесной пары и линейной скорости состава) путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости движения состава Speed controller (рисунок 2). Одновременно со скольжением определяется и задается тяговое усилие (момент) электропривода колесной пары.

Закон движения состава определяется своей массой, включающий массу состава и электровоза с электроприводами (рисунок 1), а также характером нагрузи. В схеме модели предусмотрено введение активной нагрузки Ta (движение в гору и по уклону) и реактивной Tf (потери в колесных парах состава). Исследование тягового электропривода проведено на разработанной модели (рисунок 1). Нагрузка принята: активная со знаком плюс и численно равная номинальному моменту двигателя мощностью 45 кВт, и реактивная, численно равная номинальному моменту одного двигателя.

Список литературы

1. Моделирование систем электропривода в Simulink/ Терехин В.Б. // Учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
2. Методы обнаружения буксования в системах управления тяговым электроприводом локомотива / Вильнин А.Д // XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009.
3. Повышение тяговых свойств рудничного электровоза средствами электропривода / Кутовой Ю.Н. // Phd thesis. – Харьков: Издательство Харьковского политехнического института, – 1984 г.

НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Дмитриева Е.М.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н. профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: k.d.tomsk@mail.ru

В настоящее время результаты космической деятельности находят всё большее применение во многих сферах жизнедеятельности человека. Достижения последних десяти лет в области микроэлектроники и микроэлектромеханики позволяют создавать малые космические аппараты (МКА), ни в чём не уступающие по функциональным возможностям большим аппаратам. Основное достоинство МКА – это его ценовая привлекательность, которая дополняется реальной возможностью быстро продавать или сдавать его в аренду. Низкая цена позволяет также формировать целые спутниковые системы, которые могут осуществлять непрерывный мониторинг земной поверхности, а также решать вопросы телекоммуникации и т.п. Общепринятой классификации спутников в соответствии с их массой пока не сложилась. Тем не менее, обобщив данные отечественных и зарубежных публикаций можно представить следующую классификацию [1]:

- пикоспутники 0,1 – 1 кг;
- наноспутники 1 – 10 кг;
- микроспутники 10 – 100 кг;
- мини-спутники 100 – 500 кг;
- малые спутники 500 – 1000 кг;
- средние спутники 1000 – 1500 кг;
- большие спутники > 1500 кг.

Исходя из выше указанного можно с уверенностью сказать, что наступает эра прагматичного космоса – создание экономических средств, которые должны приносить экономический эффект в сжатые сроки.

По мере развития космической техники постоянно растут требования, в том числе и к системам ориентации (СО), а, соответственно, к исполнительным органам (ИО),совершенствуются технологии их проектирования и расчёта.

В классическом исполнении ИО представляет собой электрический двигатель с маховиком, установленным в карданов подвес или жёстко на раму космического аппарата (КА). С повышением требований по точности ориентации КА, увеличению срока их активного существования возникает необходимость дальнейшего совершенствования характеристик ИО.

Для удовлетворения современного уровня технических требований, предъявляемых к ИО систем ориентации КА, необходимо обеспечить комплексное решение вопросов, касающихся выбора перспективной кинематической схемы прибора, его функциональной структуры, подбора конструкционных материалов, включая и нетрадиционные, обеспечения их совместимости в условиях эксплуатации.

В настоящее время в качестве исполнительных органов для систем стабилизации и ориентации космических аппаратов используются следующие типы электромеханических устройств: силовые гироскопические комплексы (СГК), комплексы управляющих двигателей-маховиков (КУДМ), комплексы магнитных исполнительных органов (КМИО), а также газореактивные и стационарные плазменные двигатели [2].

Целью моей диссертации, является проектирование СГК, важным достоинством которых, является их способность реализовывать линейное, широкодиапазонное и высокоточное управление моментом, благодаря чему могут быть получены

требуемые точности стабилизации КА, измеряемые единицами угловой секунды. Применение СГК в системах ориентации КА позволяет также обеспечить необходимую надёжность работы СО.

Проектирование всех современных СГК базируется на технических решениях, унифицированных по принципу построения их функциональных узловых схем. У силового гироскопа – это ротор из высокопрочной стали, шарикоподшипниковые опоры ротора с узлами подпитки маслом, вакуумированный корпус из алюминиевых сплавов, в части электропривода-бесконтактные двигатели постоянного тока с высокоэффективными магнитами и широкодиапазонной системой управления скоростью. Электроника комплексов обеспечивает тестирование, самоконтроль и глубокую диагностику работы СГК. Разработанные технические решения позволяют реализовать современные технические требования, предъявляемые к СГК, в частности по ресурсу работы комплекса до 10-15 лет, уровню максимального управляющего момента до 100 Н.м, диапазон регулирования управляющего момента 1 : 2000, точность реализации управляющего момента 1-2 %, точность формирования информации об угловом положении вектора кинетического момента гироскопа до 3-5 угл. мин [2].

Основным типом СГК, разрабатываемых в настоящее время, являются гиродины – двухстепенные управляющие силовые гироскопы (рис.1), дальнейшая модернизация которых, как показывает опыт многолетней эксплуатации, должна быть направлена на неизменное увеличение управляющих и кинетических моментов.

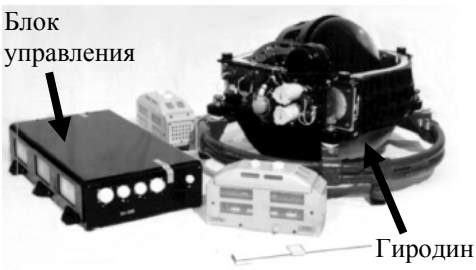


Рис. 1. Гиродин для астрофизических КА типа «Спектр»

Анализ технических параметров и конструкторских решений инерционных ИО, уровень конструирования которых соответствует современным международным стандартам, позволяет утверждать, что системный подход в разработки новых типов электромеханических ИО для СГК – это блочная и поузловая унификация приборов, направленная на снижение затрат и получения оптимальных решений, удовлетворяющих современным требованиям, приобретает характер устойчивой тенденции.

В указанных тенденциях чётко прослеживается совершенствование именно удельно-массовых характеристик ИО (рис.2) за счёт увеличения скорости вращения маховиков, а также применения композитного материала для материалоёмких и силовых элементов конструкции [3].

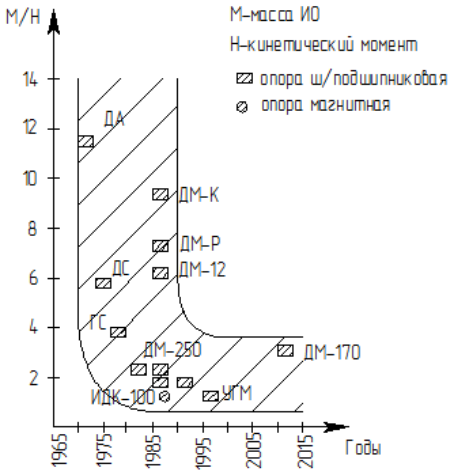


Рис. 2. Тенденция минимизации удельно-массовых характеристик электромеханических ИО

Также следует отметить, что совершенствование двигателей-маховиков идёт и за счёт увеличения не только скорости вращения, но и ресурса (рис. 3). Немаловажным является и развитие кинематических схем.

Проведённый анализ основных тенденций совершенствования ИО, разрабатываемых различными организациями как у нас в стране, так и за рубежом, показывает неуклонное стремление к повышению скорости и, как это ни парадоксально с точки зрения надёжности опор, увеличение при этом срока активного существования [3].

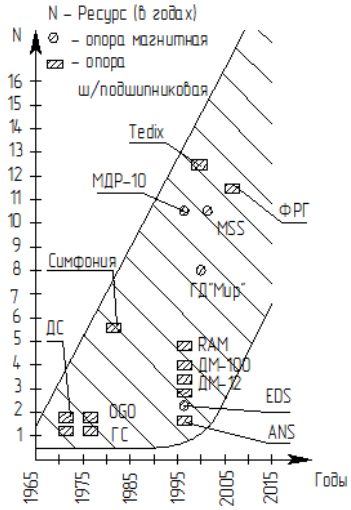


Рис. 3. Тенденция изменения ресурса электромеханических ИО

Список литературы

1. Лукьященко В. Международные тенденции создания и эксплуатации малых космических аппаратов. 111 Международная конференция-выставка «Малые спутники: Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в 21 веке», г. Королёв. Книга 1, с. 332–348.
2. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Под редакцией А.С. Сырова – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.
3. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами (Исполнительные органы: назначение, принцип действия, схемы, конструкция): Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ. 2000.-207 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ ДВИЖЕНИЯ УДАРНИКА

Дозоров А.А.

Научный руководитель: Манжосов В.К., д.т.н., профессор
Ульяновский государственный технический университет
432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32
E-mail: mars.aad@mail.ru

В различных отраслях техники широкое применение находят механизмы, использующие эффект удара для генерирования больших по величине и кратковременных по длительности усилий при выполнении разнообразных технологических операций. Такие механизмы принято называть генераторами силовых импульсов. Возбуждение ударных нагрузок в генераторах обеспечивается в результате периодических соударений ударника с рабочим инструментом. Возвратно-поступательное движение ударника можно осуществлять с помощью различных механизмов: пневматических, гидравлических, электромагнитных, рычажных, кулачковых и других. Такие схемы генераторов силовых импульсов широко реализованы на практике.

Системы с электромагнитными генераторами силовых импульсов перспективны в применении. Малое количество подвижных звеньев в генераторе, отсутствие промежуточных механизмов для преобразования электрической энергии в поступательное движение ударной массы обеспечивают высокую надежность генератора. Также вид энергии, хорошая элементная база позволяет эффективно управлять движением ударника, обеспечивать рациональные режимы его движения [1].

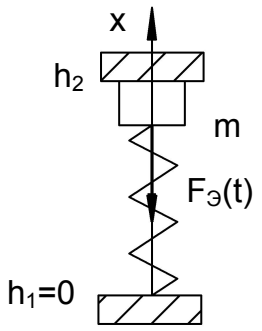


Рис. 1. Расчетная схема

На рис. 1 изображена простейшая расчетная схема электромагнитного генератора силовых импульсов. Для данной схемы принимаем, что ударник массой m осуществляет возвратно поступательное движение вдоль оси X, поочередно соударяясь с нижним ограничителем (на координате h_1) и верхним ограничителем (на координате h_2). Ударник осуществляет движение под действием электромагнитной силы $F_Э(t)$, также на нее действуют: сила тяжести и сила упругости пружины жесткостью с. После удара бойка об нижний ограничитель пружина возвращает его в исходное положение.

Для представленной расчетной схемы генератора силовых импульсов можно записать дифференциальное уравнение движения ударной массы:

$$m \cdot \ddot{x} = c \cdot (h_2 - x) + m \cdot g \cdot \cos\alpha - F_Э(t),$$

начальные условия:

$$x\big|_{t=0} = x_0;\ \dot{x}\big|_{t=0} = \dot{x}_0,$$

условия соударения:

$$\text{при } x = h_1 \text{ и } \dot{x}^- < 0 \quad \dot{x}^+ = -k_1 \cdot \dot{x}^-,$$

$$\text{при } x = h_2 \text{ и } \dot{x}^- > 0 \quad \dot{x}^+ = -k_2 \cdot \dot{x}^-,$$

где m – масса ударника; $\dot{x}$ и $\ddot{x}$ – первая и вторая производные перемещения; c – жесткость пружины; h_1 и h_2 – координаты ограничителей; x – координата перемещения; g – ускорение свободного падения; α – угол между осью X и направлением силы тяжести, равный π; $F_Э(t)$ – электромагнитная сила; $\dot{x}^-$ и $\dot{x}^+$ – скорости ударника перед и после столкновения с ограничителями;
k_1 и k_2 – коэффициенты восстановления скорости ударника при столкновении с ограничителями.

Дифференциальное уравнение движения ударника преобразуем к виду:

$$\ddot{x} = \omega^2 \cdot (h_2 - x) - g \cdot \cos\alpha - A(t),$$

где ω^2 – величина, равная c/m; $A(t)$ – возникающее ускорение движения ударника под действием электромагнитной силы.

Электромагнитная сила $F_Э(t)$ возбуждает движение ударной массы с периодом воздействия T. Её воздействие на ударник длительностью t_1 заканчивается до момента его столкновения с ограничителем. Величина и длительность импульса электромагнитной силы достаточны для преодоления сопротивления пружины и возникновения ускорения движения ударника.

График возникающих ускорений движения ударника представлен на рис. 2.

Для вычислений по построенной математической модели используем численный метод реше-

ния дифференциальных уравнений – метод Рунге-Кутта. Данный метод обладает значительной точностью и несмотря на свою трудоемкость, широко используется для решения такого рода задач.

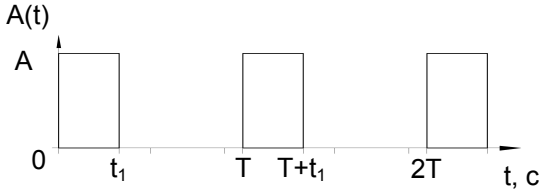


Рис. 2. График возникающих ускорений

Далее представлен алгоритм последовательности вычислений по методу Рунге-Кутта [2]:

$$x_i = x_{i-1},$$
$$\dot{x}_i = \dot{x}_{i-1},$$
$$k_1 x_i = \Delta t \cdot \dot{x}_i,$$
$$k_1 \dot{x}_i = \Delta t \cdot \ddot{x}_i,$$
$$\Delta x = k_1 x_i,$$
$$\Delta \dot{x} = k_1 \dot{x}_i,$$
$$t_i = t_{i-1} + \Delta t / 2,$$
$$x_i = x_{i-1} + k_1 x_i / 2,$$
$$\dot{x}_i = \dot{x}_{i-1} + k_1 \dot{x}_i / 2,$$
$$k_2 x_i = \Delta t \cdot \dot{x}_i,$$
$$k_2 \dot{x}_i = \Delta t \cdot \ddot{x}_i,$$
$$\Delta x = 2 k_2 x_i,$$
$$\Delta \dot{x} = 2 k_2 \dot{x}_i,$$
$$x_i = x_{i-1} + k_2 x_i / 2,$$
$$\dot{x}_i = \dot{x}_{i-1} + k_2 \dot{x}_i / 2,$$
$$k_3 x_i = \Delta t \cdot \dot{x}_i,$$
$$k_3 \dot{x}_i = \Delta t \cdot \ddot{x}_i,$$
$$\Delta x = 2 k_3 x_i,$$
$$\Delta \dot{x} = 2 k_3 \dot{x}_i,$$
$$t_i = t_{i-1} + \Delta t / 2,$$
$$x_i = x_{i-1} + k_3 x_i,$$
$$\dot{x}_i = \dot{x}_{i-1} + k_3 \dot{x}_i,$$
$$k_4 x_i = \Delta t \cdot \dot{x}_i,$$
$$k_4 \dot{x}_i = \Delta t \cdot \ddot{x}_i,$$
$$\Delta x = k_4 x_i,$$
$$\Delta \dot{x} = k_4 \dot{x}_i,$$
$$\Delta x_i = \left(k_1 x_i + 2 \cdot k_2 x_i + 2 \cdot k_3 x_i + k_4 x_i\right) / 6,$$
$$\Delta \dot{x}_i = \left(k_1 \dot{x}_i + 2 \cdot k_2 \dot{x}_i + 2 \cdot k_3 \dot{x}_i + k_4 \dot{x}_i\right) / 6,$$
$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_i,$$
$$\dot{x}_i = \dot{x}_{i-1} + \Delta \dot{x}_i.$$

Для построенной математической модели электромагнитного ударного механизма с ограничителями движения ударника проведем расчет со следующими исходными данными:

- ударная масса m=0,5 кг;
- жесткость пружины c=700 Н/м;
- величина ω^2=1400 c^{-2};
- координаты ограничителей h_1=0 м, h_2=0,04 м;
- шаг расчета по времени Δt=0,002 с;
- величина возникающего ускорения A=100 м/$с^2$;
- длительность действия электромагнитной силы t_1=0,02 с;
- период действия электромагнитной силы T=0,074 с;
- коэффициенты восстановления скорости при ударе об ограничители k_1 =0,1, k_2=0,01.

Результаты расчета представлены на рис. 3.

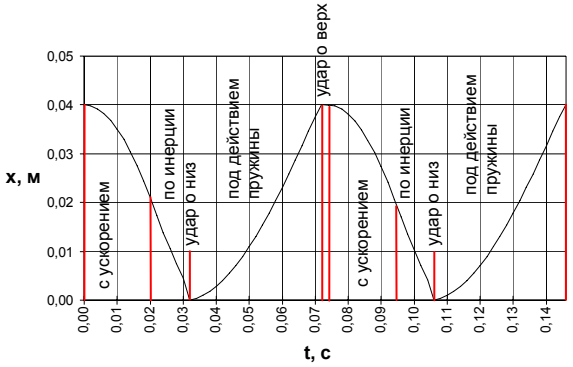


Рис.3 График перемещений ударной массы

На рисунке показаны временные интервалы, отражающие характер движения ударника.

Движение ударника начинается от верхнего ограничителя (h_2=0,04 м). Ударник под действием электромагнитной силы $F_Э$ движется с ускорением. Возбуждающая сила действует t_1=0,02 с. Далее ударник движется до столкновения с нижним ограничителем по инерции. При ударе об нижний ограничитель (h_1=0 м) ударник меняет направление движения на противоположное, восстанавливает скорость (с коэффициентом восстановления k_1) и возвращается в исходное положение под действием пружины. Ударник движется вверх до столкновения с верхним ограничителем. При ударе о верхний ограничитель (h_2=0,04 м) ударник меняет направление движения на противоположное, восстанавливает скорость (с коэффициентом восстановления k_2) и начинает движение вниз. Через 0,074 с после начала движения ударника возникает электромагнитная сила, возбуждающая новое движение, и цикл повторяется.

Список литературы

1. Манжосов В. К. Динамика и синтез электромагнитных генераторов силовых импульсов / В. К. Манжосов, Н. О. Лукутина, Т. О. Невенчанная; АН Киргизской ССР. Ин-т автоматики, Фрунзе: Илим, 1985. - 110 с.: ил. – Библиогр.: 12 назв.
2. Демидович Б. П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – СПб: Лань, 2008. – 400 с.: ил. – (учебники для вузов. Специальная литература).

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ IGBT-МОДУЛЕЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Доманов С.С.

Научный руководитель: Панкратов В.В., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
E-mail: stas_domanov@mail.ru

В настоящее время большинство электроприводов переменного тока, применяемых в самых различных отраслях промышленности, включают в себя двухзвенный преобразователь частоты, состоящий из следующих основных компонентов: неуправляемого выпрямителя или реверсивного управляемого вентильного выпрямителя и автономного инвертора напряжения, выполненного на базе IGBT – транзисторов и работающего в режиме широтно-импульсной модуляции. Преобразователь частоты электропривода переменного тока обеспечивает основные функции: плавный пуск, торможение, реверс и регулирование частоты вращения двигателя, а также защитные функции по току, напряжению, температуре и др.

Общеизвестно, что тепловая защита преобразователя обычно строится на основе контроля температуры посредством датчиков. В связи с тем, что напрямую измерить температуру кристалла весьма проблематично, датчик температуры устанавливается на охладителе в непосредственной близости к силовому модулю и измеряет температуру охладителя, либо встраивается в модуль и измеряет температуру корпуса. Очевидно, что вследствие собственной инерционности датчиков температуры и наличия переходных тепловых сопротивлений «кристалл – корпус» и «корпус – охладитель», контроль температуры в указанных точках не позволяет эффективно защищать модуль от перегрева при кратковременных токовых пиках [1].

В связи с этим актуальна задача построения интеллектуальной упреждающей тепловой защиты преобразователя. Для ее решения необходимо: разработать методику расчета мощности потерь в силовых элементах преобразователя частоты, синтезировать алгоритм вычисления мгновенных значений температур кристалла в IGBT-модуле и собственно способ тепловой защиты преобразователя на основе контроля вычисляемых мгновенных значений температур кристаллов.

Методика расчета мощности рассеяния импульсных силовых компонентов сводится к нахождению суммы статических (потерь проводимости) и динамических (потерь переключения) потерь [2]. Данная методика расчета общеизвестна и, как правило, используется на практике для проектирования преобразователей, приводится в технической (справочной) документации производителями силовых модулей. Расчет мощности потерь выполняется на основе информации о мгновенных значениях выходного тока и выходного напряжения преобразователя, а также параметров исследуемого силового модуля, которые приводятся в технических характеристиках фирмой-производителем.

Алгоритм вычисления мгновенных значений температур IGBT-модуля основывается на эквивалентной электрической схеме тепловой модели IGBT-модуля и охладителя рис.1, которая составляется по тепловой блок-схеме силового модуля [3].

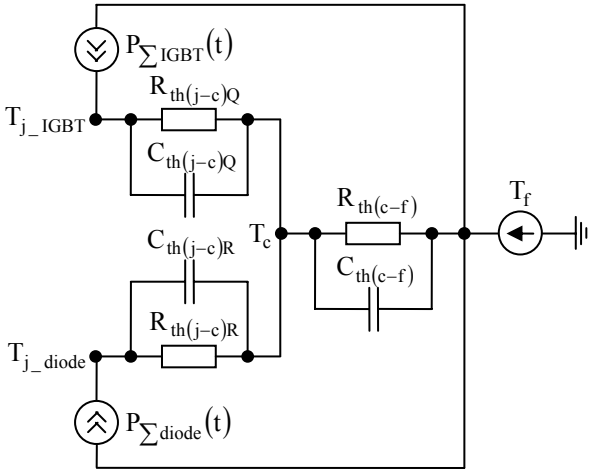


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема тепловой модели IGBT-модуля и охладителя

Потери в транзисторных и диодных чипах модуля моделируют источники тока $P_{\Sigma IGBT}(t)$ и $P_{\Sigma diode}(t)$. Параллельно включенные электрические элементы $R_{th(j-c)Q}$, $C_{th(j-c)Q}$ и $R_{th(j-c)R}$, $C_{th(j-c)R}$ модулируют тепловые сопротивления и тепловые емкости «кристалл – корпус» транзистора IGBT и антипараллельного диода, а элементы $R_{th(c-f)}$ $C_{th(c-f)}$ – тепловое сопротивление и тепловую емкость «корпус – охладитель». Температуры кристаллов транзистора IGBT и антипараллельного диода обозначены на схеме, как T_{j_IGBT} и T_{j_diode}, а температура корпуса – T_c. Источник ЭДС задает температуру охладителя T_f.

Таким образом, вычисление мгновенных значений температур IGBT-модуля основывается на информации о значениях потерь в диодном и транзисторном чипе, а так же величине заданной температуры охладителя и параметров силового модуля.

Тепловая защита преобразователя строится на основе контроля прогнозируемых мгновенных значений температур кристаллов IGBT-модуля в режиме реального времени. Структурная схема упреждающего алгоритма тепловой защиты преобразователя частоты представлена на рис.2.

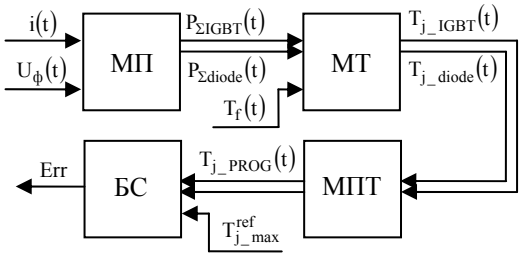


Рис. 2. Структурная схема упреждающего алгоритма тепловой защиты

Здесь МП – модель потерь; МТ – модель температуры; МПТ – модель прогнозирования температуры; БС – блок сравнения; $i(t)$, $U_ф(t)$ – мгновенные значения выходного тока и выходного напряжения преобразователя; $P_{\Sigma IGBT}(t)$, $P_{\Sigma diode}(t)$ – суммарные потери транзистора IGBT и антипараллельного диода; $T_f(t)$ – температура охладителя; $T_{j\_IGBT}(t)$, $T_{j\_diode}(t)$ – температуры кристаллов транзистора IGBT и антипараллельного диода; $T_{j\_PROG}(t)$ – прогнозные значения температуры кристаллов; $T^{ref}_{j\_max}$ – заданная максимально допустимая температура кристалла.

Прогнозирование мгновенных значений температур осуществляется на основе информации о вычисленных мгновенных значениях температур кристаллов IGBT-модуля. Алгоритм прогнозирования температур кристаллов базируется на наиболее распространенном методе экстраполяции кубическим сплайном.

Условием срабатывания тепловой защиты является первое пересечением экстраполированной кривой температуры наиболее нагретого кристалла IGBT-модуля с заданным порогом срабатывания защиты $T^{ref}_{j\_max}$. Согласно технической характеристике на силовой модуль величина порога срабатывания защиты устанавливается на отметке $T_{j\_max} = 125\ °C$.

Такой подход к построению тепловой защиты преобразователя частоты позволяет учесть особенности теплового состояния конкретного силового модуля, а также отслеживать в режиме реального времени температуры кристаллов IGBT-модуля, что позволит эффективно защитить модуль от перегрева.

Цифровое моделирование упреждающего алгоритма тепловой защиты преобразователя проводилось совместно с системой векторного управления асинхронным электродвигателем 4А225М4У3 мощностью 55 кВт в пакете программ MatLab 6.5 – Simulink. Графики переходных процессов при пуске электропривода из ненамагниченного состояния на номинальную скорость с последующим набросом нагрузки представлены на рис.3.

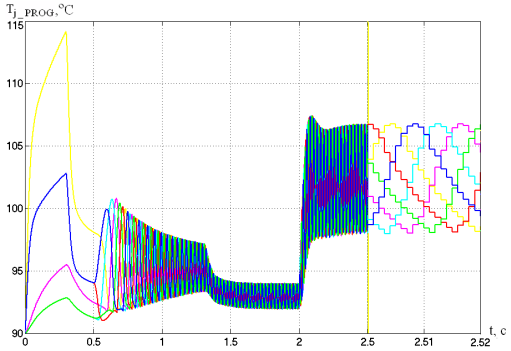


Рис. 3. График прогнозных значений температур кристаллов IGBT-модуля

Из приведенных переходных процессов видно, что на этапе намагничивания силовые модули греются постоянным током, а при набросе номинальной нагрузки температура в кристаллах силовых модулей увеличивается вследствие увеличения токов. В качестве иллюстрации к работе тепловой защиты был рассмотрен наброс нагрузки, превышающий перегрузочную способность привода, что привело к торможению и уменьшению частоты питания двигателя. Вследствие стопорения двигателя время нахождения в работе каждого из транзисторов увеличилось, что привело к срабатыванию тепловой защиты, см. рис. 4.

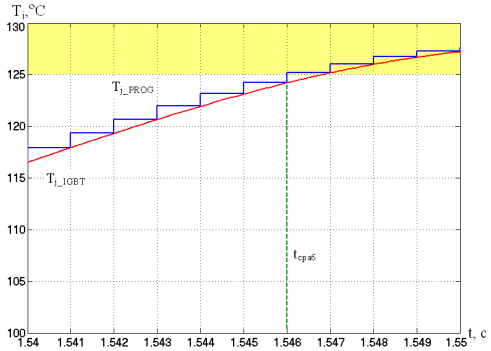


Рис. 4. Срабатывание упреждающего алгоритма тепловой защиты

Список литературы

1. Виноградов, А.Б. Реализация защиты преобразователя частоты на основе динамической тепловой модели IGBT-модуля [Текст] / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, И.Ю. Колодин // Силовая электроника. – 2006. – №2. – С. 12–19.
2. Колпаков А. MELCOSIM? IPOSIM? SEMISEL? О выборе и замене модулей IGBT // Силовая электроника. 2005. № 1.
3. Sven Konrad. Тепловые параметры силовых модулей в широтно-импульсных преобразователях. В кн. Силовые IGBT модули. Материалы по применению. – М.: ДОДЭКА, 1997. – 157 с.

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Дорохина Е.С., Хорошко А.А.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: shijpoms@sibmail.com

В настоящее время имеется тенденция развития электроподвижного состава оснащенного асинхронными тяговыми электродвигателями (АТЭД). Анализ отказов оборудования локомотивов показывает, что более 50% неисправностей электровозов [1] происходит из-за отказов тяговых электродвигателей. То есть электродвигатели являются одними из основных узлов определяющих эффективность и надежность работы электровозов.

В свою очередь согласно имеющейся в настоящее время статистике [2] характерными повреждениями электродвигателей являются пробой изоляции и межвитковые замыкания обмотки статора. Основная причина данных повреждений является тепловое состояние двигателя. Величина нагрузки, качество применяемых материалов частей электрической машины, качества и способа охлаждения определяют величину нагрева элементов АТЭД. В связи с этим в процессе эксплуатации необходима информация о тепловом состоянии частей электродвигателя, для предотвращения наступления предельного состояния и возможного отказа.

Получение такой информации возможно либо с использованием средств измерения температуры, которые непосредственно устанавливаются на исследуемые детали электродвигателя, либо теоретическим путем, используя тепловую математическую модель. Исследование двигателя и использованием средств измерения является крайне неудобным из-за установки большого числа термодатчиков в двигателе, особенно во вращающихся частях машины. Подробную информацию о температурном поле машины более удобно получить теоретическим путем. Тепловая математическая модель АТЭД позволит получать достоверную и подробную информацию о распределении температуры в электрической машине при различных режимах работы.

Решение данной задачи возможно путем создания математической модели, которая позволяет судить о тепловом состоянии тягового электродвигателя, путем расчета температур отдельных узлов АТЭД. Математическая модель построена на использовании эквивалентных тепловых схем замещения [3].

Тепловая математическая модель рассмотрена на примере тягового асинхронного электродвигателя НТА-1200. Рассматривая АТЭД как соединение источников тепла, тепловых сопротивлений и приемников, произведен переход к тепловой схеме описывающей все пути передачи тепловых потоков в машине.

Фрагмент исходной тепловой схемы замещения статора электродвигателя НТА-1200 приведен на рис.1. Вся схема замещения включает в себя основные нагреваемые части АТЭД: статор с обмоткой и ротор с короткозамкнутыми кольцами. Они разбиты на участки, отличающиеся разными условиями теплоотвода при принятом в АТЭД осевом принудительном воздушном охлаждении. Точка *a* – точка входа воздуха в двигатель, точка *d* – выход воздуха в окружающую среду. Каждый из участков характеризуется выделяемыми потерями – источники теплоты. Связь между частями АТЭД осуществляется потоком охлаждаемого воздуха, который, проходя по машине, нагревается до температуры выхода.

Модель позволяет произвести вычисление температуры в 21 узле машины.

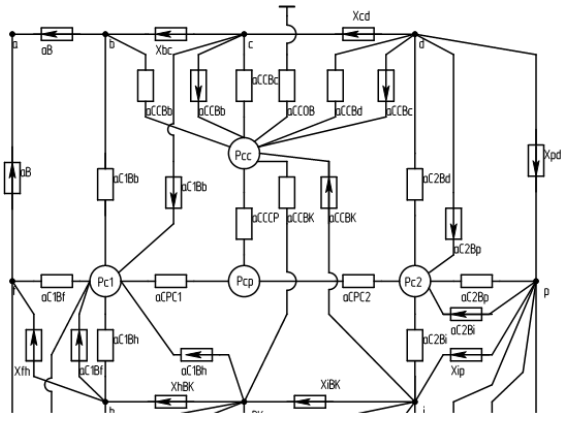


Рисунок 1 – Фрагмент тепловой схемы АТЭД НТА-1200: P_{C1} – потери в лобовой части обмотки статора со стороны подачи воздуха; P_{CP} – потери обмотки статора в пазовой части; P_{C2} – потери в лобовой части обмотки статора со стороны выхода воздуха, P_{CC} – потери в стали статора

Тепловые сопротивления, соединяющие узлы тепловой схемы (рис.1), обозначены через тепловые проводимости α (ТП) с одноименными индек-

сами: α_{CPC1} – ТП между лобовой и средней частями обмотки статора (ОС); α_{CPC2} – ТП между лобовой со стороны выхода воздуха и средней частями ОС; α_{CCCP} – ТП между пазовой частью ОС и сталью статора; α_{C1Bb}, α_{C1Bf}, α_{C1Bh} – ТП от лобовой части ОС со стороны подачи воздуха в воздух по направлению к корпусу, подшипниковому щиту и воздушному зазору; α_{C2Bd}, α_{C2Bp}, α_{C1Bi} – ТП от лобовой части ОС со стороны выхода воздуха в воздух по направлению к корпусу, подшипниковому щиту и воздушному зазору; α_{CCBb} – ТП от стали статора в воздух со стороны подачи воздуха; α_{CCBd} – ТП от стали статора в воздух со стороны выхода воздуха; α_{CCBK} – ТП от стали статора в воздушный зазор; α_{CCBc} – ТП от стали статора в охлаждающие каналы статора; α_{CCOB} – ТП от поверхности стали статора в окружающий воздух; α_B – ТП охлаждающего потока.

Тепловые проводимости определяются геометрическими размерами элементов и деталей, по которым проходит тепловой поток и тепловыми свойствами материалов этих элементов.

Тепловая модель АТЭД НТА-1200 описывается системой уравнений, решение которой позволяет определить искомые температуры. Также система содержит уравнения определяющие подогрев воздуха в разных частях при его движении вдоль оси машины. Уравнения потерь для узлов приведенного на рис. 1 фрагмента схемы записывается в следующем виде:

$$P_{C1} = \theta_{C1}(\alpha_{C1Bf} + \alpha_{C1Bb} + \alpha_{CPC1} + \alpha_{C1Bh}) -$$
$$- \theta_b \cdot \alpha_{C1Bb} - \theta_{CP} \cdot \alpha_{CPC1} - \theta_h \cdot \alpha_{C1Bh} - \theta_f \cdot \alpha_{C1Bf};$$
$$P_{CP} = \theta_{CP}(\alpha_{CPC1} + \alpha_{CCCP} + \alpha_{CPC2}) - \theta_{C1} \cdot \alpha_{CPC1} -$$
$$- \theta_{CC} \cdot \alpha_{CCCP} - \theta_{C2} \cdot \alpha_{CPC2};$$
$$P_{C2} = \theta_{C2}(\alpha_{CPC2} + \alpha_{C2Bi} + \alpha_{C2Bp} + \alpha_{C2Bd}) -$$
$$- \theta_d \cdot \alpha_{C2Bd} - \theta_{CP} \cdot \alpha_{CPC2} - \theta_p \cdot \alpha_{C2Bp} - \theta_i \cdot \alpha_{C2Bi};$$
$$P_{CC} = \theta_{CC}(\alpha_{CCBb} + \alpha_{CCBc} + \alpha_{CCOB} + \alpha_{CCBd} + \alpha_{CCBK} +$$
$$+ \alpha_{CCCP}) - \theta_b \cdot \alpha_{CCBb} - \theta_c \cdot \alpha_{CCBc} - \theta_{voz} \cdot \alpha_{CCOB} -$$
$$- \theta_d \cdot \alpha_{CCBd} - \theta_{BK} \cdot \alpha_{CCBK} - \theta_{CP} \cdot \alpha_{CCCP};$$

Вычисление температур реализуется в среде MATLAB после преобразования данных уравнений в матричную форму вида:

$$|P| = |\lambda| \cdot |\theta|$$

где: $|\lambda|$ – квадратная симметричная матрица взаимных и собственных проводимостей схемы размерностью 21x21, $|\theta|$ – матрица-столбец неизвестных температур размерностью 21x1, $|P|$ – вектор приведенных источников теплоты.

Решение уравнения имеет вид:

$$|\theta| = |P| \times |\lambda|^{-1}$$

где: $|\lambda|^{-1}$ – обращенная матрица проводимостей.

Разработанная математическая модель позволяет определять температуры основных узлов АТЭД. Распределение температур по узлам с помощью модели представлено в табл.1. Однако отсутствие статистических данных для АТЭД НТА-1200 не позволяет рассчитать погрешность вычислений.

Таблица 1

Значения температур узлов асинхронного тягового электродвигателя НТА-1200 рассчитанные по тепловой модели

Узел АТЭД	Условное обозначение узла	Температуры, рассчитанные методом моделирования ^{0}C
Статор	θ_{CC} θ_{C1} θ_{CP} θ_{C2}	93,4 143,1 149,9 147,3
Ротор	θ_{RC} θ_{R1} θ_{RP} θ_{R2}	168,5 167,4 174,8 171,3
Станина	θ_0	62,0
Температура входа	θ_a	20,4
Температура выхода	θ_d	34,2

Применение данной математической модели для систем диагностики и мониторинга АТЭД в электровозах, позволит получать полную картину температурного поля внутри асинхронных тяговых электродвигателей в период эксплуатации.

Отслеживание текущего состояния АТЭД позволит обеспечить его защиту от возможных аварийных режимов, а также будет иметься возможность осуществления прогнозирования его остаточного жизненного ресурса. Применение данной модели позволит существенно снизить затраты, связанные с устранением отказов и постановкой на внеплановые ремонтно-восстановительные работы.

Список литературы

1. Грищенко А.В., Козаченко Е.В. Новые электрические машины локомотивов: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 271 с.
2. Меерзон Ю.М. Анализ технического состояния тяговых двигателей, Научно-техническая конференция «Повышение ресурса тяговых электродвигателей», 2004, с. 15-19.
3. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах: Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат, 1986.-256с.
4. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учебник для вузов по спец. «Электромеханика».- М.: Высш. шк., 1989.- 239 с.

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АДАПТАЦИЕЙ К ИЗМЕНЕНИЮ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Дроздов В.С.

Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: friendonly@rambler.ru

Функционирование электромеханических систем (ЭМС) многих промышленных механизмов сопровождается нестабильностью статического и динамического моментов нагрузки, амплитуды питающего напряжения силового импульсного преобразователя и т.д. Для получения желаемого качества процесса управления требуется компенсировать нестационарность такого рода возмущений. Один из вариантов решения задачи предложен в [1].

В качестве исполнительного двигателя ЭМС часто используется синхронный двигатель или бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения силового преобразователя [2, 3]. При использовании БДПТ силовой модуль преобразования электрической энергии в механическую энергию обозначается, как «силовой коммутатор – БДПТ».

Синтезировать параметры регулятора таких систем «силовой коммутатор – БДПТ» предлагается в пространстве состояний дискретной нестационарной системы. Целесообразно организовать субоптимальный регулятор, обеспечивающий экстремальность назначенного критерия качества на определенном интервале времени. К таким регуляторам можно отнести локально-оптимальный регулятор, минимизирующий ошибку регулирования на фиксированном интервале $T_{ШИМ}$ коммутации ШИМ. Критерий качества для такого регулятора может быть записан следующим образом:

$$G_0 = \int_{t}^{t+T_{ШИМ}} z_0^T(t) W_0 z_0(t) dt \to \min \qquad (1)$$

где $z_0(t)$ – вектор рассогласования; W_0 – весовая матрица, которая в частном случае может быть равна единичной $W_0 = I$.

Длительность функционирования системы «силовой коммутатор–БДПТ» во временном пространстве разбивается точками t_0, t_1, …, t_j на интервалы дискретности ШИМ, значения которых равны: $T_{ШИМ}=t_{j+1}-t_j$, где j – целое действительное число. Наиболее корректной моделью таких электромеханических систем с дискретным управлением является модель в пространстве состояний.

$$\dot{x}(t) = A_{(n)}(t, l=1)x(t) + B_{(n)}(t, l=1)u(t) \qquad (2)$$

при $t \in \left[t_j, t_j + \tau_j\right]$,

$$\dot{x}(t) = A_{(n)}(t, l=0)x(t) + B_{(n)}(t, l=0)u(t)$$

при $t \in \left[t_j + \tau_j, t_j + T_{ШИМ}\right]$, $t = jT_{ШИМ}$.

Измеряемые или выходные переменные электромеханической системы при определенных допущениях можно представить уравнением:

$$y(t)=c^T x(t), \qquad (3)$$

где c^T – вектор-строка, отражающий включение в состав $y(t)$ измеряемых компонент вектора $x(t)$ состояния.

Задачу управления можно поставить как задачу выбора такой последовательности значений τ_0, τ_1, …, τ_j,…, при которых в установившемся режиме на каждом интервале времени $T_{ШИМ}$ величина $y(t)$ будет незначительно отличаться от некоторого заданного вектора y^*, т.е. выполняться неравенство:

$$\left|y(t) - y^*\right| < \varepsilon, \qquad (4)$$

где ε – некоторое заданное малое число.

В результате преобразований можно получить модель объекта, дискретизированную на интервале ШИМ:

$$x(j+1) = F_{(n)}(\tau_j)x(j) + h_{(n)}(\tau_j), \quad j = 0,\ 1,\ 2... \qquad (5)$$

Поставленная задача управления состоит в том, чтобы, начиная с некоторого j-го такта, выполнялось неравенство (4) .

Приведем некоторые общие соображения для решения данной задачи:

1. Значение y^* должно быть достижимым.
2. Система (5) должна быть устойчивой
3. Выход системы (2) должен быть регулируемым.
4. Предполагается, что величина интервала $T_{ШИМ}$ меньше постоянных времени подсистем (2).

В результате решения задачи получаем

$$p(x) = \frac{(y^* - q_{(n)0}(x))}{q_{(n)1}(x)}, \qquad (6)$$

где $p(x(j))$ – коэффициент передачи широтно-импульсного модулятора, определяющий локально-оптимальный закон управления.

Длительность импульса τ_j выходного напряжения ШИМ будет определяться согласно уравнению:

$$\tau_j = k_{ШИМ} \cdot \frac{(y^* - q_{(n)0}(x))}{q_{(n)1}(x)}. \qquad (7)$$

Рассматривая случай непостоянства питающего напряжения, возникает необходимость применения корректирующей структуры, которая изменяет длительность импульса τ_j выходного напряжения ШИМ.

В общем виде такая логика может быть записана следующим образом:

$$k_{ШИМ}(t) = g(d^T \cdot u(t)). \qquad (8)$$

где d – вектор-столбец, отражающий контролируемость внешних возмущений; $g(\ )$ – корректирующая функция.

Функциональная схема системы управления БДПТ с использованием коррекции коэффициента чувствительности ШИМ изображена на рис. 1.

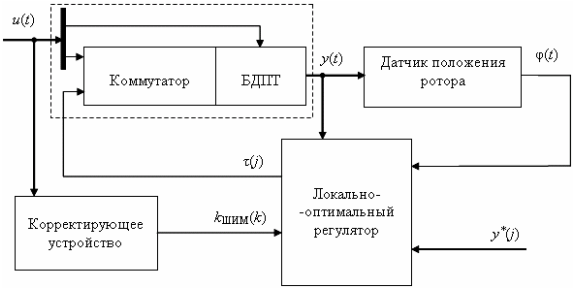


Рис. 1. Функциональная схема системы управления БДПТ с локально-оптимальным регулятором и коррекцией коэффициента чувствительности ШИМ

Для компенсации возмущающих воздействий со стороны источника питания и технической возможности измерения напряжения питания, вектор-столбец d принимает вид:

$$d = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \qquad (9)$$

Вариант структуры системы управления БДПТ с адаптацией входного сигнала ШИМ представлен на рис. 2.

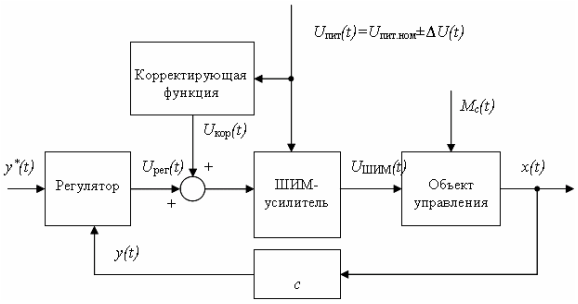


Рис. 2. Включение корректирующей функции в структуру системы управления БДПТ

В приведенном варианте структуры системы управления используется линейная часть характеристики ШИМ. Это возможно при условии, что период $T_{ШИМ}$ модулятора значительно меньше малых постоянных времени объекта управления, и ШИМ может быть представлен пропорциональным звеном с коэффициентом усиления k_y.

Для номинального режима работы БДПТ выходной сигнал ШИМ-усилителя записывается уравнением:

$$U^*_{ШИМ}(t) = k_y \cdot U_{питном} \cdot U_{рег}(t). \qquad (10)$$

Тогда, из условия равенства желаемого и реального выходного сигнала ШИМ-усилителя

$$\frac{U_{рег}(t) + U_{кор}(t)}{U_{рег}(t)} = \frac{U_{питном} + \Delta U(t)}{U_{питном}} = \frac{U_{пит}(t)}{U_{питном}}. \qquad (11)$$

Выражение (11) определяет усиление выходного сигнала регулятора корректирующим устройством.

Для доказательства работоспособности и эффективности предложенного варианта коррекции чувствительности ШИМ на величину номинального напряжения питания «силовой коммутатор – БДПТ» накладывалась переменная составляющая: $\Delta U(t) = \pm\ 0{,}2 \cdot U_{пит.ном}$. Частота этой переменной составляющей равна f=200Гц.

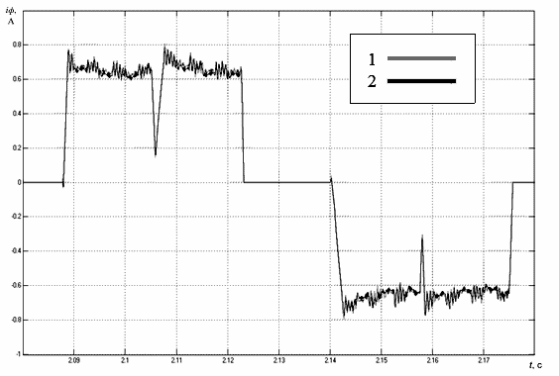


Рис. 3. Фазный ток БДПТ в системе управления с коррекцией чувствительности ШИМ: 1 – без компенсации возмущения, 2 – с компенсацией возмущения

В сигнале фазного тока (рис. 3) БДПТ наблюдается переменная составляющая с частотой 200 Гц, обусловленная возмущением со стороны источника питания. При использовании компенсации возмущающего воздействия за счет коррекции коэффициента чувствительности ШИМ амплитуда переменной составляющей значительно уменьшается, т.е. снижается влияние возмущения со стороны источника питания.

Список литературы

1. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. – М.: Наука, 1980 г., 243 С.
2. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) – СПб.: КОРОНА-Век, 2006 г., 336 С.
3. Figueroa J., Brocart C., Cros J., Viarouge P. Simplified simulation methods for polyphase brushless DC motors//Mathematics and Computers in Simulation. Vol. 63. Issues 3–5, 2003 г. P. 209–224.

ВЫБОР ВАРИАНТА САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Егоров А.А.

Научный руководитель: Попов В.И., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: egor.v@sibmail.com

Зарядка емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) требует специальных зарядных устройств. При разработке таких устройств одним из основных критериев оценки является получение максимального КПД.

Зарядные устройства работают в циклическом режиме. Рассмотрим работу такого устройства. Один цикл работы зарядного устройства состоит из времени зарядки емкости, когда генератор отдает энергию в накопитель и времени паузы, за которое генератор накапливает кинетическую энергию. Чем быстрее за время цикла зарядится емкость накопителя, тем большее количество кинетической энергии запасут маховые массы генератора за время паузы. Поэтому для привода генератора можно использовать менее мощный двигатель.

Известно, что максимальный КПД зарядки ЕНЭ достигается при протекании неизменного по величине зарядного тока. Напряжение на ЕНЭ при этом возрастает линейно. Данный режим работы можно обеспечить путем применения ненасыщенного высоковольтного синхронного генератора с регулятором возбуждения. Регулятор напряжения должен обеспечить линейное нарастание тока возбуждения.

Рассмотрим возможные схемы форсированного самовозбуждения такого генератора:

На рис.1 представлена схема, предложенная в источнике [1].

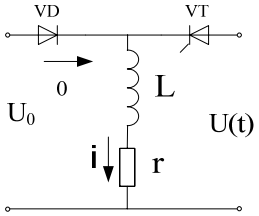


Рис. 1. Схема форсировки возбуждения с одной обмоткой индуктора

Перед форсировкой на обмотку возбуждения (ОВ) через вентиль VD от независимого источника подается напряжение U_0 с тем, чтобы обеспечить в генераторе небольшой поток возбуждения (1÷3% от номинального). Это соответствует небольшому напряжению генератора U(t). От этого напряжения генератора конденсаторы накопителя зарядятся только до напряжения U_{C0}. Затем при открытии тиристора VT на обмотку возбуждения ОВ подается напряжение от обмотки самовозбуждения, расположенной на якоре генератора. Подаваемое напряжение от обмотки самовозбуждения должно быть выше, чем начальное напряжение U_0, но той же полярности. Скачок напряжения будет равен $K_i L$, где K_i - скорость нарастания тока. При этом вентиль В закрывается. Начинается процесс форсированного самовозбуждения генератора.

Закон изменения форсированного напряжения U(t) на зажимах цепи r,L определяется из условия, что ток форсировки должен меняться по линейному закону, то есть $i = K_i t$.

Напряжение изменяется по закону

$$U(t) = U_0 + K_i r \cdot (t + T)$$

При этом ток в цепи должен изменяться по закону

$$i = i_0 + K_i t_\phi$$

Второй вариант схемы форсировки возбуждения представлен на рис.2 Данная схема подробно описана в [2].

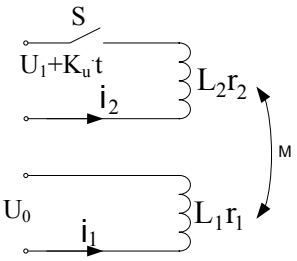


Рис. 2 Схема форсировки возбуждения с двумя обмотками индуктора при равных параметрах

Схема представленная на рис. 2, состоит из двух одинаковых обмоток возбуждения. Одна обмотка может быть запитана от постороннего источника, а другая через выпрямитель от обмотки самовозбуждения, уложенной на статоре своего же генератора.

Третий вариант схемы возбуждения генератора представлен на рис. 3.

До начала форсировки возбуждения задействована обмотка с параметрами r_1 и L_1, составляющая как бы часть обмотки с параметрами r_2 и L_2 . Напряжение на ней равно U_0. После замыкания ключа S, на ОВ подается напряжение от обмотки самовозбуждения. Под действием этого напряжения вен-

тиль VD2 закрывается. Начинается процесс форсированного самовозбуждения генератора.

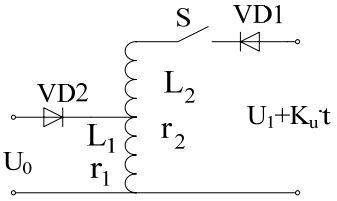


Рис. 3. Схема форсированного возбуждения с двумя электрически и магнитно связанными обмотками индуктора

Переходный процесс форсировки возбуждения в индукторной системе, для схем представлены на рис. 2 и рис. 3. описывается уравнениями:

$$U_0 = i_2 \cdot r_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt} \qquad (1)$$

$$U_1 + K_u \cdot t = i_1 \cdot r_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + M \cdot \frac{di_2}{dt} \qquad (2)$$

В уравнениях (1) и (2):

L_1 и L_2 – индуктивности обмоток возбуждения, Гн; r_1 и r_2 – омические сопротивления обмоток возбуждения, Ом; M – коэффициент взаимоиндукции между обмотками возбуждения, Гн; K_u – скорость нарастания форсировочного напряжения, В/с; $t_ф$ – время (длительность) форсировки, с; U_0 – напряжение начального (остаточного) возбуждения, В.

При этом известно, что $\frac{L_1}{r_1} = T_1$ и $\frac{L_2}{r_2} = T_2$ – постоянные времени протекания электромагнитных процессов в обмотках возбуждения, $K = \sqrt{\frac{M^2}{L_1 \cdot L_2}}$ - коэффициент связи.

Уравнения для токов i_1 и i_2 будут иметь следующий вид

$$i_1(t) = \frac{-(p_2 \cdot A - K_u \cdot C) \cdot B}{r_1 \cdot D} \cdot e^{p_1 \cdot t} +$$

$$+ \frac{(p_1 \cdot A - K_u \cdot B) \cdot C}{r_1 \cdot D} \cdot e^{p_2 \cdot t} + \frac{K_u \cdot (t - T_1) + U_1}{r_1}$$

$$i_2(t) = \frac{(p_2 \cdot A - K_u \cdot C) \cdot M \cdot p_1}{r_1 \cdot r_2 \cdot D} \cdot e^{p_1 \cdot t} -$$

$$- \frac{(p_1 \cdot A - K_u \cdot B) \cdot M \cdot p_2}{r_1 \cdot r_2 \cdot D} \cdot e^{p_2 \cdot t} - \frac{M \cdot K_u}{r_1 \cdot r_2} + \frac{U_0}{r_2}$$

где, $A = U_1 - K_u \cdot T_1$, $B = p_1 \cdot T_2 + 1$, $C = p_2 \cdot T_2 + 1$,

$$D = p_2 - p_1,$$

$$p_1 = \frac{-(T_1 + T_2) + \sqrt{(T_1 + T_2)^2 - 4 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (1 - K^2)}}{2 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (1 - K^2)}$$

$$p_2 = \frac{-(T_1 + T_2) - \sqrt{(T_1 + T_2)^2 - 4 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (1 - K^2)}}{2 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot (1 - K^2)}$$

Все представленные схемы обеспечивают линейное нарастание потока возбуждения в ненасыщенном генераторе при его форсировке. Для оценки наилучшего варианта схемы форсированного самовозбуждения в табл.1 приведены расчеты затрат энергии до одного и того же уровня форсированного потока. Расчеты проведены по формулам:

для схемы по рис.1

$$W = \int_0^{t_ф} (i_0 + K_i \cdot t_ф)^2 \cdot r_1 dt$$

для схемы по рис. 2 и рис. 3

$$W = \int_0^{t_ф} i_1^2(t) \cdot r_1 dt + \int_0^{t_ф} i_2^2(t) \cdot r_2 dt$$

Таблица 1

Результаты расчетов затрат энергии при форсировке возбуждения

Схемы	1	2	3
r_1,Ом	2	2	2
r_2,Ом	-	2	4
L_1,Гн	0.4	0.4	0.4
L_2,Гн	-	0.4	1,6
U_0,В	20	20	20
K_u,В/с	20	20	20
$t_ф$,с	2	2	2
W, Дж	1733	1613	1504

Очевидно, для третьего варианта схемы потери на возбуждение будут наименьшими, что особенно важно в условиях автономной работы генератора.

Список литературы

1. Есин П.С. Моделирование процессов зарядки емкостных накопителей энергии от высоковольтного генератора. Магистерская диссертация. ТПУ, 2010.
2. Вотинов Д.Е, Попов В.И.Автономный генератор для заряда емкостного накопителя энергии. Магистерская диссертация. ТПУ, 2005.

АДАПТИВНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ДОЗАТОР ЖИДКОСТИ

Емельянова О.В., Яцун С.Ф.

Научный руководитель: Яцун С.Ф., д.т.н., профессор
Юго-Западный государственный университет
E-mail:teormeh@inbox.ru

В настоящей работе рассматривается дозатор, предназначенный для отмеривания и выдачи определенного объема жидкости заданной плотности в виде дискретных микропорций. Примером дозируемых жидкостей являются маловязкие среды, такие как водные растворы, бензин.

Конструктивные схемы, размеры и производительность дозаторов, довольно разнообразны, а диапазон их применения чрезвычайно широк [1,2]. Последние годы интерес к высокоточному дозированию возрастает в связи с широким применение микро, а в перспективе и нано- дозирующих устройств. Такие системы дозирования находят применением в фармокологии, медицине и других областях. Исполнительные элементы таких дозаторов, предъявляют особые требования к приводам, которые должны обеспечивать высокую скоростью перемещения запирающей иглы клапана. Электромагнитные приводы наилучшим образом подходят для управления потоками жидкостей т.к. обладают большим быстродействием, герметичностью по сравнения с пневмоуправляемыми [1]. Однако их недостатком является отсутствие жесткой кинематической связи между якорем и статором электромагнитного привода, что может приводить к заклиниванию и остановке иглы клапана дозатора [3].

Применяемое программное управление [4] не обеспечивает движение исполнительного элемента (иглы клапана дозатора) по заданному закону (рисунок 1).

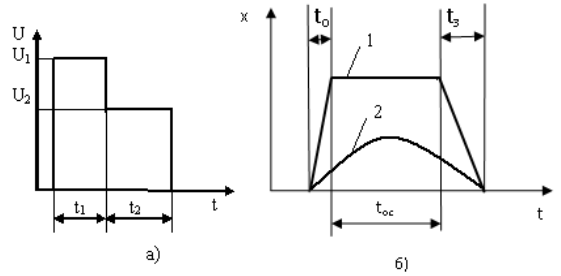


Рис. 1. Графики зависимости ступенчато-прямоугольной формы управляющего импульса, подаваемого на катушку электромагнитного клапана (а) и перемещения иглы клапана дозатора (б) от времени: : t_0, $t_з$, $t_{ос}$ -время открытия; закрытия и открытого состояния клапана дозатора соответственно; 1 – заданный закон движение, 2 – реальный закон движения; U_1,U_2, t_1,t_2 – управляющие параметры

На рис. 1а показан вид управляющего напряжения, поступающего на обмотку катушки электромагнита. Напряжение U_1 действующее за время t_1 необходимо для открытия запирающей иглы клапана дозатора за время t_0 (рис.1б), а напряжение U_2 – для поддержания запирающей иглы клапана в открытом состоянии за время t_2, т.е $t_1+ t_2= t_0+ t_{oc}$. При снятии напряжения с катушки электромагнита, магнитный поток, уменьшается и запирающая игла клапана, за время $t_з$, под действием силы упругости пружины движется вниз, перекрывая выходное отверстие дозатора.

Описанный алгоритм реализуется следующим образом:

$$u_{опт}(t)=\begin{cases}U_1, & t\in t_1\\ U_2, & t\in t_2\end{cases}.$$

На рисунке 1б показана диаграмма отклонения заданного (кривая 1) и реального (кривая 2) закона движения иглы клапана дозатора. Из-за наличия в жидкости мелких включений и, как следствие, возникновения сил сухого трения в направляющих клапана дозатора, происходит существенное отклонение реального закона движения клапана дозатора.

Для устранения данного недостатка предлагается использовать активный дозатор, т.е. дозатор с замкнутой системой управления [5]. Схема такого устройства представлена на рисунке 2.

Устройство состоит из корпуса 1, неподвижно установленного в корпусе статора электромагнита 2 с катушкой 3, подвижного якоря 4, жестко связанного с запирающей иглой 5, и упруго подвешенного на пружинах 6. В корпусе 1 установлены упругие ограничители 7, и датчик перемещения 8. Система управления включает в себя электрически связанные аналого-цифровой преобразователь 9, микроконтроллер 10, задающее устройство 11 и усилитель мощности (драйвер) 12 электромагнита.

Устройство работает следующим образом. При подаче напряжения на обмотку катушки 3 электромагнита, якорь 4, жестко связанный с запирающей иглой 5 открывает выходное отверстие дозатора и жидкость под давлением поступает в окружающую среду. Ход запирающего конуса иглы 5 составляет δ.

Сигнал с электронного датчика перемещения 8 поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 9, затем сигнал обрабатывается микроконтроллером 10, где сравнивается текущее положение иглы 5 клапана с заданным и определяется отклонение (ошибка) (рисунок 3) по формуле:

$$\Delta=x_{задан}-x_{реал}.$$

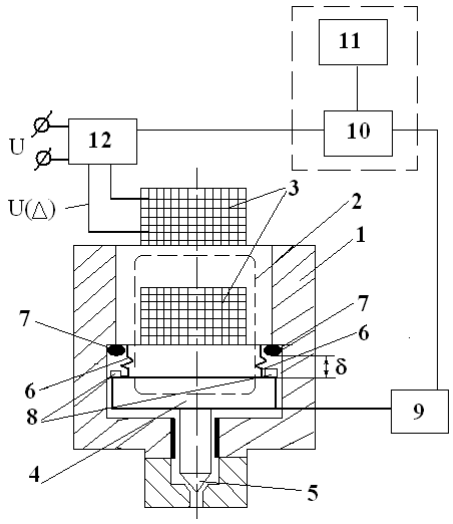


Рис. 2. Устройство для автоматического дозирования жидкости

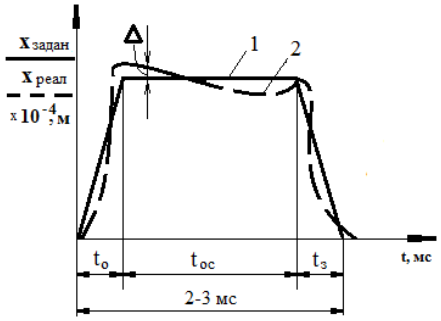


Рис. 3. График зависимости задающего (1) и реального (2) закона движения клапана дозатора от времени: Δ – отклонение заданного закона движения от реального

По величине ошибки микроконтроллер 10 вырабатывает управляющие сигналы на усилитель мощности (драйвер) 12, который выдает управляющее напряжение на катушку 3 электромагнита, используя стратегию ПИД-регулятора с пропорциональным, интегральным и дифференциальным коэффициентами k_1; k_2; k_3 соответственно (рис.3). Отсюда, управляющее электромеханическим приводом напряжение питания *U (*Δ**)** будет формироваться следующим образом:

$$U(\Delta) = k_1 \Delta + k_2 \frac{d\Delta}{dt} + k_3 \int \Delta dt.$$

Параметры k_1; k_2; k_3 определяются путем синтеза по критерию минимальной невязки от заданного переходного процесса.

Данная система автоматического управления обеспечивает высокоточное перемещение иглы клапана дозатора по заданному закону. При превышении отклонением некоторого предельного уровня происходит отключение системы дозирования. Алгоритм оптимального управления инвариантен по отношению к возмущениям и нестационарности параметров электромагнитного привода дозатора, что позволяет управлять дозированием с высокой степенью точности и обеспечить гарантированный расход жидкости через клапан.

Список литературы

1. Соколов М.В., Гуревич А.Л. Автоматическое дозирование жидких сред. -Л.: Химия, 1987.
2. Системы впрыска легковых автомобилей: эксплуатация, диагностика./ В.И.Ерохов.-М.: ООО «Издательство Астрель», 2003.- 159 с.
3. Яцун С.Ф., Жусубалиев Ж.Т., Титов В.С., Чевычелов С.Ю. Анализ динамики поршня прецизионного дозатора жидких сред. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 1. С. 70-75.
4. Яцун С.Ф., Лушников Б.В. Емельянова О.В. Исследование влияния параметров импульсного управления на характер движения иглы прецизионного дозатора// Известия Самарского научного центра Российской академии наук Президиум СНЦ РАН, 2009.-С.155-159.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления/ В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с. – (Серия: Специалист).

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЭЛЕТКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Жидков А.П., Ляпунов Д.Ю.

Научный руководитель: Данекер В.А., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: andrew045@sibmail.com

Микроэлектромеханический датчик перемещения служит для обеспечения срабатывания устройств безопасности транспортных средств. К таким датчикам относится емкостные акселерометры, которые позволяют определить положение, перемещение, ускорение и многие другие величины. Емкостные акселерометры получили наиболее широкое распространение благодаря их высокой чувствительности, стабильности при детектировании статического ускорения, малого дрейфа, низкой температурной чувствительности, малой потребляемой мощности, высокой надежности, хорошим шумовым свойствам, удовлетворительному разрешению и точности, низкой цене.

Принцип действия емкостного акселерометра основан на изменении электрической емкости меж-

ду чувствительным элементом и обкладкой под действием ускорения. Большинство MEMS – акселерометров использует принцип, согласно которому ускорение изменяет расстояние d между чувствительным элементом и обкладкой и, таким образом, емкость конденсатора. Датчик преобразует изменение емкости акселерометра в выходной сигнал – электрический заряд, напряжение или ток.

Типичный емкостной сенсорный элемент состоит из двух фиксированных электродов – между ними подвешена подвижная обкладка, нагруженная инерционной массой, которая представляет собой общий электрод емкостного полумоста.

Дифференциальный режим соединения двух конденсаторов C1 и C2 позволяет увеличить амплитуду и улучшить линейность сигнала, так как зависимость емкости от перемещения является нелинейной. Пояснить данное утверждение поможет известное выражение для емкости плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d},$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала; ε_0 – диэлектрическая постоянная; S – площадь перекрытия обкладок; d – расстояние между обкладками.

Многие преимущества и недостатки емкостных датчиков вытекают из их физической природы [1, 2].

Динамическая модель акселерометра представляет собой колебательную систему с коэффициентом демпфирования λ «пружина-масса-демпфер» и описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$m \cdot \ddot{x} + \lambda \cdot \dot{x} + kx = ma \quad \text{или} \quad \frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega} \cdot \frac{dx}{dt} + x = \frac{F}{k},$$

где $\xi = \frac{\lambda}{2 \cdot \sqrt{km}}$ – декремент затухания, F – внешняя сила, и решается через преобразования Лапласа или методами численного интегрирования.

Из выражения для чувствительности акселерометра: $S = \frac{x}{a} = \frac{m}{k} = \frac{1}{\omega_0^2}$ видно, что существует взаимосвязь между шириной полосы пропускания (динамическим диапазоном) и чувствительностью емкостного акселерометра. В зависимости от коэффициента демпфирования, частотная полоса пропускания акселерометра обычно находится в диапазоне 0,2-0,5 от резонансной частоты ω_0.

Для достижения оптимальной рабочей частотной полосы декремент затухания ξ выбирается равным $\sqrt{2}/2$ [3,4]. Демпфирование регулируется давлением газа в корпусе устройства и геометрией инерционной массы.

За базовую принята модель акселерометра ADXL 150, которая представляет собой колебательное звено.

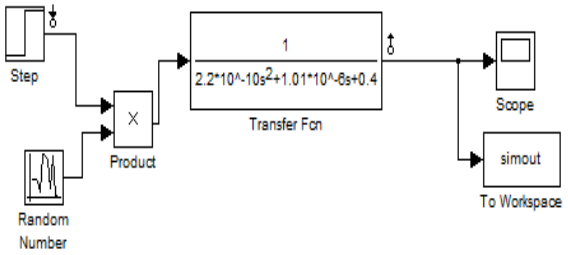


Рис. 1. Имитационная модель емкостного акселерометра

На вход данной модели подается усилия. При этом учитывается уровень шума 5%. В процессе моделирования варьируются следующие параметры конструкции: масса m, жесткости k, коэффициент демпфирования b. В результате оцениваются показатели качества переходного процесса, что позволяет подбирать параметры емкостного акселерометра, обеспечивающие на наилучшее быстродействие и наименьшее перерегулирование. В таблице 1 приведены результаты моделирования акселерометра.

Таблица 1

Параметры акселерометра ADXL 150 и его показатели качества

m, кг $\cdot 10^{-10}$	b, (Н·с/м) $\cdot 10^{-6}$	k, Н/м	$t_{пп}$, с $\cdot 10^{-3}$	перерегулирование,σ %	период колебаний $\cdot 10^{-3}$,с
2,2	1,01	0,4	1,27	84,4	0,151

число колебаний	время достижения первого максимума $\cdot 10^{-3}$	полоса пропускания по модулю, рад/с	полоса пропускания по фазе, рад/с
8	0,0737	67000	43000

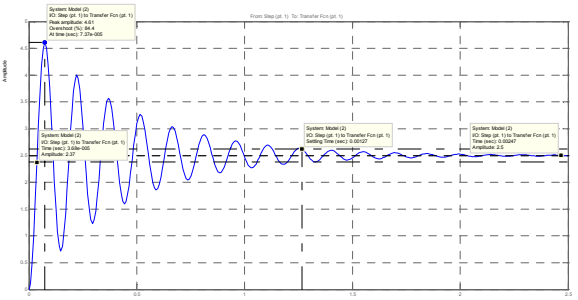


Рис. 2. График переходной характеристики акселерометра ADXL150

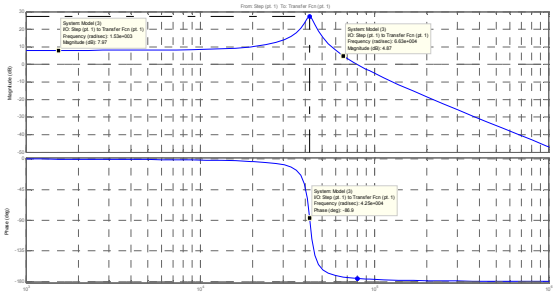


Рис. 3. ЛЧХ акселерометра ADXL150

Также производилось исследование акселерометра при входных синусоидальном и стохастическом сигналах. Зависимости перемещения обкладок акселерометра от времени приведены на рис. 4 и 5.

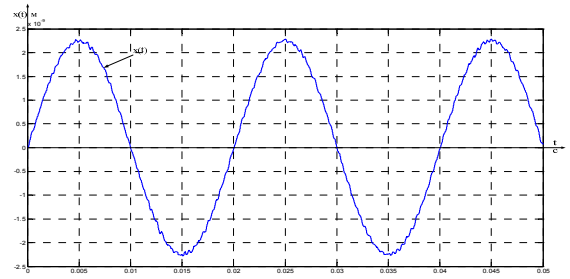


Рис. 4. Зависимость перемещения обкладки акселерометра от времени при входном синусоидальном сигнале

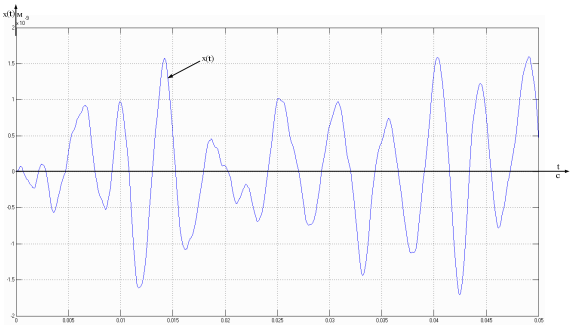


Рис. 5. Зависимость перемещения обкладки акселерометра от времени при входном стохастическом сигнале

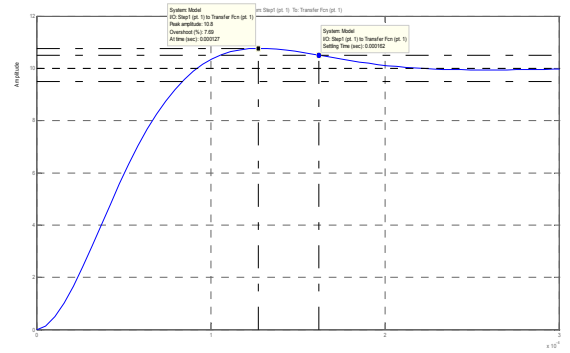


Рис. 6. График переходной характеристики при измененных параметрах акселерометра ADXL 150

При значениях $m = 1 \cdot 10^{-10}$ кг, $k = 0{,}1$ Н/м, $b = 4 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м был получен следующий график переходного процесса (рис. 6).

Видно, что перерегулирование практически отсутствует. Кроме того быстродействие модели повышается по отношению к базовой.

Таким образом, для увеличения быстродействия акселерометра необходимо:

1. Уменьшить инерционную массу;
2. Снизить коэффициент жесткости;
3. Увеличить коэффициент демпфирования.

От коэффициента жесткости будет зависеть амплитуда перемещения инерционной массы емкостного акселерометра. Для того чтобы осуществить перемещение подвижной обкладки 20нм нужно, чтобы усилие внешнее составляло 8 нН. При изменении коэффициента жесткости меняется амплитуда перемещения обкладки. Кроме того усилие, необходимое для создания данного перемещения тоже изменяется.

При синусоидальном и стохастическом сигнале достаточно увеличить параметры акселерометра ADXL 150, но куда более значительно, чем при импульсном сигнале, чтобы снизить уровень шума. Значения массы, демпфирования и жесткости необходимо увеличивать на один порядок и выше.

Список литературы

1. An Overview of MEMS Inertial Sensing Technology. Bernstein J., Corning-IntelliSense Corp. Sensors Magazine, Feb 2003 [Электронный ресурс], режим доступа: http://www.sensorsmag.com/articles/0203/14/main.shtml.
2. Magnetostrictive device. US Patent 5 982 054. Опубликован 9.11.1999. (TDK Corporation).
3. High-resolution micromachined interferometric accelerometer. Cooper E. B., Post E. R., Griffith S. и др., Massachusetts Institute of Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.media.mit .edu/nanoscale/courses/readings/APL ID accel.pdf.
4. Accelerometer. US Patent 5 345 823. Опубликован 13.09.1994 (Texas Instruments Inc).

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Займукова Е.А., Шеболтаева Е.В.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kzaimykova@mail.ru

Многообразие задач, решаемых с помощью космических аппаратов (КА), способствовало созданию большого их количества различного функционального назначения. КА должны быть оснащены системами ориентации, составной частью которых являются управляющие устройства – исполнительные органы (ИО).

На сегодняшний день актуальной проблемой является выбор исполнительного органа системы ориентации КА, исходя из требований снижения массогабаритных показателей, обеспечения высокой надежности в условиях полета и минимального потребления энергии.

При разработке систем ориентации и стабилизации углового положения малых и средних КА

для геостационарной орбиты, рассчитанных на длительное существование, в качестве электромеханических исполнительных органов применяются силовые гироскопические комплексы, трех- или двухстепенные силовые гиростабилизаторы и управляемые по скорости двигатели – маховики (УДМ).

ИО на базе силовых гироскопов или УДМ применяются для управления ориентацией маневренных КА, для которых кинетический момент меняется от 1 до 50 Нмс. Управление ориентацией осуществляется с их помощью за счет перераспределения кинетического момента между исполнительным органом и корпусом КА. При этом изменение кинетического момента силовых гироскопов производится за счет изменения положения главных осей роторов с помощью активных моментных устройств, размещенных на осях карданова подвеса и включенных в регулирующие цепи системы ориентации, а управляющих двигателей-маховиков – за счет изменения числа оборотов ротора.

Отличия в принципе действия существенно влияют на динамические характеристики системы ориентации и, следовательно, имеют разные области применения. В частности силовые гироскопы используются в основном на крупногабаритных и высокодинамичных КА, а УДМ – на небольших и маломаневренных КА. Эффективность использования того или иного ИО зависит от требований надежности, точности обеспечения ориентации и стабилизации КА, а также необходимости нормального функционирования в условиях отказов системы управления [3].

Силовые гироскопы имеют очевидные достоинства перед остальными типами ИО благодаря их свойству усиливать управляющий момент. К тому же ИО на силовых гироскопах имеют преимущество по массогабаритным характеристикам и энергопотреблению.

Различают ИО на базе двухстепенного силового гироскопа и ИО на базе трехстепенного гироскопа. Основой их является осесимметричный гиромаховик, обладающий довольно значительной массой по сравнению с маховиками приборов и устройств наземного использования [1].

Среди инерционных ИО различают управляемые и неуправляемые стабилизаторы. Последние несут на осях подвеса только пассивные моментные устройства (пружины, демпферы), скорость вращения их роторов не регулируется, развиваемый ими управляющий момент образуется естественным путем при угловых движениях КА и не требует дополнительных затрат энергии кроме той, которая расходуется на поддержание постоянной скорости вращения роторов вокруг их главных осей. Неуправляемые стабилизаторы иногда называют также пассивными в отличие от активных (управляемых), у которых расход энергии связан с созданием управляющего момента [2].

Несмотря на простоту и экономичность, неуправляемые гиростабилизаторы имеют один недостаток принципиального характера: они не способны увеличивать механическую энергию системы «КА – ИО», поэтому с одной их помощью нельзя осуществить программное управление КА. При использовании управляемых стабилизаторов таких ограничений не возникает.

Основными элементами одноосного силового гиростабилизатора (рис. 1) являются гирокамера 1 с ротором; рама 2, играющая роль наружного карданова кольца и жестко связанная со стабилизируемым объектом; датчик угла 3, установленный на оси прецессии Ox; усилитель 4. Стабилизирующий двигатель 5 предназначен для приложения относительно оси стабилизации Oη моментов, компенсирующих действующие на раму внешние возмущающие моменты. Маятник-корректор 6 и датчик моментов 7 являются элементами системы коррекции гиростабилизатора.

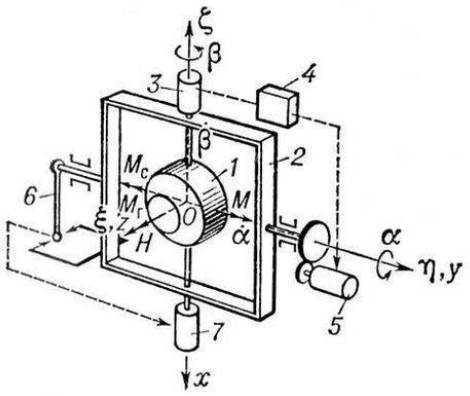


Рис. 1. Схема одноосного силового гиростабилизатора с одним гироскопом

При действии внешнего возмущающего момента M, стремящегося повернуть раму вокруг оси Oη, гирокамера 1 по свойствам гироскопа начнёт прецессировать вокруг оси Oζ. При этом возникает гироскопический момент $M_г$, противодействующий моменту M. В дальнейшем при повороте гирокамеры вокруг оси Oζ на некоторый угол β датчик угла 3 через усилитель 4 включит стабилизирующий двигатель 5, прикладывающий относительно оси Oη момент стабилизации M_c, противоположный моменту M. В результате гирокамера начнёт прецессировать в обратном направлении и остановится (при постоянной величине M) в положении, для которого $M_c+M=0$. Таким образом, в силовом гиростабилизаторе гироскоп осуществляет стабилизацию лишь в первый момент; в дальнейшем её обеспечивает стабилизирующий двигатель, что позволяет стабилизировать значительные массы при сравнительно небольшом весе и габаритах самого гироскопа.

Но все же наиболее распространенным типом является ИО на базе трехстепенных гироскопов. Это обусловлено лучшими показателями по массе и габаритам, а так же по потреблению энергии. К тому же трехстепенные гироскопы позволяют

улучшить структуру управляющих моментов, а при некотором усложнении их кинематики – практически устранить перекрестные связи от гироскопического момента, являющегося реакцией на угловые движения космического аппарата вокруг его центра масс при ориентации и программном маневрировании.

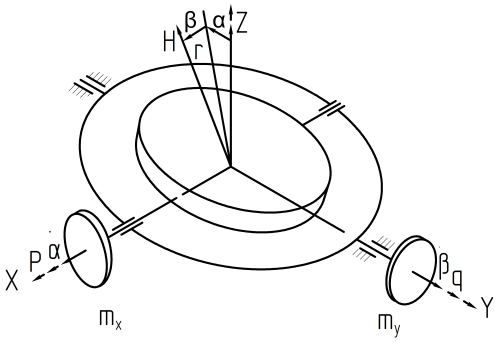


Рис. 2. Кинематическая схема ИО на базе трехстепенных гироскопов

По кинематической схеме ИО (рис. 2) можно описать принцип работы ИО на базе трехстепенных гироскопов. Гироскоп установлен в карданов подвес и его кинетический момент H направлен по оси Z. По осям карданова подвеса установлены моментные устройства активного или пассивного типа. Аналогично ИО на базе двухстепенных гироскопов, генерирование моментов по осям X, Y и Z осуществляется разными физическими принципами. Управление относительно оси Z производится изменением угловой скорости гиромаховика, в результате чего возникают реактивные моменты. Управление по осям X и Y – приложенными относительно осей подвеса моментами, программно изменяющими углы α и β. Вследствие этого численно равные и ортогонально направленные моменты будут прикладываться к корпусу КА и тем самым осуществляется угловое движение относительно его центра масс.

С повышением требований по точности ориентации КА, увеличению срока их активного существования характеристики ИО непрерывно совершенствуются – повышается точность, улучшаются массогабаритные характеристики, увеличивается ресурс. Прослеживаются явно выраженные тенденции совершенствования ИО на базе силовых гироскопов и двигателей-маховиков за счет увеличения скорости вращения и ресурса, улучшения их удельно-массовых характеристик, а также видоизменяются кинематические схемы.

Список литературы

1. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Наука, 1974.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПУСКА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В COMSOL MULTIPHYSICS

Замчалкин А.С.

Научный руководитель: Тюков В.А., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса 20

E-mail: Zamchalkin-alex@mail.ru

На сегодняшний день при моделировании неустановившихся режимов асинхронных двигателей (АД) широко используют метод конечных элементов (МКЭ). Главным образом это объясняется чрезвычайно сложным физическим процессом, протекающим в неустановившихся режимах АД. Нелинейная характеристика стали, наличие вихревых токов и т.д., значительно затрудняет, а в ряде случаев делает просто невозможным, в рамках классической теории электрических машин, получить достаточно точные временные зависимости токов и моментов. Как показывает практика электромашиностроительных предприятий, расхождение между результатами расчета пусковых токов и моментов с экспериментом в ряде случаев может достигать значительных величин.

Наиболее полную картину электромагнитных процессов протекающих в АД в динамических режимах, обеспечивает одновременное решение уравнений электромагнитного поля и уравнений электрических цепей (сильная связь). В данной работе при моделировании процесса пуска и короткого замыкания использовался COMSOL Multiphysics разработки Шведской компании COMSOL. Этот комплекс принципиально отличается от других программных продуктов предназначенных для решения задач математической физики, тем, что типовые формы уравнений в частных производных (PDE) обладают наибольшей общ-

ностью, и имеются неограниченные возможности их комбинирования при построении систем уравнений.

Уравнения Максвелла для плоскопараллельного электромагнитного поля (ЭП) низкочастотных электромагнитных устройств, выраженные через электродинамические векторный и скалярный потенциалы, при пренебрежении током смещения и свободными зарядами, имеют вид:

$$\sigma\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}+\nabla\times(\mu_0^{-1}\mu_r^{-1}\nabla\times\mathbf{A})-\sigma\mathbf{v}\times(\nabla\times\mathbf{A})=$$

$$=(\frac{\sigma\Delta V}{l}+L_z^e)e_z,\ \mathbf{A}=A(x,y)e_z\ L_z^e$$

где A – векторный магнитный потенциал, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, μ_r – относительная проницаемость, J_z - внешняя плотность тока по оси z (J_z обычно является неизвестной, так как её значение зависит от A и внешних элементов, связанных с проводником), l – длина, ΔV – разность потенциалов (обычно так же неизвестна), $\mathbf{v}$ – вектор скорости (учитывающий движение проводников в ЭП), σ – электрическая проводимость.

Удобно разделить поперечное сечение машины на подобласти:

а) Шихтованные участки стали и области занятые воздухом (при σ=0);

б) Пазы статора и ротора с обмоткой (обычно можно пренебречь эффектом вихревых токов, если размеры поперечных сечений проводников сопоставимы с глубиной проникновения электромагнитной волны при промышленной частоте);

в) Короткозамкнутая обмотка ротора (с учетом влияния вихревых токов);

г) Области занятые средой с $\sigma\neq0$.

В результате получаем систему уравнений (2):

$$\nabla\times(\mu_0^{-1}\mu_r^{-1}\nabla\times\mathbf{A})=$$

$$=\underbrace{0;\quad N_W i_W/S_W;\quad -\sigma\partial\mathbf{A}/\partial t+\sigma\Delta V/l;\quad -\sigma\partial\mathbf{A}/\partial t}_{\text{а,б,в,г}}$$

Движение ротора относительно статора учитывается через граничные условия в зазоре, поэтому член (**σv×B)** в системе уравнений (2) отсутствует. Вращение моделируется с использованием технологии деформируемой сетки (ALE), при этом центральная часть геометрической модели, состоящая из ротора и части воздушного зазора, вращается относительно статора. Вращение сетки задается уравнением трансформации:

$$\begin{bmatrix}x_{pom}\\ y_{pom}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos(\omega t) & -\sin(\omega t)\\ \sin(\omega t) & \cos(\omega t)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_{cmam}\\ y_{cmam}\end{bmatrix}$$

Ротор решается во вращающейся системе координат неподвижной относительно ротора, а статор в неподвижной глобальной системе координат.

Сердечник статора и ротора обладает нелинейной зависимостью магнитной индукции от напряженности магнитного поля $B(H)$ и шихтованной конструкцией. В двумерной постановке задачи неравенство индукции вдоль осевой линии машины учесть не представляется возможным. Поэтому учет шихтовки необходимо проводить путем корректировки кривой намагничивания $B(H)$. Иными словами напряженность магнитного поля H в шихтованном сердечнике соответствует не индукции B (как это было бы в массивном стальном теле), а индукции на ΔB меньшей, где ΔB вычисляется как:

$$\Delta B=(B-\mu_0 H)(1/k_{\text{ст}}-1)$$

$k_{\text{ст}}$ – коэффициент заполнения шихтованного пакета сталью. Таким образом, вводится скорректированная кривая $B(H_1)$.

Короткозамкнутая обмотка ротора, требует для каждого стержня свое уравнение равновесия напряжений. Интегрирование плотности тока по поперечному сечению стержня $S_{\text{стр}}$ дает:

$$i_{cp}=\int_{s_{cmp}} J_{cp}dS,\ \text{где}\ J_{cp}=-\sigma\frac{\partial A}{\partial t}+\sigma\frac{\Delta V}{l_{cp}}$$

Если допустить, что σ стержней ротора остается постоянной, уравнение равновесия напряжений с учетом активного сопротивления и индуктивности лобовых частей стержня, представится как:

$$u_{\text{стр}}=l_{\text{ср}}\int_{S_{\text{стр}}}\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}dS+R_{cp}i_{cp}+L_{cp}\frac{di_{cp}}{dt}$$

где R_{cp}, L_{cp} – активное сопротивление и индуктивность стержня ротора, включая лобовые части; $l_{\text{ср}}$ – длина стержня в пазу.

Поскольку стержни ротора соединяются короткозамыкающими кольцами с конечным полным сопротивлением, при необходимости это может быть принято в расчет путем определения активного сопротивления $R_{кол}$ и индуктивности $L_{кол}$ частей короткозамыкающих колец, соединяющих стержни один с другим и записи дополнительных дифференциальных уравнений:

$$u_{\text{кол}}=R_{\text{кол}}i_{\text{кол}}+L_{\text{кол}}\frac{di_{\text{кол}}}{dt},$$

где $\mathbf{u}_{\text{кол}}$ и $\mathbf{i}_{\text{кол}}$ векторы напряжения и тока в короткозамыкающих кольцах.

Для фазных обмоток, состоящих из N_{w} чисел витков, соединенных последовательно и распределенных по пазам, можно записать уравнение:

$$u_{\text{ст}}=l_{\text{ст}}\left[\sum_{n=1}^{N_+}\frac{N_W}{S_W}\int_{S_{\text{w}}}\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}dS-\sum_{n=1}^{N_-}\frac{N_W}{S_W}\int_{S_{\text{w}}}\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}dS\right]+R_W i_{\text{w}}+L_W\frac{di_{\text{w}}}{dt},$$

где $l_{\text{ст}}$ длина проводника в сердечнике, R_W и L_{w} активное и индуктивное сопротивление обмотки фазы с учетом лобовых частей, S_{w} площадь поперечного сечения обмотки в пазу, N_+ и N_- число положительно и отрицательно направленных сторон в обмотке фазы.

Электромагнитный момент на единицу длины рассчитывается, используя тензор натяжения Максвелла в виде:

$$\mathbf{T}=\frac{1}{2}\oint((\mathbf{r}\times\mathbf{H})(\mathbf{n}\cdot\mathbf{B})+(\mathbf{r}\times\mathbf{B})(\mathbf{n}\cdot\mathbf{H})-(\mathbf{r}\times\mathbf{n})(\mathbf{H}\cdot\mathbf{B}))dS$$

где $\mathbf{r}$ – радиус-вектор точки интегрирования.

Уравнение движения ротора запишется в виде:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}=\frac{T+M_{\text{ст}}}{J_{\text{пр}}},$$

где θ угол поворота ротора.

Приведенные выше уравнения позволяют описать неустановившийся режим АД.

Ниже представлены полученные кривые электромагнитного момента при прямом пуске без нагрузки (рис. 1) и короткого замыкания (рис. 2) АД 15 кВт, 1500об/мин, 380 В. Пунктирная линия на рис.1. электромагнитный момент, рассчитанный по уравнениям Парка-Горева с учетом влияния насыщения магнитной цепи и эффекта вытеснения тока.

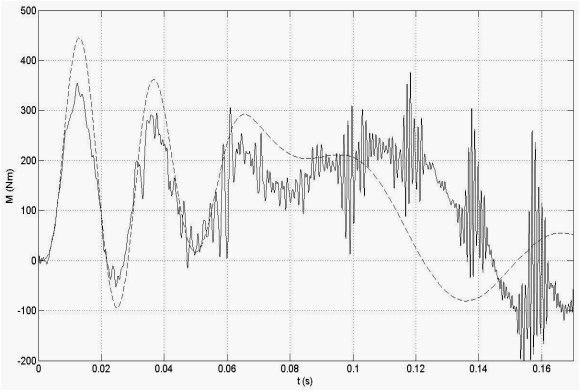


Рис. 1. Пуск вхолостую АД

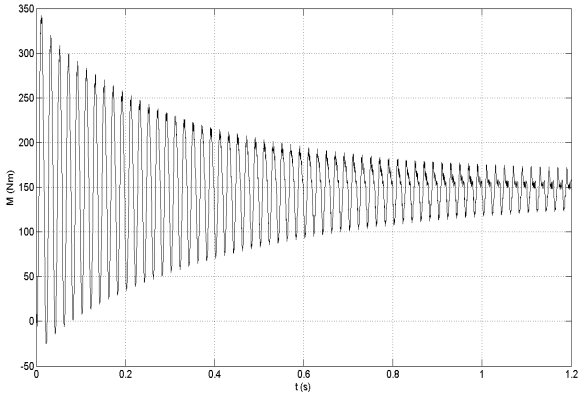


Рис. 2. Режим короткого замыкания АД.

Выводы

1. COMSOL Multiphysics позволяет выполнить моделирование переходных процессов электрических машин индукционного принципа действия, учесть нелинейность свойств материалов (в том числе за счет изменения теплового состояния машины), а также эффект вытеснения тока..

Список литературы

1. Соловейчик Ю.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учеб. пособие / Ю.Г.Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.-869 с.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. Пособие для вузов. – 10-е изд., испр.-М.: Наука. Гл. ред. Физ.- мат. Лит., 1989. – 504 с.

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

*Калинкин Д.Ю, **Чайка Ю.Г.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент

**Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30*

***ФГУП «Томский электротехнический завод», 634041, Россия г. Томск, пр. Кирова, д. 51а*

E-mail: kalinkin-85@mail.ru

В современных изделиях достаточно широко применяются традиционные классические электрические машины. Вместе с тем, развитие в последнее время новых прогрессивных технологий в области электротехнических материалов, таких как высокоэнергетические постоянные магниты на основе редкоземельных металлов, а также высокотемпературные сверхпроводниковые материалы, говорит о том, что до исчерпания электромагнитных резервов совершенствования еще далеко [1]. Поэтому стоит задача по изменению, внедрению новых конструкций и материалов, а так же разработка новых способов управления электрическими двигателями, внедрение бездатчиковых схем.

Цель работы – внедрение инноваций в конструкцию двигателя постоянного тока.

В настоящее время все большее применение находят бесконтактные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, которые могут работать как шаговые двигатели, либо как синхронные машины с постоянными магнитами. Так как магнитотвердые материалы на основе редкоземельных металлов обладают малой вели-чиной обратной магнитной проницаемости и высоким значением коэрцитивной силой по индукции и намагниченности, то можно кратковременно повышать линейную нагрузку, тем самым развивать пусковой момент 50-20 кратный номинальному. Кроме того, при работе машины взаимодействие электромаг-

нитного поля статора и магнитного поля магнитов приводит к искажению картины результирующего магнитного поля. Результирующее поле основной гармонической составляющей в воздушном зазоре электрической машины, работающей под нагрузкой, представляет собой, в общем случае, неоднородное, сложное по характеру распределения в пространстве квазистационарное магнитное поле (рис. 1) [1, 2].

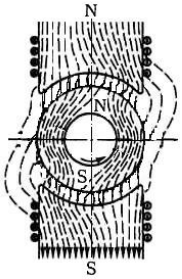


Рис. 1. Распределение основного магнитного потока

Анализ литературных источников показал, что до сих пор не известен механизм взаимодействия проводника с результирующим магнитным полем, не известны свойства электрических цепей в рассматриваемых полях, не разработаны основы теории магнитных измерений в этих полях, отсутствуют фундаментальные исследования изложенных проблем. Сложившееся положение вынудило перейти в рассматриваемых полях к «точечным» методам магнитных измерений, к «точечным» методам анализа и расчета электромагнитных устройств [1, 3].

Для обеспечения оптимальной работы машины предлагается применить центробежный регулятор, который под воздействием центробежной силы изменит угол поворота постоянных магнитов, тем самым обеспечит менее искаженное результирующее магнитное поле. В качестве примера запаса энергии магнитного поля в воздушном зазоре можно привести асинхронный двигатель со скосом пазов и без скоса. При определенных условиях в воздушном зазоре асинхронного двигателя со скосом пазов, работающего под нагрузкой, имеет место значительный избыток энергии результирующего магнитного поля по сравнению с тем же двигателем без скоса пазов. Однако до настоящего времени не найдены пути практического использования этого избытка энергии [1].

Изменяя геометрическое расположение магнитов, соответственно изменяя направление магнитного потока, предполагается решить задачу снижения потребление энергии в электрической машине, то есть увеличить КПД (рис. 2) [3].

На рис.2 $b_м$ – ширина магнита, $L_м$ – длина магнита $\alpha_{ск}$ – угол скоса магнита.

Потери зависят от физических и геометрических свойств элементов электрической и магнитной цепи. Следовательно, геометрия элементов магнитопровода существенно влияет на магнитное поле в магнитопроводе, в воздушном зазоре и, тем самым, на выходные характеристики [4].

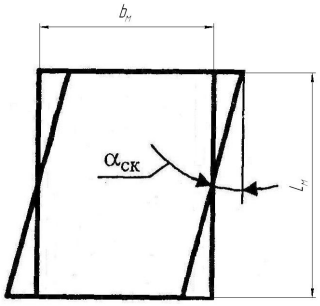


Рис. 2. Изменение геометрического расположения магнитов

Проблема оснащения производственных объектов промышленности и транспорта недорогими, простыми в управлении и надежными в эксплуатации регулируемыми электроприводами до сих пор не решена. Базовым элементом любого регулируемого электропривода является приводной двигатель, основные свойства которого в значительной мере определяют технико-экономические характеристики электропривода. Использование в регулируемых электроприводах двигателей постоянного тока бесперспективно из-за их низкой надёжности и специфических условий эксплуатации.

Применение в регулируемых электроприводах асинхронных двигателей сдерживается сложностью и значительной стоимостью регулируемых преобразователей частоты, а также наличием высших гармоник в токах, подаваемых в обмотки статора, которые приводят к значительному увеличению добавочных потерь, снижению энергетических показателей и уменьшению номинальной мощности двигателя. Синхронные вентильные двигатели с постоянными магнитами ввиду их высокой стоимости нашли применение только в прецизионных регулируемых электроприводах малой мощности [5].

Поэтому современное направление базируется на разработке инновационных решений в классической конструкции. И без комплексного рассмотрения проблем нельзя реально выявить существующие перспективные электромагнитные резервы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить взаимодействие магнитного поля статора и магнитного поля магнитов при изменении угла поворота магнитов и сравнить с базовой моделью.

2. Провести исследование электромагнитных процессов в ДПТ с постоянными магнитами и изменяющимся магнитным полем, разработать математическую модель.

3. Разработать методику расчета, на основе пред-ложенной концепции.

4. На основе результатов проведенных исследо-ваний разработать методику расчета модификаций ДПТ с постоянными магнитами и изменяющимся магнитным полем.

Принцип работы двигателя постоянного тока основан на конструктивных изменениях, позволяющих увеличить крутящий момент с уменьшением потребляемой энергии. Силовые линии магнитного поля, образованные расположенными на якоре постоянными магнитами, могут менять направление, магниты могут поворачиваться под требуемым углом. Силовые линии электромагнитного поля статора и якоря необходимо расположить в зоне увеличения магнитного потока. Для изменения положения осей постоянных магнитов применяется центробежный регулятор.

Ожидается получить:

1. Увеличение максимального крутящего момента при неизменяющихся вольтамперных характеристиках.

2. Энергосберегающие ДПТ с постоянными маг-нитами при сравнении с данными базового варианта в номинальном режиме работы.

3. Создание новых видов ДПТ с постоянными маг-нитами и расширение их применения в оборонной промышленности.

В силу ограниченности ресурсов и возрастающим потреблением энергии все более острой становится проблема в создании электрической машины с максимальным КПД и высокими показателями, такими как быстродействие и максимальным пусковым и номинальным моментом.

В дальнейшем исследовании предполагается использовать классический центробежный регулятор, который позволит обеспечить необходимое расположение магнитов. Предполагаемое применение – станкостроение, робототехника, технологическое оборудование, а также спецтехника в двигательном режиме. Таким образом получение опытных образцов позволит развиваться электротехнической промышленности на современном уровне науки и техники.

Список литературы

1. Макаренко Д.В. Электромагнитные параметры асинхронных машин со скосом пазов: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук. Киев, 1994 – 19 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Л. «Энергия», 1974.-840 с.
3. Захаренко А.Б., Семенчуков Г.А. Исследование синхронной электрической машины со скосом постоянных магнитов // «Электротехника». – 2007, №2. – С. 59-65.
4. Мажейкис К.Б. Геометрия магнитной цепи и характеристики асинхронных микродвигателей с асимметричным магнитопроводом статора: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Каунас, 1983. – 20 с.
5. Смирнов Ю.В. Электромагнитный вентильно-индукторный двигатель с дискретным расположением фазных электромагнитов // «Электротехника». – 2006, №8. – С. 2-6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Касымбаева М.М., Шуликин И.Н.

Научный руководитель: Шуликин И.Н., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: meerima123@mail.ru

Система изоляции низковольтных электрических машин включает в себя изоляцию обмоточных проводов, корпусную, междуфазную, междуслойную, межвитковую изоляцию в сочетании с пропиточным составом[6]. Наиболее слабым элементом системы изоляции является межвитковая изоляция, состоящая из двух слоев изоляции обмоточных проводов и слоя пропиточного состава – на нее приходится около 90% отказов обмоток электрических машин[4]. Основной причиной отказов низковольтных обмоток являются дефекты изоляции эмалированных проводов. Под дефектом в низковольтных системах изоляции понимается сквозное повреждение изоляции. Дефекты могут существовать в изоляции обмоточных проводов в состоянии поставки и возникнуть в процессе технологических операций при изготовлении обмотки или образоваться в процессе старения изоляции при эксплуатации электрооборудования[3]. В зависимости от этого различают:

1. Технологические дефекты – дефекты, образовавшиеся в процессе изготовления обмотки (растяжение, истирание, изгиб).

2. Эксплуатационные дефекты – дефекты, образовавшиеся в процессе эксплуатации электрооборудования (вибрация, температурное расширение, воздействие центробежной силы, внутренние механические напряжения и т.д.)

Мы рассматриваем только технологические дефекты, а также методы для оценки начальной дефектности материалов и их устойчивости к технологическим воздействиям. На сегодняшний день существует ряд государственных стандартов, описывающих методики проведения испытаний качества изоляции эмалированных проводов. Но всем им характерен один и тот же недостаток – невозможность получения полной информации о качестве изоляции на всей длине эмалированного провода, так как они определяют либо только электрические характеристики, либо только механические.

В связи с тем, что при технологическом процессе изготовления обмоток основными воздействующими факторами являются механические воздействия, в основу работы мы взяли ГОСТ 14340.10-69 «Испытание механической прочности на истирание». По этой методике определяется механическая прочность изоляции эмалированного провода, исходя из количества двойных ходов иглы по поверхности провода до окончания истирания изоляции образца провода[2]. Испытания проводят с помощью устройства, показанного на рис. 1 [2].

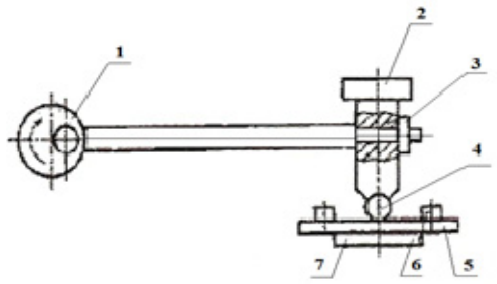


Рис. 1. 1-эксцентрик; 2-груз; 3-головка скребка; 4-игла; 5-образец провода; 6-зажим; 7-пластина для крепления образца

Но для проведения данного испытания необходимы специфическое и технически сложно реализуемое оборудование, а также специально обученный персонал, поэтому многие отечественные предприятия не могут провести данное испытание.

Наиболее подходящей методикой, по-нашему мнению, является комплексная методика оценки технологической устойчивости эмалированной изоляции, в которой в качестве критерия, характеризующего устойчивость изоляции проводов к технологическим воздействиям, выбрано приращение дефектности [5]. В процессе проведения испытаний по данной методике определяют качество изоляции эмалированного провода в состоянии поставки, затем после имитации основных технологических воздействий: растяжение, изгиб, воздействие растворителей. И на основе полученных результатов делают вывод о качестве изоляции эмалированного провода[1].

Оценка дефектности изоляции эмалированных проводов производится в электролите под воздействием постоянного напряжения. Электролит представляет собой раствор NaCl в концентрации 50 мг на 1 литр воды. Образец испытуемого провода помещается в ванну с электролитом. Одним электродом служит медь провода, вторым – окружающая провод вода, напряжение к которой подводится при помощи металлического электрода. Так как сопротивление эмальпленки весьма велико, при отсутствии сквозного повреждения на испытательной длине ток по цепи практически равен нулю. Если же на изоляции испытуемого участка провода имеется сквозное повреждение, электролит проникает до меди провода и ток резко увеличивается, что можно визуально определить по показаниям миллиамперметра и выделению пузырьков газа в месте нахождения повреждения [1].

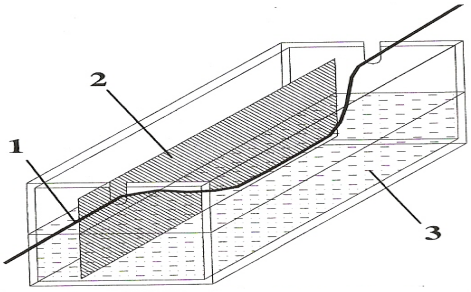


Рис. 2. 1 - образец испытуемого провода; 2 - металлический электрод; 3- ванна с электролитом

Достоинства данного метода заключаются в том, что он позволяет определить точное количество дефектов, которые можно использовать для дальнейшей оценки вероятности сквозных повреждений. Одно из основных преимуществ – это простота методики и то, что проведение испытаний не требует дорогого оборудования.

В данной работе будет проведено сопоставление результатов по разным методикам испытаний на стойкость изоляции эмалированных проводов к технологическим нагрузкам и сравнительная оценка самих методик испытаний.

Для проведения эксперимента были выбраны эмалированные провода производства ЗАО «Сибкабель» следующих марок:

1. ПЭЭА-155
2. ПЭТД-180
3. ПЭТ-155

Проведены испытания качества эмалированных проводов в электролите и получены следующие результаты.

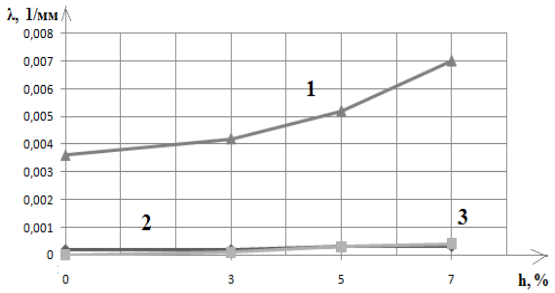


Рис. 3. Зависимость дефектности эмалированных проводов от вытяжки

1. ПЭТД-180
2. ПЭТ-155
3. ПЭЭА-155.

Из полученных зависимостей видно, что предложенная методика достаточно чувствительна для оценки воздействия технологических факторов.

В дальнейшем планируется оценить технологическую устойчивость изоляции эмалированных проводов по методике, описанной в ГОСТ – 14340.10.-69 «Испытание механической прочности изоляции на истирание», сопоставить резуль-

таты и разработать рекомендации по проведению испытаний качества эмалированных проводов.

Список литературы

1. ОСТ 16 0.800.821-88 «Определение дефектности изоляции эмалированных проводов».
2. ГОСТ 14340.10-69 «Определение механической прочности эмалированных проводов».
3. Обмоточные провода: учебник / И. Б. Пешков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 415 с.
4. Изоляция электрических машин : учебное пособие / А.П. Матялис. – Томск: Изд-во ТПИ, 1985. – 95 с.
5. Оценка устойчивости изоляции эмалированных проводов обмоток асинхронных электродвигателей к технологическим и эксплуатационным воздействиям / А. П. Матялис, Ю. П. Похолков // Исследование специальных электрических машин и машинно-вентильных систем : межвузовский научно-технический сборник / Томский политехнический институт (ТПИ) гл. ред. Г.А. Сипайлов. – Томск, 1981. – С. 56-63.
6. Изоляция электрических машин общего назначения / Л. М. Бернштейн. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 376 с.

УМЕНЬШЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАЗМЕРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ким Ю.В., Киселев А.В., Цукублин А.Б.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kiselev_av@mail2000.ru

Известно, что в качестве первичного источника питания забойных телеметрических систем удачно подходят синхронные машины с высококоэрцитивными магнитами. В частности трехфазный магнитоэлектрический турбогенератор с ротором на постоянных высококоэрцитивных магнитах и беспазовым статором, работающий на нагрузку через мостовой выпрямитель [1].

В [2] была указана проблема частого выхода из строя конденсатора фильтра в системе питания. Решением данной проблемы стало снижение индуктивности. Благодаря расчетам проводимым с использованием программного продукта ELCUT 4.2 было установлено, что путем оптимизации конструкции генератора возможно снизить индуктивность в пределах 15-17 %. Данная оптимизация проводилась на базе существующей конструкции с числом полюсов 2p=2.

Однако, перед проектировщиками и изготовителем, кроме проблемы по снижению индуктивности стоит еще целый ряд задач. Одной из главных, является уменьшение габаритных размеров, и в первую очередь уменьшение радиального размера. Это обусловлено необходимостью перехода на меньшие диаметры арматуры забойной телеметрической системы, что позволит существенно расширить ее функциональные и эксплуатационные возможности.

Однако снижение габаритных размеров, не должно снизить выходные показатели генератора, а именно ЭДС при холостом ходе должна быть не менее 17,5-18 В.

Известно, что ЭДС генератора:

$$E_0 = 4 \cdot k_\phi \cdot k_{об} \cdot w \cdot f \cdot \Phi_{\delta 0} \qquad (1)$$

Из выражения (1) видно, что уменьшение радиального размера, при одновременном сохранении ЭДС в требуемых пределах, возможно осуществить, применив магнит с более высокими энергетическими характеристиками. Это позволит повысить значение магнитного потока в воздушном зазоре. Проведенный анализ и оптимизация конструкции генератора с числом полюсов 2p=2 показали, что осуществить подобное решение не позволяет значительное повышение индукции в ярме магнитопровода статора. Неприемлемым становиться и вариант по увеличению числа витков, так как это не позволяет выполнить, в первую очередь, заполнение статора обмоткой в требуемых пределах, а также увеличение индуктивности, по уже озвученной причине.

Учитывая работу генератора на выпрямитель, а также применение ШИМ для регулирования тока нагрузки [3] были рассмотрены варианты с другим числом полюсов. Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является использование конструкции генератора с числом полюсов ротора 2p=4. Переход на данную конструкцию снизит плотность магнитного потока в ярме магнитопровода статора, что позволит применить магниты с более высокими энергетическими характеристиками.

Так как в конструкции с числом полюсов 2p=4 предполагается использование магнитов призматической формы, то становятся возможными два вида намагничивания: аксиальное и тангенциальное.

Был проведен анализ конструкции с числом полюсов 2p=4 с аксиальным намагничиванием. Проведенный анализ показал, что при использовании магнитов исходного варианта (марка Ч36 Р)

в данной конструкции не достаточно для выполнения требуемого произведения $k_{об} \cdot w \cdot f \cdot \Phi_{\delta 0}$ из выражения (1).

Конструкция с числом полюсов 2p=4 с аксиальным намагничиванием представлена на рис. 1.

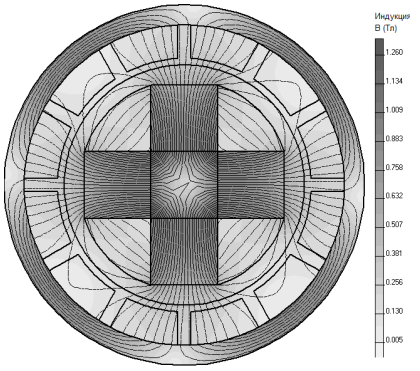


Рис. 1. Распределение магнитного поля при аксиальном намагничивании

В случае индуктора коллекторного типа с тангенциальным намагничиванием значение магнитного потока Φ_δ в воздушном зазоре удваивается по сравнению с индуктором того же типа аксиального намагничивания, так как поток в каждом полюсе создается двумя магнитами. Применение коллекторной конструкции ротора позволяет снизить массу синхронных генераторов на 30 % [4].

Анализ конструкции с 2p=4 при тангенциальном намагничивании показал, что данный тип намагничивания, при использовании той же марки магнитов, что и в конструкции с 2p=2 позволяет обеспечить требуемое значение ЭДС. Это достигается за счет увеличения частоты напряжения, что компенсирует снижение магнитного потока в воздушном зазоре. Полученное значение ЭДС при холостом ходе даже превышает ЭДС генератора исходной конструкции на величину в 10 %. При этом имеется достаточный запас по плотности магнитного потока в ярме магнитопровода статора генератора, что при необходимости позволяет уменьшить число витков статорной обмотки и увеличить магнитный поток за счет применения другого магнита.

Распределение магнитного поля в конструкции с 2p=4 с тангенциальным намагничиванием представлено на рис. 2.

Исследована конструкция с числом полюсов 2p=4 с тангенциальным намагничиванием в которой использован магнит с повышенными энергетическими характеристиками марки N45H [5]. Использование данного магнита позволило снизить внешний диаметр генератора с 54 мм до 50 мм. При этом выходные показатели генератора (ЭДС при холостом ходе) уложились в требуемые значения. Стоит также отметить, что аксиальный размер генератора остался тем же, что и в случае с числом полюсов 2p=2 (140 мм). Вариант данной конструкции представлен на рис. 3.

Достигнутое снижение внешнего диаметра турбогенератора можно наглядно объяснить, обращаясь к машинной постоянной Арнольда:

$$C_A = \frac{D^2 l_\delta \Omega}{P'} = \frac{2}{\pi \alpha_\delta k_B k_{об} A B_\delta} \qquad (2)$$

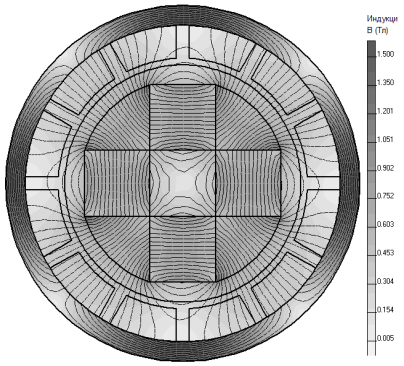


Рис. 2. Распределение магнитного поля при тангенциальном намагничивании

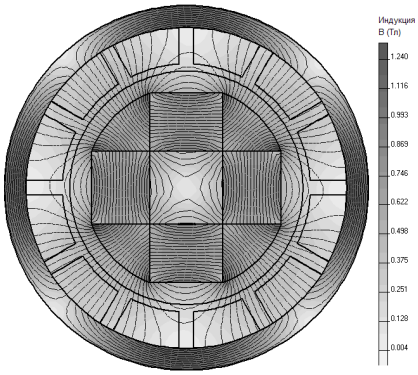


Рис. 3. Распределение магнитного поля в конструкции с уменьшенным внешним диаметром

Из (2) видно, что при уменьшении D^2 необходимо сохранить на требуемом уровне значение P'. А в случае перехода с аксиального намагничивания на тангенциальное в конструкции с 2p=4, произошло увеличение B_δ, что позволило получить некоторое снижение C_A.

Рассмотрение вариантов данного генератора в исполнении с числом полюсов равным 2p=6, показал, что это число полюсов не обеспечит требуемые выходные показатели. Это объясняется снижением удельного объема постоянного магнита, в силу конструктивного исполнения. Из этого можно сделать вывод, что оптимальным числом полюсов рассматриваемого турбогенератора является число полюсов равное 2p=4.

Список литературы

1. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сборник статей / под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2000. – 350 с.
2. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Том 1, стр. 429-430 Оптимизация параметров турбогенератора для питания забойной телеметрической системы. Ким Ю.В., Киселев А.В., Цукублин А.Б.
3. В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988.-280 с.:ил.
4. А.Н. Ледовский. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.; ил.
5. http://pmspb.ru/ndfeb.html

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОИНЕРЦОННЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ МАШИН И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ

Клабуков Р.П.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: RomanFlesh@sibmail.com

Для многих производственных механизмов необходимо быстрое изменение значения или направления скорости движения рабочих органов, что требует от приводного двигателя обеспечения значительных ускорений или замедлений вращения вала, или, другими словами, высокого быстродействия.

Для получения больших ускорений (замедлений) необходимо, чтобы двигатель развивал значительный вращающий момент M кратчайшее время, а его ротор имел небольшой момент инерции J. Весьма перспективно использование малоинерционных двигателей в различного рода быстродействующих приводах, главным образом следящих систем.

Для повышения быстродействия двигателя необходимо следовать следующим принципам:

- повышение индукции магнитного поля двигателя;
- выполнение ротора двигателя с минимально возможной массой и с максимально возможным отношением длины к радиусу;
- увеличение тока в обмотках двигателя.

Первый способ реализуется практически во всех двигателях – как обычных, так и специальных – путем соответствующего расчета магнитной системы. Второй и третий реализуются соответственно в специальных конструкциях двигателей с малоинерционным ротором и так называемым гладким якорем. В данных машинах используются малоинерционные ротора, снижение механической инерции которых обеспечивается уменьшением массы якоря или увеличением отношения его длины к радиусу.

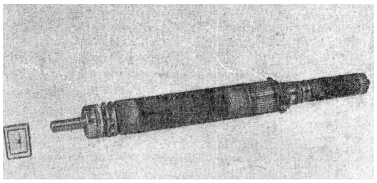


Рис. Гладкий якорь электродвигателя ПГТ-2 с якорем тахогенератора

Высокий уровень допустимых перегрузок присущих данным машинам приводит к малым временам обработки сигнала, в частности, время торможения подобных двигателей составляет 38 мсек. Уже через 14 мсек двигатель достигает нулевой скорости, после чего разворачивается в обратную сторону и затем окончательно тормозится. Тормозной путь двигателя в этом режиме составляет около 0,4 оборота.

Наибольшее отклонение от привычных форм узлов машин постоянного тока отмечается в конструкции гладкого якоря удлиненной формы. Сердечник якоря набирается из листов электротехнической стали на немагнитном валу (рис.). Он покрыт непрерывной корпусной изоляцией из стеклослюдинита. Нижний слой обмотки прижат к сердечнику продолжением изоляционной полосы, наложенной на сердечник, при этом образуется междуслойная изоляция, поверх которой накладывается верхний слой обмотки. Обмотка притянута к сердечнику стеклянным бандажом и пропитана под вакуумом и давлением компаундом, изготовляемым на основе эпоксидной смолы. [1]

При проектировании быстродействующих систем важнейшим показателем качества является время отработки управляющего воздействия. Однако использование такой прямой оценки не позволяет в общем виде сделать сравнение систем, построенных на базе двигателей различного типа. Поэтому оценивают быстродействие систем по косвенным показателям. [2]

Набор параметров, по которым сравнивают двигатели для быстродействующего привода, зависит не только от закона перемещения, но и от значений статического момента и момента инерции нагрузки, если приведенный момент инерции нагрузки J_H существенно больше момента инерции ротора J, то наибольшее быстродействие привода будет обеспечено при максимальном значении момента, развиваемого двигателем (критерием сравнительной оценки двигателей может служить момент на единицу объема $Муд=M/V$ или момент на единицу массы mg двигателя $Муд=M/mg$). В случае, когда $J_H \ll J$, максимум быстродействия можно обеспечить путем использования двигателя с максимальной приемистостью. Если же $J_H \approx J$, то определяющими будут значения приемистости и добротности.[3]

Для определения предельно возможных удельных показателей рационально использовать известный модифицированный критерий– удельную приемистость:

$$П_{уд} = M^2 \big/ Jm_g g^2.$$

Следует отметить, что пусковое значение приемистости связано с электромеханической постоянной времени через мощность потерь в меди якоря. Действительно,

$$П_{уд} = \frac{M_П^2}{J} = \frac{M_П}{J\omega_{x.x.}} M_П \omega_{x.x.} = \frac{P_П}{T_M}$$

где $M_П$, $P_П$ - момент и мощность двигателя при пуске; $\omega_{x.x.}$ - частота вращения ротора при холостом ходе.

Следовательно, величина, обратная приемистости, характеризует электромеханическую постоянную времени на единицу мощности потерь в меди обмотки якоря от пускового тока. В этом смысле проектирование двигателя на максимум удельной приемистости эквивалентно проектированию двигателя с минимально возможным значением электромеханической постоянной времени, достигаемым при затратах единицы потребляемой мощности в единице массы. [4]

Поиск и анализ наилучших вариантов двигателей показывает, что значение удельной приемистости зубцовых и гладких ВД будут практически совпадать при выполнении соотношения $J_\Sigma / J \geq 6$, где $J_\Sigma = J + J_H$ - суммарный момент инерции системы.

Таким образом, двигатели с гладким якорем приемлемы с точки зрения удельной приемистости лишь в том случае, когда приведённый момент инерции нагрузки соизмерим с собственным моментом инерции ротора.

В машинах с зубцовым якорем различие в постановки задачи приводит к более существенным изменениям. В частности зубцовые ВД, спроектированные на максимум $П_{уд}$, уступают аналогичным машинам по удельному моменту практически в два раза, зато по удельной прие-мистости имеют выйгрышь в $5 \div 6$ раз при мощности двигателя 50 Вт и $18 \div 20$ раз при мощности двигателя 200 Вт.

Таким образом, для ВД с гладким якорем задачи проектирования двигателей с максимальными значениями $П_{уд}$ *и* $M_{уд}$ достаточно близки, а для ВД с зубцовым якорем существенно различны.

В системах точного электропривода ВД помимо высокого быстродействия должны обеспечивать высокую плавность хода (минимальные пульсации момента на валу), особенно в зоне малых частот вращения, и широкий диапазон регулирования.

Пульсации электромагнитного момента управляемого ВД определяются в основном пульсациями фазных токов, которые обусловлены следующими факторами: модуляцией напряжения питания при регулировании частоты вращения (например, ШИМ – регулирование напряжения питания), скачкообразным перемещением вектора МДС якоря, периодическим изменением структуры контура коммутации и параметров обмотки ВД, а так же формой ЭДС вращения.

При исследовании электромагнитных и электромеханических процессов в ВД малой мощности реакцией якоря обычно пренебрегают или учитывают лишь её продольную состав-ляющую. Частоту вращения ротора на интервале коммутации считают постоянной, а периодической модуляцией параметров обмотки якоря пренебрегают. Такой подход достаточно корректен при определении усреднённых параметров машины. Однако неучёт указанных факторов может привести к значительным погрешностям при определении уровня пульсаций электромагнитного момента на валу ВД и частоты вращения. Для определения этих пульсаций необходим специальный анализ квази-установившихся электромагнитных процессов с учётом влияния изменения индуктивности фаз ВД и мгновенной частоты вращения.

Анализ показывает, что ВД с зубцовым статором и индукторами, имеющими магнитомягкие полюса на роторе, обладают значительными (до 100%) пульсациями частоты вращения. Уменьшить пульсации можно, применив индукторы с дугообразными постоянными магнитами, обеспечивающими трапеци-дальный закон распределения индукции в рабочем зазоре и значительно меньшую модуляцию индуктивности фаз статора ВД. [5]

Зубчатость сердечника статора вызывает, кроме того, пульсации магнитной индукции на холостом ходу в массиве постоянных магнитов, что является причиной их недопустимого нагрева. Средство борьбы с этим недостатком – разбиение магнита по длине на отдельные участки.

У вентильных двигателей с беспазовым исполнением обмотки статора эти недостатки отсутствуют. Следует отметить, что при отсутствии зубцов статора диаметр ротора может возрасти, что приведет при прочих равных условиях к увеличению электромагнитного момента, не будет и повышенных магнитных потерь в зубцах, что позволит увеличить номинальный ток двигателя.

Опытные исследование и обзор существующих математических моделей беспазового вентильного двигателя показывают, что в целом он не будет заметно отличаться от серийного двигателя с зубцами на статоре. [6]

Список литературы

1. Ласточкин Р.И., Барышев П.Р., Хавин А.А., и др. Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с гладким якорем серии ПГ / под ред. Ю.А. Сабенина. – М.: ЛДНТП, 1969.
2. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. – М.: Энергия, 1975.
3. Блейз Е.С., Данилов Ю.А., Казмиренко В.Ф., и др. Следящие приводы / под ред. Б.К. Чемоданова, Т. 1. – М.: Энергия, 1976.
4. Васильев Ю.К., Лазарев Г.В., Рубан М.С. и др. Электрические двигатели с гладким якорем для систем автоматики / под ред. Ю.К. Васильева. – М.: Энергия, 1979.
5. Куликов Н.И. и др. Исследование и разработка быстродействующих вентильных двигателей // Электричество., 2002, № 5. – С. 23-32.
6. Афанасьев А.А., Бабак А.Г. и др. Магнитоэлектрический вентильный двигатель // Электричество., 2004, № 4. – С. 33-42.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАЗОРЕ КОЛЛЕКТОРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ И НА ПОЛОЖЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИ

Клыжко Е.Н.

Научный руководитель: Качин С.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: eugene@tpu.ru

В целях уменьшения искрообразования и продления срока эксплуатации коллекторных электрических машин (ЭМ) переменного тока малой мощности часто применяется сдвиг щёток с геометрической нейтрали. Для определения оптимального сдвига необходимо произвести расчёт магнитного поля, который до сих пор остается узловой проблемой электромеханики [1]. Известно, что для коллекторных электрических машин малой мощности весьма актуален учет нелинейности магнитной системы, так как наличие в них малого воздушного зазора и зубчатости сердечников приводит к сильному насыщению коронок зубцов, т.е. части зубцового слоя, прилегающей к воздушному зазору. Такое насыщение зубцов оказывает существенное влияние на характер изменения распределения магнитного поля машины, в связи с чем детальный учет данного явления становится особенно важным. В режимах нагрузки ось магнитного поля реакции якоря располагается между осями симметрии магнитной системы машины и, следовательно, ось результирующего магнитного поля обмоток ротора и статора не будет совпадать с геометрической нейтралью. Таким образом, наиболее верным подходом к электромагнитным расчётам в рассматриваемом случае является полевая постановка задачи с учётом реальной геометрии магнитной системы машины [3].

Для проведения расчёта и анализа использовалась модель универсального коллекторного двигателя ПК-58 (рис. 1). Обмотка якоря – серийная, двухкатушечная, вращение якоря происходит против часовой стрелки.

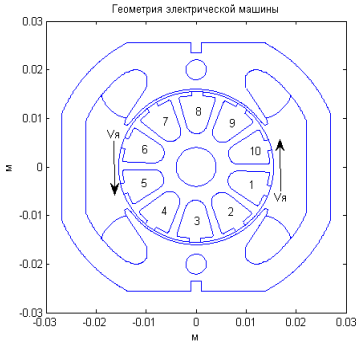


Рис. 1. Геометрия ПК-58

Для того, чтобы провести анализ влияния реакции якоря на распределение магнитного поля в зазоре коллекторной электрической машины переменного тока малой мощности и на положение физической нейтрали, применялась методика расчёта распределения магнитного поля по расточке ЭМ, реализованная в виде внешнего программного модуля (DLL) [2, 3]. Такой подход позволяет использовать результаты расчётов магнитного поля в существующей программе расчёта процесса коммутации коллекторных электрических машин малой мощности для уточнения распределение магнитной индукции по расточке якоря.

Ниже показаны графики расчёта распределения индукции магнитного поля в зазоре ЭМ в случае слабой (рис. 2) и сильной (рис. 3) нелинейности магнитной системы.

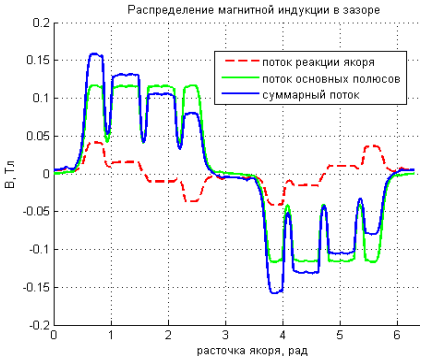


Рис. 2. Слабое насыщение магнитной системы

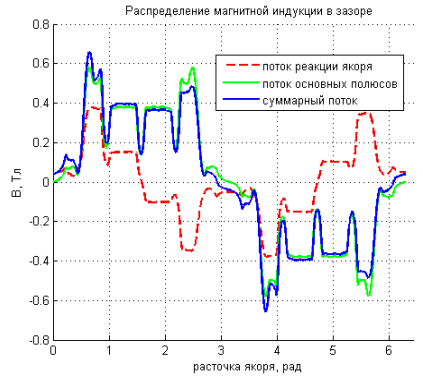


Рис. 3 Сильное насыщение магнитной системы

Как видно из графиков разница в значениях суммарного магнитного потока под набегающим и сбегающим краями полюса составляет 50% при

слабой нелинейности и около 30% при сильной нелинейности. Таким образом, проведённые расчёты показывают что, если при работе машины в области слабой нелинейности магнитный поток приблизительно является суммой основного потока магнитных полюсов и потока реакции якоря, то при работе ЭМ в области сильной нелинейности это не выполняется. В этой области влияние реакции якоря на основной магнитный поток уменьшается, что особенно заметно под набегающим краем полюса.

Из рис. 2 и рис. 3 также видно смещение физической нейтрали. При слабой нелинейности угол сдвига физической нейтрали составляет ~20^0, в области сильной нелинейности угол составляет ~13^0, что также подтверждает уменьшение влияние реакции якоря на основной поток при сильной нелинейности. Следует заметить, что сдвиг физической нейтрали существенно зависит от положения якоря. На рис. 4 показана зависимость сдвига от силы тока параллельной ветви для двух положений якоря. Здесь, если при одном положении якоря сдвиг с увеличением тока параллельной ветви больше 5^0, то при другом не превышает и одного градуса.

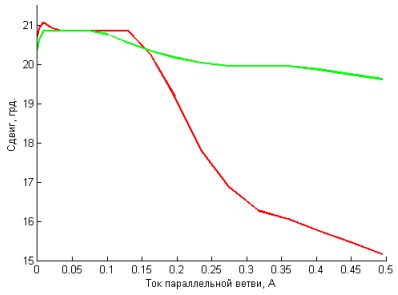


Рис. 4. Зависимость сдвига физической нейтрали от силы тока параллельной ветви для двух значений поворота якоря

На рис. 5 показана зависимость положения физической нейтрали от положения якоря для двух крайних случаев: слабой и сильной нелинейностей. Исследования показали, что в случае насыщенной магнитной системы, угол может измениться на 11 градусов в течение времени коммутации одной секции якоря, в случае ненасыщенной системы угол меняется в пределах 2 градусов (рис. 5).

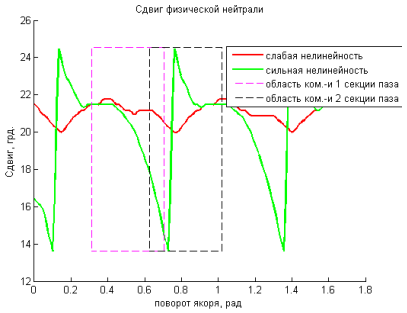


Рис. 5. Зависимость сдвига физической нейтрали от тока поворота якоря.

Причём цикличность изменения угла сдвига по повороту якоря совпадает с зубчатостью якоря: расстояние между двумя пиками на графике соответствует пазовому делению якоря. Таким образом, зубчатость якоря оказывает существенное влияние на положение физической нейтрали.

Такое влияние зубчатости якоря на положение физической нейтрали объясняется тем, что ось магнитного поля, образованного только потоком главных полюсов, также может не совпадать с геометрической нейтралью при определённом положении якоря. Причём в области сильной нелинейности сдвиг оси основного поля может составлять до 20^0 как по направлению вращения якоря, так и против него (рис. 6).

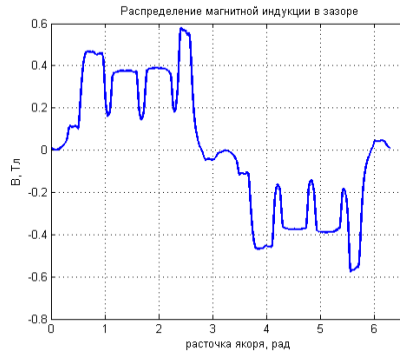


Рис. 6. Распределение магнитной индукции по расточке якоря при работе машины без нагрузки

Таким образом, можно считать, что положение физической нейтрали является функцией двух переменных: силы тока параллельной ветви, определяющей степень насыщения магнитной системы ЭМ, и поворота якоря, определяющего положение зубцов якоря. Также очевидно, что влияние положения якоря (его зубчатости) на сдвиг физической нейтрали существенней, чем изменение тока.

Можно заключить что, комбинация основного потока магнитного поля и зубчатости якоря оказывает существенное влияние на положение физической нейтрали, а в области сильной нелинейности является основным фактором. Таким образом, при расчёте процесса коммутации и напряжённости коллекторных машин переменного тока малой мощности, необходимо учитывать зависимость сдвига физической нейтрали от зубчатости якоря.

Список литературы

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов.- М.: Высш. школа, 2001.-327 с.
2. Клыжко Е.Н., Качин С.И., Боровиков Ю.С. Моделирование магнитного поля коллекторных электрических машин малой мощности для расчетов процесса коммутации численными методами. // Электромеханические преобразователи энергии: международная научно-техническая конференция – Томск, 20-22 октября 2005. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – с. 81-85
3. Клыжко Е.Н., Боровиков Ю.С. Математическое моделирование магнитных полей коллекторных машин с анизотропными магнитными свойствами индуктора //Современные техника и технологии (СТТ'2005): Труды XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 т. – Томск, 29 марта-2 апреля 2005 г. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – с. 351

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУСТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Козлова Л.Е., Глазырин А.С.

Научный руководитель: Боровиков Ю.С., к. т. н., доц.

Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kozlovale@tpu.ru

Построению высококачественных бездатчиковых асинхронных электроприводов уделялось внимание еще со времен появления векторного управления. Электропривода находят применения в таких областях где предъявляются повышенные требования к быстродействию, не требуется высокий диапазон регулирования скорости, требуется регулирование электромагнитного момента на валу двигателя, либо невозможность установки датчика скорости.

В качестве наблюдателя состояния будет использоваться искусственная нейронная сеть (ИНС), которая может решать такие задачи как оптимизация, фильтрация, идентификация динамических систем и управление ими, аппроксимация функций, предсказание (прогноз) и т. д.

Обучение сети и оценка адекватности нейросетевой модели проводилась с асинхронным электродвигателем с фазным ротором типа 102.1 мощностью 30 Вт, номинальным напряжением 127 В, $\cos fn = 0.73$, $I_{нс} = 0.35\,A$, $n_н = 1250\,^{об}/_{мин}$, $\eta = 36\%$. В различных режимах работы измерялись токи и напряжения статора.

Входными параметрами для ИНС применялись среднеквадратичные значения токов статора и линейных напряжений, в количестве 4300 выборок. Таким образом с учетом фаз сети будем иметь 4 входа – $I_{A(k)}, I_{B(k)}, U_{AB(k)}, U_{BC(k)}$. Теоретически можно было использовать мгновенные значения трех фаз токов и напряжений, но чтобы избежать перенасыщения ИНС, что ведет к некорректной работе, исключаем токи и линейное напряжение одной из фаз. Величину одного шага дискретизации целесообразно выбирать в пределах единиц значений электромагнитной постоянной времени.

На рис. 1 представлена структурная схема асинхронного электропривода, применяемая для сбора данных с датчиков тока и напряжения.

На рис. 2 представлена структурная схема наблюдателя состояния (НС), состоящая из двух блоков среднеквадратичного вычисления значений тока и напряжений (1, 2), которые в свою очередь являются входными параметрами для обучения и оценивания ИНС.

Для построения наблюдателя состояния использовалась трехслойная нейронная сеть прямого распространения, с 37 нейронами в скрытом слое и 1 нейроном в выходном слое (рис. 4).

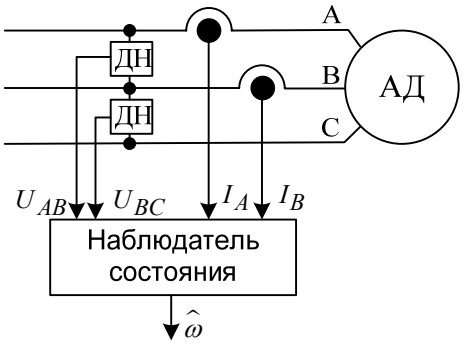


Рис. 1. Структурная схема электропривода

В качестве функции активации скрытого слоя используется сигмоидальная функция, которая вычисляется по формуле:

$$f(n) = \frac{1}{1+e^{-n}},$$

где n - аргумент функции активации.

В выходном слое использовалась линейная функция активации, вычисляемая по формуле:

$$f(n) = n.$$

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$s = \sum_{i=1}^{m} n_i \cdot w_i \ .$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f(s).$$

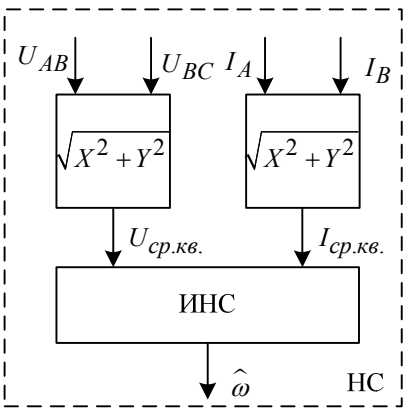


Рис. 2. Структурная схема наблюдателя состояния

$$U = \sqrt{U_{AB}{}^2 + U_{BC}{}^2}, \quad (1)$$

$$I = \sqrt{I_A{}^2 + I_B{}^2}. \quad (2)$$

На рис. 3 представлен результат работы наблюдателя состояния на основе искусственной нейронной сети, где N – это число итераций.

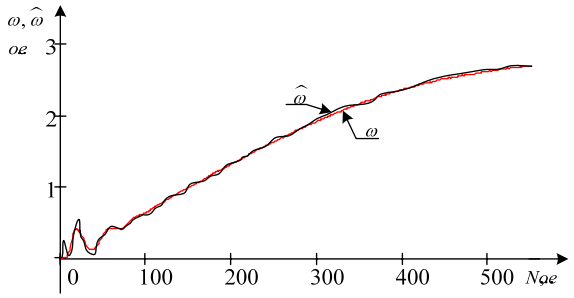


Рис. 3. Переходный процесс пуска АД

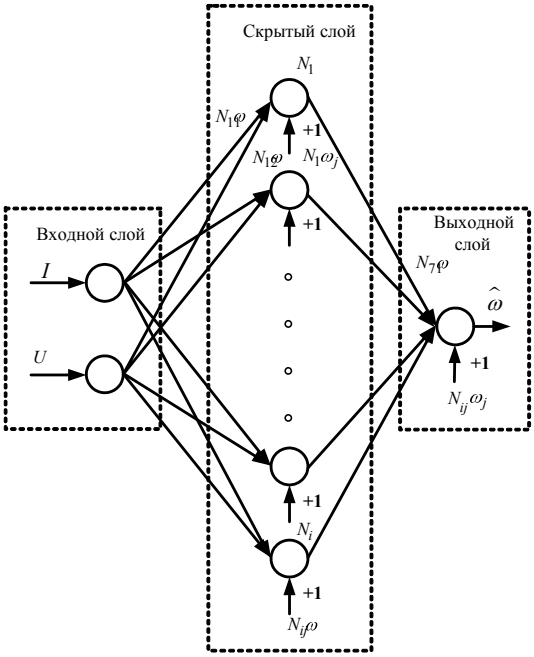


Рис. 4. Структурная схема ИНС

После обучения ИНС в программной среде Matlab R2007b была получена нейронная сеть. Результаты обучения для различных режимов работы электродвигателя представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что отклонения обученной НС от действительного значения небольшие, имеют приемлемые значения. Максимальная погрешность работы ИНС наблюдателя при малых значениях выходного сигнала.

Таблица 1

Выборки временных рядов для различных динамических режимов

Режим	$\omega, o.e.$	$\hat{\omega}, o.e.$
пуск в холостую	2,1289	2,1441
наброс нагрузки	2,5781	2,5885
сброс нагрузки	2,8125	2,7526
пуск под нагрузкой	1,6064	1,5953

Таким образом, наблюдатель состояния на основе искусственной нейронной сети, несмотря на относительную сложность конструкции, позволяет найти зависимость между среднеквадратичными значениями токов фаз и линейных напряжений с выходным значением скорости вращения вала асинхронного электродвигателя.

Список литературы

1. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети : Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с. : ил. – Библиогр.: с. 377-378. – Глоссарий: с. 356-376.
2. Хайкин, Саймон. Нейронные сети : полный курс : пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд., испр. – М. [и др.] : Вильямс, 2006. – 1103 с.
3. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6/ Под общ. ред. к. т. н. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 496 с.
4. Махотило К. В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления Харьков. 1998
5. Каширских В.Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей. Монография – Кемерово: КузГТУ, 2005.- 139 с.
6. Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н., Монов Д. А. Новая серия цифровых асинхронных электроприводов на основе векторных принципов управления и формирования переменных // Электротехника. 2001. № 12.
7. Каширских В. Г., Нестеровский А.В. Использование искусственных нейронных сетей для диагностики замыканий в обмотке статора асинхронного двигателя / Вестн. Кузбас. техн. ун-та. 2002 . N 6. – С. 52-54.

НАКОПИТЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Коновалова А.А.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: anastasiya_konovalova@yahoo.com

Накопители энергии находят все более широкое применение в электроэнергетических системах, автономных энергетических установках, транспортных системах, бортовом оборудовании, технологической аппаратуре, электрофизических стендах и т. п. [1].

На современном этапе выпуск сложных промышленных изделий, таких как маховичные накопители [2, 3, 4], оказывается невозможным без использования автоматизированных систем, основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Одной из таких систем является система автоматизированного проектирования T-FLEX CAD, обладающая такими возможностями, как параметрическое проектирование и моделирование; проектирование сборок и выполнение сборочных чертежей; система имеет полный набор функций создания и редактирования чертежей, параметрическое трёхмерное твёрдотельное моделирование, управление чертежами, подготовку данных для систем с ЧПУ и т.д.

С помощью системы T-FLEX CAD создана 3D-модель конструкции накопителя кинетической энергии. 3D модель накопителя в собранном разобранном виде представлена на рис. 1 и 2.

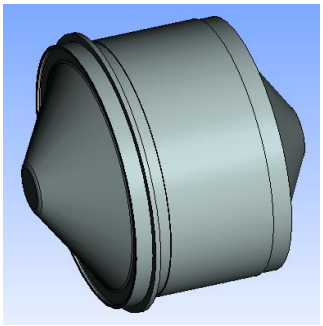


Рис. 1. 3D-модель накопителя механической энергии в собранном виде

Конструкция накопителя состоит из:

- маховика (поз. 1);
- опор (подшипников) (поз. 2);
- системы разгона (двигателя-генератора) (поз. 3);
- вакуумированного кожуха (поз. 4).

Для расчета основных параметров маховика и характеристик двигателя имеются следующие исходные данные:

- мощность, отдаваемая в нагрузку P=5кВт ч;
- скорость n = 20000 об/мин;
- динамический момент M = 3,918 Нм;
- напряжение питания постоянного тока Uп = 180 В;
- число фаз m = 3;
- число полюсов 2p = 4.

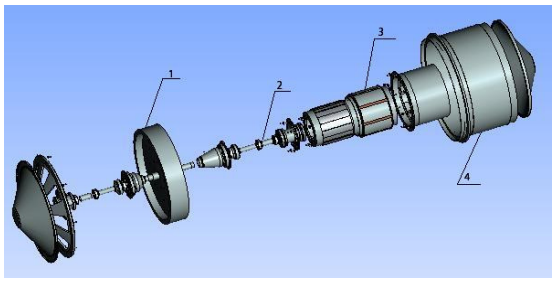


Рис. 2. 3D-модель накопителя механической энергии в разобранном виде

Маховик выполняется сплошным из стали и вращается со скоростью 20000 об/мин. 3D-модель маховика представлена на рис. 3.

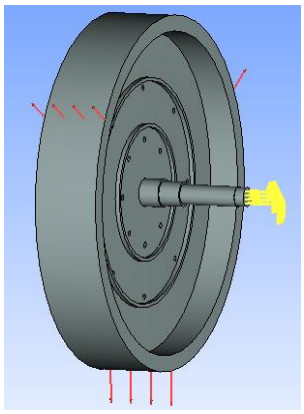


Рис. 3. 3D-модель маховика

Исходя из начальных данных рассчитаны параметры маховика, такие как момент инерции маховика, энергия, отдаваемая маховиком в нагрузку, средняя мощность разгона.

В качестве системы разгона используется вентильный двигатель постоянного тока с немагнитным статором, 3х-фазный с однополярной коммутацией, который работает как в режиме двигателя, так и генератора, что позволяет разгонять систему, а также снимать энергию. Система разгона маховика является основной в накопителе энергии, поэтому параметры этой системы требуют тщательного рассмотрения. Рассчитаны основные параметры двигателя-генератора [5]:

- фазное напряжение $U_Ф$=139В;

- расчетная мощность P=6,25кВт;
- диаметр расточки статора Di = 150 мм;
- полюсное деление τ=117,75 мм;
- номинальный фазный ток $J_Ф$=56 А;
- диаметр провода $d_{ПР}$=0,27 мм^2;
- ширина магнитов $b_М$= 0,084 мм;
- длина магнитов $l_М$=0,1 мм;
- высота магнитов $h_М$=0,008 мм;
- зазор δ=0,015 мм;
- индукция в зазоре B=0,23 Тл;
- число витков в фазе – 16.

Подсистема механического анализа T-FLEX Анализ позволяет произвести расчёт основного элемента конструкции – маховика – на разрыв. Это осуществляется с помощью статического анализа.

Статический анализ позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций или отдельных элементов под действием приложенных к системе постоянных во времени сил.

T-FLEX Анализ – это интегрированная с T-FLEX CAD среда конечно-элементных расчётов. Порядок проведения статического анализа с помощью T-FLEX Анализ следующий: в среде T-FLEX CAD 3D создается 3D-модель конструкции, накладывается конечно-элементная сетка и проводится расчет собственных частот.

Шаги расчета при частотном анализе маховика:

1. Создание 3D – модели.
2. Создание конечно-элементной сетки.
3. Задание ограничений.
4. Приложение нагрузки.
5. Расчет.
6. Анализ результатов.

В качестве ограничения для маховика выбирается полное закрепление по валу, т.к. в конструкции маховик установлен на вал.

В связи с тенденциями увеличения угловой скорости маховиков возникает проблема обеспечения их механической прочности и надежности. Механическая прочность обода маховика определяется через угловую скорость и размеры маховика:

$$\sigma = \frac{\gamma_{уд} \cdot \Omega^2 \cdot R^2 \cdot k_{пр}}{g} = \frac{7{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 2094^2 \cdot 155^2 \cdot 1{,}5}{9{,}8} = 125{,}77 \frac{кг}{мм^2}.$$

Рассчитана центробежная сила, значение которой используется при проведении статического анализа:

$$F_{цб} = m \cdot \omega^2 \cdot R = 7{,}9 \cdot 10^{-6} Н.$$

На рис. 4 показан характер деформации конструкции маховика при приложении этой силы. Красным цветом показано перемещение, наибольшее значение которого равно 0,5529 мм. Данное значение является допустимым и можно говорить о том, что при приложении этой силы разрыва маховика не произойдет.

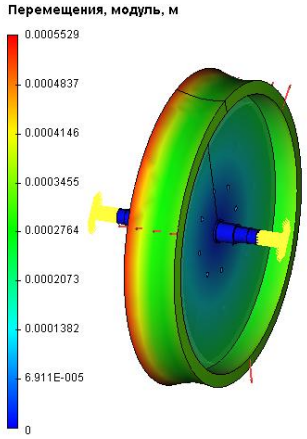


Рис. 4. Модуль перемещения

На рис. 5 представлен характер деформации маховика и значения эквивалентных напряжений. Максимальное значение напряжения, возникающее при наложении центробежной силы $F_{цб}$, равно $6{,}899 \cdot 10^8$ Н/м^2, что также является допустимым.

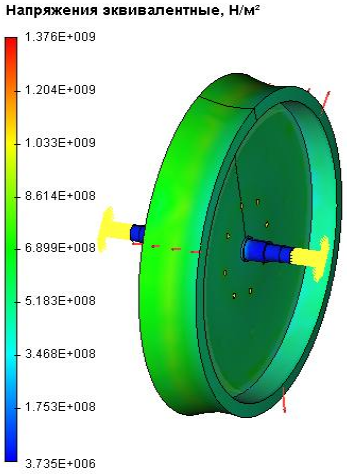


Рис. 5. Эквивалентные напряжения

Таким образом, проектирование накопителя механической энергии с использованием CAD/CAE-систем позволяет оценить будущие эксплуатационные характеристики и повысить качество проектируемого изделия.

Список литературы

1. Коновалова А.А. Flywheel energy storage system //Modern technique and technology : XVI International Scientific and Practical conference of students, post-graduates and and young scientists/ труды в 3-х томах Томск, ТПУ. 4-8 мая 2010. Томск: Изд. ТПУ. 2010. Издание на англ. языке. С. 32-33.
2. Новая жизнь центрифуги или аккумулирование энергии», Журнал «Атомная стратегия», № 27, январь 2007.
3. Иванов М.Ю. Без ИПБ не обойтись. ИКС, № 11, 2009. С. 86.
4. Джента Дж. Накопление кинетической энергии. Теория и практика современных маховичных систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 430 с.
5. Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А., Сергеев П.С. Проектирование электрических машин. М., 1969.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАЗОВОЙ ЧАСТИ СТЕРЖНЯ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Корнеев К.В.

Научный руководитель: Тюков В. А., д.т.н., профессор; Пастухов В. В., к.т.н., доцент

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630092, Россия, г. Новосибирск, пр. к. Маркса, 20

E-mail: heart1981@mail.ru

Современный рынок асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором предъявляет все более жесткие требования к показателям энергоэффективности и надежности двигателей. По прежнему сохраняют актуальность вопросы обеспечения заданных пусковых свойств асинхронных двигателей. Одним из способов улучшения пусковых характеристик двигателя является применение сложной зубцово-пазовой структуры короткозамкнутого ротора. Применение нетрадиционных форм стержней и пазов короткозамкнутого ротора сталкивается с рядом сложностей. Основная проблема заключается в точном определении активных и индуктивных параметров пазовой части стержня ротора. Развитие средств вычислительной техники и программного обеспечения позволяет производить расчет картины магнитного поля машин со сложной зубцово-пазовой структурой. Таким образом, тема данной работы является актуальной.

Целью данной работы является определение параметров пазовой части стержня короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя с помощью методов конечно-элементного анализа. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: построить математическую модель для определения параметров ротора, выполнить моделирование картины поля ротора, определить активные и индуктивные параметры пазовой части стержня ротора, выявить возможности упрощения математической модели.

Метод исследования: математическое моделирование на основе теории конечно элементного анализа. Моделирование выполнялось с помощью программы конечно элементного анализа FEMM, [1] под управлением языка инженерного программирования MATLAB, [2].

Основные результаты работы: для определения активного сопротивления и индуктивности рассеяния пазовой части стержня короткозамкнутого ротора предложено использовать трехпазовую математическую модель ротора. Доказана адекватность трехпазовой модели для определения параметров ротора. Получены зависимости активного сопротивления и индуктивности рассеяния пазовой части стержня ротора от амплитуды и частоты тока ротора.

На рис. 1 представлена картина распределения магнитного поля и плотности тока в стержне ротора двигателя 4АРМАк-400/6000-2УХЛ4. Видно, что ротор двигателя обладает геометрической и магнитной симметрией относительно горизонтальной оси и оси, лежащей под углом, равным углу пазового сдвига к вертикальной оси. Отметим, что картина поля для пазов находящихся на оси ОВ определяется главным образом потоком рассеяния данного паза и потоками взаимоиндукции с двумя пазами лежащими слева и справа от оси ОВ.

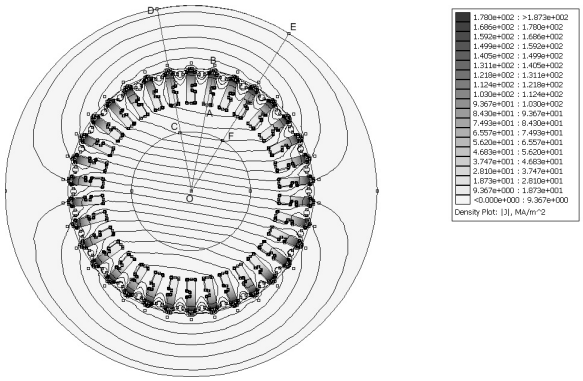


Рис. 1. Результаты расчета картины поля и распределения плотности тока в стержне ротора двигателя 4АРМАк-400/6000-2УХЛ4 при скольжении равном единице по полной модели ротора

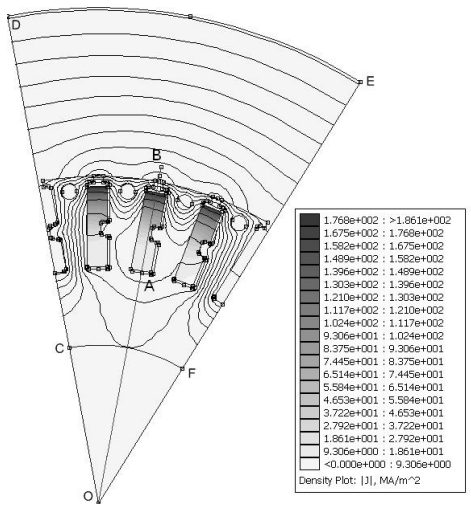


Рис. 2. Результаты расчета картины поля и распределения плотности тока в стержне ротора двигателя 4АРМАк-400/6000-2УХЛ4 при скольжении равном единице по трехпазовой модели ротора

Таким образом, можно высказать предположение о возможности определения параметров ротора по модели ограниченной сектором OCDEF, рис. 2. При этом параметры стержня ротора определяются по пазу лежащему на оси OB, поскольку в данном случае картина поля для других пазов будет отлична от реальной. Граничными условиями для такой модели приняты: на отрезках OE и OF – условия Неймана, на дуге EF – Дирехле. Дуга EF – лежит на окружности диаметром равным внешнему диаметру сердечника статора. При моделировании приняты следующие допущения: система токов, протекающих по обмоткам ротора, симметричная и синусоидальная; электрическая проводимость стали сердечника и вала ротора равна нулю; проводимость стержней ротора равна проводимости меди при 75ºС и постоянна; амплитуда токов стержней ротора постоянна. Токи заданны для стержней расположенных в полных пазах.

При определении индуктивности рассеяния используется методология определения реактивного сопротивления якоря синхронной машины при удаленном индукторе, [3].

Расчет активного сопротивления пазовой части стержня ведется по результатам моделирований картины поля, а именно по определенной из картины поля активной мощности, выделяющейся в объеме паза при протекании по нему заданного тока. При индуктивности пазового рассеяния стержня ротора используется понятие дифференциальной индуктивности, [4]: $L = \frac{d\psi}{di}$. Потокосцепление стержня ротора определяется по потоку проходящему через отрезок AB, ограниченный точкой A принадлежащей дну паза и точкой B принадлежащей обмотке статора и являющейся ближайшей к расточке статора. Таким образом, производится учет потока рассеяния, замыкающегося через боковую поверхность паза, шлиц и головки зубцов и не сцепленный с обмоткой статора.

Для проверки адекватности предложенной модели определения параметров ротора асинхронного двигателя выполнено моделирование картины магнитного поля роторов асинхронных двигателей различных типов, мощностей и частот вращения, при различной конфигурации зубцово-пазовой структуры. Моделирование производилось для полной модели, рис. 1 и трехпазовой модели – рис. 2. При моделировании определялись активное сопротивление пазовой части стержня ротора и потокосцепление рассеяния, определяющее индуктивность рассеяния стержня для различных значений тока и скольжения ротора. Сравнительный анализ результатов моделирования представлен в таблице 1. Для полной модели определялось среднее значение указанных параметров.

Анализ показывает, что относительная погрешность результатов составляет не более 5%, что позволяет утверждать о правомерности использования трехпазовой модели короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей, с зубцово-пазовой структурой различной сложности, для определения его индуктивных и активных параметров в различных режимах работы. В ходе исследований отмечено, что наибольшая относительная погрешность результатов наблюдается для двигателей большой мощности при закрытом пазу ротора.

Таким образом, по результатам проведенных исследований сделаны выводы о целесообразности использования трехпазовой модели для определения параметров ротора с помощью методов конечно элементного анализа. Что позволяет снизить трудоемкость и время расчета, при сохранении необходимой точности получаемых результатов.

Таблица 1

Активное сопротивление и потокосцепление рассеяния стержня ротора по результатам расчета полной и трехпазовой модели

модель	полная		трехпазовая	
$I_{рот}/s$, о.е.	$R_{ст.сред}$, мкОм	$\psi_{ст.сред}$, Вб	$R_{ст.}$, мкОм	$\psi_{ст.}$, Вб
4А160S4У3 (P_2=15 кВт; $\omega_{синх}$=157 рад/с; $U_л$=360В; тип паза ротора: грушевидный, закрытый)				
5.84 /1	55.9	0.0017	55.9	0.0017
5.67/0.8	50.3	0.0017	50.3	0.0017
5.27/0.5	42.6	0.0017	42.6	0.0017
3.53/0.15	37	0.0013	37	0.0013
2.77/0.1	36.7	0.0011	36.7	0.0011
1/0.026	36.4	0.0005	36.4	0.0005
4АРМАк-400/6000-2УХЛ4 (P_2=400 кВт; $\omega_{синх}$=314 рад/с; $U_л$=6000В; тип паза ротора: прямоугольный, полузакрытый)				
5.5/1	93.2	0.0122	92.7	0.0122
5.4/0.8	85.2	0.0129	84.7	0.0129
5.2/0.6	75.9	0.0139	75.5	0.0139
5/0.4	63	0.0157	62.8	0.0157
4.8/0.2	44.6	0.0183	44.4	0.0182
1/0.0089	31.6	0.0051	31.6	0.0052
4АЗМВ-1250/6000-У2.5 (P_2=1250 кВт; $\omega_{синх}$=314 рад/с; $U_л$=6000В; тип паза ротора: прямоугольный, закрытый)				
6.5/1	87.3	0.0153	90.8	0.016
6.2/0.8	81.9	0.0161	84.6	0.0168
5.8/0.6	74.6	0.0172	77.1	0.0179
5.4/0.4	62.3	0.0188	65.2	0.0195
4.5/0.2	49.5	0.0202	50.2	0.0207
1/0.0072	38.8	0.008	38.8	0.008

Список литературы

1. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM. – Academia, 2006. – 336 с.
2. Ануфриев И. Е., Смирнов А.Б., Смирнова И. Н. MATLAB 7. СПб.:БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
3. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. – Москва-Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1959. – 504 с.
4. Чучалин А. И. Математическое моделирование в электромеханике. Учебное пособие. – Томск: изд. ТПУ, 1997. – 170 с.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Коротков М. Ф., Пахомов А. Н.

Научный руководитель: А. А. Федоренко, к.т.н., доцент

Сибирский Федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: hamsterboo@mail.ru

Теория систем векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода разработана достаточно полно [1, 2]. Контуры регулирования в системе векторного управления выполняются, как правило, в соответствии с принципами подчиненного регулирования координат, что ограничивает их быстродействие и, как следствие, точность в динамических режимах. Обеспечить предельное быстродействие и точность в динамических режимах возможно, снабдив систему так называемым модальным регулятором, построенным на основе суммирования обратных связей по вектору состояния. Таким образом, определенные методический интерес и новизну представляет методика построения векторной системы частотно-управляемого асинхронного электропривода с модальным регулятором координат.

Приведем методику проектирования модального регулятора системы преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией–асинхронный двигатель (АД). Синтез регуляторов и проверка работы системы производится в несколько этапов.

1. Построение математической модели объекта управления. За основу возьмем математическую модель АД с учетом общепринятых допущений [2, 3] в декартовой системе координат *u*-*v*, вращающейся с произвольной скоростью ω_k. Запишем уравнения АД форме Коши [3] и для удобства разобьем их на две пары уравнений:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{di_{1u}}{dt}=\frac{1}{R_э T_э}u_{1u}-\frac{1}{T_э}i_{1u}+\frac{k_2}{T_2 R_э T_э}\Psi_{2u}+\\
&+\frac{k_2 p_п}{R_э T_э}\omega\Psi_{2v}+\omega_k i_{1v};\\
&\frac{d\Psi_{2u}}{dt}=R_2 k_2 i_{1u}-\frac{1}{T_2}\Psi_{2u}+(\omega_k-p_п\omega)\Psi_{2v};
\end{aligned}\right\}; \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{di_{1v}}{dt}=\frac{1}{R_э T_э}u_{1v}-\frac{1}{T_э}i_{1v}+\frac{k_2}{T_2 R_э T_э}\Psi_{2v}-\\
&-\frac{k_2 p_п}{R_э T_э}\omega\Psi_{2u}-\omega_k i_{1u};\\
&\frac{d\omega}{dt}=\frac{3p_п k_2}{2J}i_{1v}\Psi_{2u}-\frac{3p_п k_2}{2J}i_{1u}\Psi_{2v}-\frac{1}{J}M_с.
\end{aligned}\right\}, \quad (2)$$

где u_{1u}, u_{1v}, i_{1u}, i_{1v}, Ψ_{2u}, Ψ_{2v} – проекции результирующих векторов напряжения статора $\overline{u}_1$, тока статора $\overline{i}_1$, потокосцепления ротора $\overline{\Psi}_2$, соответственно, на оси u и v декартовой системы координат; ω – угловая скорость вращения ротора АД; $p_п$ – число пар полюсов АД; $M_с$ – момент статического сопротивления на валу двигателя. Расшифровку остальных обозначений параметров двигателя можно найти в [1, 2, 3].

Разбивка уравнений АД на (1) и (2) связана с тем, что синтез модального регулятора производится для двух контуров регулирования: потокосцепления и скорости ротора АД.

Поскольку у преобразователей частоты с автономным инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией автономный инвертор формирует не только частоту, но и амплитуду выходного напряжения влияние звена постоянного тока на динамические свойства системы при синтезе можно не учитывать. Кроме того, частота модуляции современных преобразователей весьма высока, что позволяет пренебречь так же его дискретными свойствами. Изложенное позволяет представить в первом приближении преобразователь частоты безынерционным линейным звеном с коэффициентом передачи $k_п$.

Используем систему координат *u*-*v*, вращающуюся со скоростью ω_k вращения магнитного поля, ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\Psi_2=\Psi_{2u}$, $\Psi_{2v}=0$. Из системы уравнений (1) составим матрицы динамики и входа канала регулирования потокосцепления ротора при условии компенсации влияния перекрестных обратных связей по току статора:

$$A_1=\begin{pmatrix}a_{11} & a_{12}\\ a_{21} & a_{22}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-\frac{1}{T_э} & \frac{k_2}{T_2 R_э T_э}\\ R_2 k_2 & -\frac{1}{T_2}\end{pmatrix},$$

$$B_1=\begin{pmatrix}b_{11}\\ b_{21}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{k_п}{R_э T_э}\\ 0\end{pmatrix}.$$

В матрице входа появляется коэффициент $k_п$, поскольку мы приняли питающий двигатель преобразователь безынерционным.

Аналогично для системы уравнений (2):

$$A_2 = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_э} & -\frac{k_2 p_п}{R_э T_э}\Psi_{2u0} \\ \frac{3p_п k_2}{2J}\Psi_{2u0} & 0 \end{pmatrix};$$

$$B_2 = \begin{pmatrix} \frac{k_п}{R_э T_э} \\ 0 \end{pmatrix},$$

где Ψ_{2u0} – заданное значение потокосцепления в первом контуре.

2. Расчет модальных регуляторов. Синтез регуляторов произведем отдельно для двух каналов управления: канал регулирования потокосцепления ротора АД и канал регулирования скорости АД.

Определение коэффициентов модального регулятора выполняется методом стандартных уравнений в нормированной форме [1]. Для получения нормированной формы исходное уравнение *n*-го порядка делим на коэффициент при старшей степени и получаем корневую форму. Рассчитаем коэффициенты ОС при настройке системы на модульный оптимум.

После перехода к абсолютным единицам подставим желаемый характеристический полином в выражение (7) и приравняем значения коэффициентов при одинаковых степенях *p*, получим вектор коэффициентов модального регулятора для канала регулирования потокосцепления ротора:

$$\begin{pmatrix} K_{11} \\ K_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_{11} + a_{22} + C_0}{b_{11}} \\ \frac{a_{22}^2 + C_1 \cdot a_{22} + C_0 + a_{12} \cdot a_{21}}{a_{21} \cdot b_{11}} \end{pmatrix},$$

где a_{ij}, b_{ij} – коэффициенты матриц динамики и входа для соответствующего канала, C_i – коэффициенты желаемого характеристического полинома замкнутой системы.

Аналогично производится расчет второго модального регулятора с коэффициентами K_{21} и K_{22} для канала регулирования скорости вращения ротора АД при биномиальной настройке [1].

3. Имитационное моделирование замкнутой системы электропривода. Проверим эффективность приведенной методики при помощи пакета имитационного моделирования *Matlab* фирмы *The MathWorks*, *Inc*. На рис. 1 приведена соответствующая структурная схема замкнутой системы асинхронного электропривода во вращающейся со скоростью магнитного поля системе координат.

В структурной схеме приняты следующие обозначения: *AD* – модель АД реализованная по уравнениям состояния (1) и (2); *BK* – блок компенсаций перекрестных связей; $\Psi_{2з}$ и $\omega_з$ – заданные значения потокосцепления и скорости ротора АД; K_{ij} – коэффициенты модального регулятора; ω, M, Ψ_2 – скорость, электромагнитный момент, потокосцепление ротора АД.

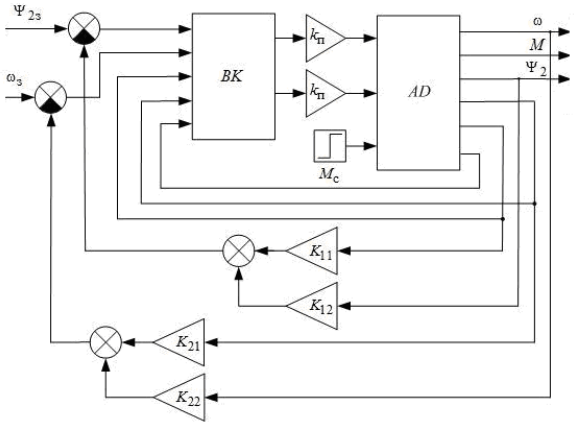


Рис. 1. Структурная схема

На рис. 2 изображены графики переходных процессов в исследуемой модели. Сначала подается задание на потокосцепление ротора АД, которое успешно отрабатывает канал регулирования потокосцепления, после чего производится скачек задания на скорость вращения ротора и включается в работу второй канал. И, наконец, на третьем участке осуществляется моделирование наброса нагрузки на валу АД.

Характер переходных процессов соответствует заданным настройкам. Следовательно, регуляторы позволяют обеспечить требуемый уровень скорости и потокосцепления.

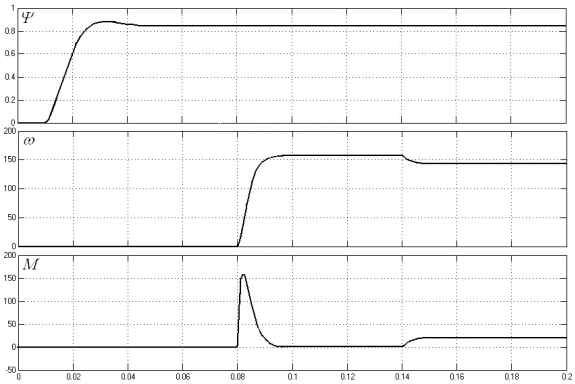


Рис. 2. Графики переходных процессов в неподвижной системе координат

Основными результатами работы является получение уравнений состояния для двух каналов управления (канал регулирования потокосцепления ротора АД и канал регулирования скорости АД) и синтез двух модальных регуляторов стабилизации потокосцепления и скорости.

Список литературы

1. Терехов В. М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; Под ред. В.М. Терехова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / Г. Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Карагодин М. С. Уравнения динамики частотно-управляемых электроприводов: учеб. пособие / М. С. Карагодин, А. А. Федоренко. – КрПИ: Красноярск, 1985. – 92 с.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Крышков В.Ю.

Научный руководитель: Щуров Н.И., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: kry_valentin@ngs.ru

Основной целью энергосбережения является снижение расходов бюджета на оплату энергетических ресурсов, потребленных городским электротранспортом. Кроме того, целями являются: снижение потерь электрической энергии; повышение надежности работы городского электротранспорта.

Система тягового электроснабжения включает в себя тяговую подстанцию (ТП) и тяговую сеть (ТС). Передача электроэнергии осуществляется по трёхфазным линиям переменного тока. Поступающая на ТП электроэнергия подвергается двойному преобразованию: на первой ступени производится понижение трёхфазного напряжения до необходимого уровня, а на второй – преобразование переменного напряжения в постоянное при помощи выпрямителей. Каждому из этапов преобразования электрической энергии присущи потери.

Поскольку к любому источнику питания предъявляются определённые, строго регламентирующие требования по качеству напряжения, то стремятся повысить количество пульсаций напряжения, что приводит к необходимости изменения как схемного решения самих выпрямителей, так и системы многофазного напряжения, подаваемого на вход выпрямителей. Поэтому возникает необходимость в поиске схемного решения выпрямителей с минимальными потерями.

Анализ кольцевых схем выпрямителей показал, что:

- работа трансформаторного оборудования в таких схемах ничем не отличается от работы трансформаторного оборудования с мостовыми выпрямителями;
- по сравнению со схемой трёхфазного двухмостового выпрямления в кольцевых происходит сокращение количества диодов в цепи протекания тока нагрузки, что снижает потери энергии в полупроводниковых приборах.

В настоящее время, в системе электроснабжения наземного городского электрического транспорта (ГЭТ), используется несколько вариантов схемных решений для подключения тяговой сети к источнику питания, в качестве которого используется тяговые подстанции постоянного тока. Основными схемами являются: схема одностороннего, двухстороннего и узлового питания. Для повышения надежности электроснабжения подвижного состава тяговая сеть разбивается на изолирующие друг от друга участки, питание каждого из которых осуществляется по одной из перечисленных схем [1].

Исчезновение питающего напряжения на любом из фидеров приводит к остановке подвижного состава на обесточенной секции при исправной контактной сети. Однако этого можно избежать несложным схемным решением – применением автоматических постов секционирования (АПС). Применение АПС способствует реализации оптимальной в плане минимизации потерь энергии схемы электроснабжения. Использование АПС позволяет реализовывать несколько вариантов схем, приведенных в [2]. Каждый из вариантов схемных решений обладает достоинствами и недостатками, но сопоставление их, на наш взгляд, целесообразно проводить с учетом стремления к минимизации потерь энергии в узле при транспортировке до потребителя.

Отличительной особенностью электроснабжения подвижного состава является непостоянство величины сопротивления питающих транспортное скорости. Если при этом учесть, что момент начала потребления поездом тока из секции также не зависит от его местоположения (носит вероятностный характер), то становится понятной сложность определения потерь в любой из схем и определения приоритетности их применения.

Для снятия неопределенности при расчете потерь энергии используется метод эквивалентирования величины сопротивления участка секционирования в функции его длины [3]. Суть метода заключается в замещении меняющегося сопротивления секции на эквивалентное постоянное, потери в котором определяются величиной протекающего в секции приведенного к ее длине действующего значения тока.

При анализе результатов расчетов [2] видно, что наихудшей является схема одностороннего питания, как по критерию обеспечения минимума технологических потерь энергии, так и в плане бесперебойности питания. Схема б экономичнее схем а и в, так как не требует прокладки кабеля второй питающей линии, длина которой равна длине секции. К тому же она обеспечивает работоспособность всех секций при выходе из строя одной из подстанций. Сравнение характеристик

схем е и д, в которых АПС соединены уравнительной шиной, показывает, что практически удвоение комплекта оборудования (в схеме е) приводит к незначительному (на 4%) уменьшению потерь энергии и поэтому не целесообразно. Следовательно, предпочтительной для питания является схема шунтирования секционных разделов (СР) АПС, соединенных уравнительной шиной.

Минимальные потери энергии в системе электроснабжения подвижного состава присущи схеме двухстороннего питания. Применение этой схемы становится целесообразным при использовании автоматических постов секционирования (АПС), способствующих повышению надежности электроснабжения транспорта в целом.

Электроснабжение ГЭТ выполняется в виде централизованного или децентрализованного питания контактной сети. Централизованную схему применяют при подстанциях, имеющих большую мощность, позволяющую питать весь примыкающий к ней район контактной сети, которая состоит из секций, расположенных в разном удалении от подстанции. При децентрализованной схеме секции питаются от двух соседних подстанций, либо от любой из них, либо каждая подстанция питает примыкающую половину секции. При выходе из строя одной из подстанций ее нагрузка передается на соседнюю. Каждая подстанция должна иметь соответствующий резерв мощности.

Выбирая ту или иную систему электроснабжения, предпочтение отдается той, которая обладает высоким уровнем надежности и является оптимальной в плане минимизации потерь.

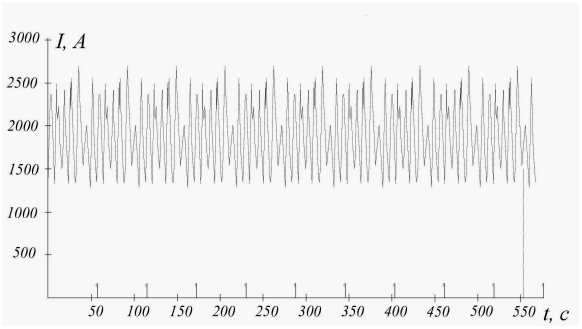


Рис. 1. Кривые тока потребляемого тока из сети при расстоянии между остановками 300 м

Одним из способов снижения токовой нагрузки, а, следовательно, потерь в контактной сети, является способ изменения расстояния между остановочными пунктами. Из рисунков 1-3 видно, что токовая нагрузка меньше на том перегоне, где расстояния между остановочными пунктами больше. Данный способ может привести к уменьшению привлекательности данного вида транспорта.

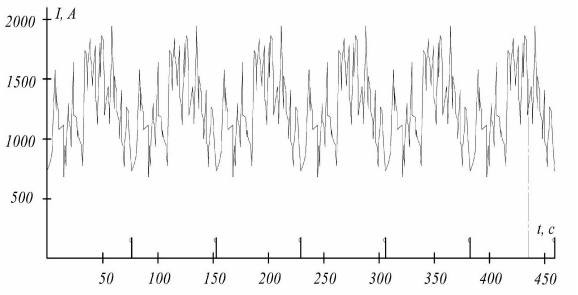


Рис. 2. Кривые тока потребляемого тока из сети при расстоянии между остановками 500 м

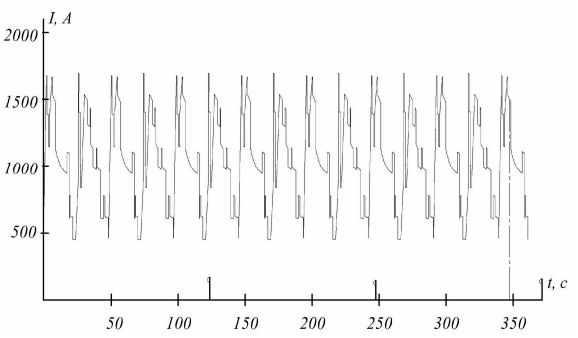


Рис. 3. Кривые тока потребляемого тока из сети при расстоянии между остановками 1000 м

Необходимо отметить, что применение накопителей электроэнергии, позволяет снизить потери в системе тягового электроснабжения. Накопители можно устанавливать на тяговой подстанции, в любом месте на линии и на подвижном составе.

Список литературы

1. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта [Текст] / Слепцов М.А., Долаберидзе Г.П., Прокопович А.В., Савина Т.И. [и др.]; учеб. для студ. высш. учеб. заведений /под общ. ред. М.А. Слепцова. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 464 с.
2. Бирюков В.В. Энергосбережение на электрическом транспорте: монография [Рис.]. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009.-244с.
3. Бирюков В.В. Определение оптимальной схемы подключения участка контактной сети постоянного тока горэлектротранспорта к источнику питания. [Текст] / В.В. Бирюков, В.И. Сопов // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск; Изд-во ИрГТУ, №3(31), 2007. — С. 61-67.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кузнецов С.А.

Научный руководитель: Игнатович В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, г. Томск, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: kuznetsow_sa@mail.ru

На сегодняшний день остро стоит проблема исследования напряженности электростатического поля в сложных изоляционных конструкциях мощных силовых трансформаторов, задачи расчета которых невозможно свести к плоским или осесимметричным.

Отсюда вытекает необходимость применения программ, позволяющих решать трехмерные задачи. Но прежде, чем проводить моделирование и решение таких задач, необходимо получить достоверную информацию о сходимости результатов такой программы с применяемой на предприятии методикой расчета изоляции силовых трансформаторов и результатами проверенных программ.

Объектом исследования является главная изоляция в канале между обмотками НН и ВН трансформатора ТРДЦН 100000/220.

Целью исследования является обоснование возможности применения среды ANSYS для расчета электрической прочности изоляции силовых трансформаторов.

В статье описывается решение одной из задач исследования – сравнительного анализа результатов расчета электрической прочности главной изоляции силового трансформатора по следующим методикам:

- ВЭИ им. Ленина [1], базирующаяся на результатах Панова А.В. и Морозовой Т.И. и использующая аппроксимацию вида

$$E_{пр.мин}(d) = B + C/\sqrt{d}\ ;$$

- РТМ 16.800.853-81 [2] и его дальнейшее развитие в виде методики ОАО «ВИТ», использующие аппроксимацию вида $E_{пр.мин}(d) = A \cdot d^{-m}$;

- Weidmann (Weidmann Design Curves), широко применяемые на зарубежных трансформаторных заводах и использующие аппроксимацию вида $E_{пр.мин}(d) = A \cdot d^{-m}$.

Решению указанной задачи предшествовали получение трехмерной картины распределения электростатического поля в главном канале силового трансформатора в среде ANSYS, расчет напряженности поля и коэффициентов запаса, сравнении полученных напряженностей с допустимыми по методике расчета главной изоляции обмоток трансформатора, разработанной ВЭИ им. Ленина.

Расчет воздействующих напряженностей и коэффициентов запаса по методике ВЭИ (Т.И. Морозовой) проводится следующим образом [1]:

1. Средняя напряженность в масляном канале вычисляется как результирующая напряженность в точке середины силовой линии или отрезка, проведенных от поверхности изоляции угла катушки до первого барьера.

2. От каждого угла катушки расчетной обмотки проводится два отрезка. Так, например, у катушки 2 результирующая напряженность у верхнего угла определяется по отрезкам a21 и a22 (рис. 1).

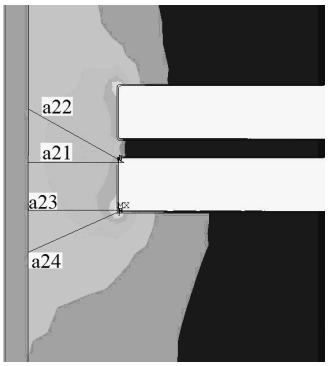


Рис. 1. Отрезки для расчета средней напряженности поля

Горизонтальный отрезок a21 (0 град.) расположен между поверхностью изоляции катушки и первым цилиндром. Он проходит через центр закругления провода. Отрезок a22 (30 град.) расположен под углом 30 град. к горизонтали в сторону ближайшей катушки и также проходит через центр закругления провода.

3. У нижнего угла второй катушки напряженность определяется по отрезкам a23 и a24.

4. По каждому отрезку определяется воздействующая напряженность, допустимая и коэффициент запаса. Критерием для оценки прочности служит наименьшее значение коэффициента запаса Кз.

В целом, используемые в этих методиках зависимости $E_{пр.мин}(d)$, соответствующие одноминутному испытательному напряжению промышленной частоты (ОПЧ), дают близкие результаты для типовых значений ширины масляных каналов. Но, несмотря на это, в итоговых результатах оцен-

ки прочности при использовании этих методик имеют место расхождения, вызванные следующими причинами [3]:

1. Методика Weidmann базируется на пересчете импульсных воздействий в эквивалентные одноминутные напряжения с постоянным коэффициентом пересчета, не зависящих от размера масляного канала и вне зависимости от области обмотки. При этом используются «заниженные» значения коэффициентов импульса для полного грозового (ПГИ) импульса, равный 1.63, что дает большие расчетные воздействия на изоляцию и более консервативную оценку прочности при импульсных воздействиях. При этом в отечественных работах для главной изоляции были получены коэффициенты импульса в диапазоне 1,9-2,1 для ПГИ, и в РТМ [2] заложено значение 1,96.

2. В методике ВЭИ введен учет размеров обмоток при выборе допустимых напряженностей с целью учесть «эффект объема», поскольку ввиду статистического характера электрического пробоя жидких диэлектриков и современных представлений о механизмах пробоя жидкостей, помимо «эффекта толщины» для масляной изоляции имеет место также «эффект объема», то есть влияние на пробивные напряженности величины «напряженного объема масла», находящегося в области сильных полей. В оставшихся двух методиках такого учета нет.

3. В методиках ВИТ и ВЭИ вводится снижение допустимых напряженностей для области края обмоток вплоть до 25%, и в частности для неэкранированных емкостными кольцами обмоток, что отсутствует в методике Weidmann.

Значения минимальных коэффициентов запаса для области середины обмотки, соответствующих испытаниям ОПЧ, ДПЧ и ПГИ приведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, для ОПЧ полученные по методике Weidmann коэффициенты запаса оказались на 24-25% большими, чем по методике ВЭИ, а результаты по РТМ расходятся с ВЭИ на 9,2-10,5%. Столь большое расхождение с Weidmann объясняется наличием в методике ВЭИ учета «эффекта объема» (в рассмотренном примере средний диаметр обмотки ВН более 2 м). Расхождение методики ВЭИ с РТМ в первую очередь вызвано учетом «эффекта объема» и различными зависимостями допустимой напряженности для области емкостного кольца и крайней катушки.

Таблица 1

Значения коэффициентов запаса для главного канала по приведенным методикам

Воздействие	Имя отрезка	Коэффициент запаса			Расхождение с методикой ВЭИ, %	
		ВЭИ	РТМ	Weidmann	РТМ	Weidmann
ОПЧ	a21	1,28	1,42	1,7	9,2	24,1
	a22	1,29	1,43	1,71	10,5	25,1
	a23	1,29	1,44	1,71	10,5	24,5
	a24	1,47	1,63	1,94	10	24,2
ДПЧ	a21	1,26	1,41	1,7	10,6	25,8
	a22	1,11	1,25	1,5	11,2	26
	a23	1,13	1,26	1,52	10,3	25,6
	a24	1,15	1,28	1,55	10,1	25,8
ПГИ	a21	1,05	1,41	1,64	25,6	35,9
	a22	0,95	1,26	1,47	24,6	35,3
	a23	0,96	1,29	1,49	25,5	35,5
	a24	0,98	1,31	1,52	25,1	35,5

Для ПГИ получены большие расхождения методик ВЭИ и Weidmann, что объясняется упомянутыми ранее заниженными значениями коэффициента импульса с одной стороны и учетом в методике ВЭИ «эффекта объема». Таким образом, для полного грозового импульса имеют место наиболее отличающиеся результаты.

Для дальнейшего развития и уточнения вышеупомянутых методик, например в части влияния «эффекта объема» на пробивные напряженности маслобарьерной изоляции, необходимо дальнейшее проведение сопоставительных расчетов для конструкций главной изоляции трансформаторов высших классов напряжения, в особенности повредившихся при испытании.

Список литературы

1. Методика расчета главной изоляции обмоток трансформатора (ЕРК) Пояснительная записка, 621.0213427.00063-0181 01-ЛУ, Т.И. Морозова, 1997 г.
2. РТМ 16.800.853-81. Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110-750 кВ. Методика расчета изоляции между обмотками. 1981.
3. Лоханин А. К., Ларин В. С., Матвеев Д. А. Состояние и проблемы развития систем проектирования внутренней изоляции трансформаторного оборудования // V Международная конференция «Силовые трансформаторы и системы диагностики». Москва, 2009.

ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ИСКРЕНИЯ

Ларин А.О., Берг А.Ю.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Email: larin-lexx@mail.ru

В настоящее время в России в частности компанией «РЖД» в большом количестве используются двигатели постоянного тока. Серьёзной проблемой данных двигателей является коммутация, которая, в конечном счёте, определяет ресурс двигателя. И в случае с тяговыми двигателями (ТЭД) большой мощности, используемыми на электровозах, этот вопрос особенно актуален. Мониторинг состояния тягового двигателя позволит чётко и однозначно утверждать остаточный ресурс двигателя и определять время, когда нужно будет произвести соответствующий ремонт.

На кафедре электромеханических комплексов и материалов энергетического факультета Томского политехнического университета проводятся работы по созданию системы мониторинга состояния ТЭД. Одной из задач в этом направлении является исследование адекватности оценки искрения устройствами контроля искрения (УКИ) от числа задействованных в мониторинге щёткодержателей. Исследования проводятся экспериментально на специальном стенде, имитирующем работу тягового электродвигателя, нагрузкой которого является синхронный генератор.

Устройство контроля искрения разработано на кафедре ЭМКМ и используется на испытательной станции ремонтного локомотивного депо «Тайга» в г. Тайга, для оценки коммутации ТЭД серии ТЛ-2К. Тяговые двигатели серии ТЛ-2К имеют 6 щёткодержателей в коллекторно-щёточном узле. Предполагается, что для анализа коммутации используемый 1 датчик УКИ, не позволяет судить о полной картине коммутации ТЭД. Одно устройство контроля искрения отображает лишь тип коммутации и общую величину искрения.

В настоящей статье приводятся результаты исследования искрения ТЭД таким количеством датчиков, которое соответствует количеству щёткодержателей в двигателе, что предполагает освоение новой методики проведения испытаний.

Для реализации этого метода и проверки полученных, в дальнейших испытаниях данных, было решено преобразовать схему подключения электродвигателя в соответствии с требованиями опытов. На рис. 1 показана принципиальная схема подключения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Для экспериментов был использован двигатель серии 4П-112, имеющий 4 основных и 4 дополнительных полюса.

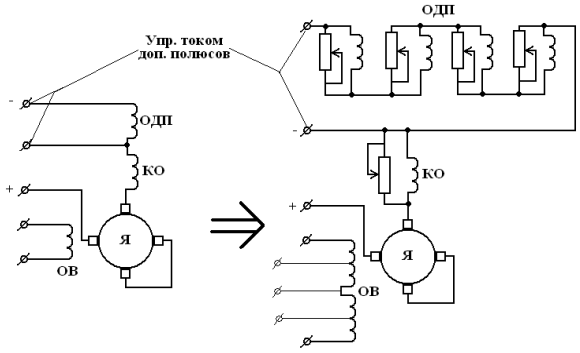


Рис. 1. Преобразование схемы подключения двигателя постоянного тока 4П-112

Основной же задачей экспериментов было получение картин коммутации в виде графиков, построенных по данным сигналов, поступающих с датчиков УКИ. При этом преобразование принципиальной схемы подключения, а главное введение в схему резисторов, шунтирующих отдельные части обмотки основных и дополнительных полюсов, позволило исказить магнитное поле испытуемой машины так, чтобы создать в зонах коммутации различные условия. Это позволило максимально приблизиться к реальным условиям эксплуатации ТЭД. Тяговый двигатель ТЛ-2К имеет полностью настраиваемую магнитную систему, то есть основные и дополнительные полюса имеют второй немагнитный зазор между сталью дополнительного полюса и остовом машины, в связи с этим возникает первоочередная проблема – симметричная настройка магнитной системы. Любая асимметрия магнитного поля вызывает отклонения в коммутационных процессах, а также влияет на номинальные частоты вращения в прямую и обратную стороны.

Рассимметрирование магнитного поля на испытуемом двигателе в лаборатории ТПУ не позволила проводить опыты путём подстройки второго немагнитного зазора полюсов, так как магнитная система набрана из штампованных листов одинакового контура, то есть основные и дополнительные полюса неотделимы от станины. В связи с этим в электрической схеме подключения предусмотрены построечные резисторы [1], изменяя величину сопротивления которых, можно ре-

гулировать ток, протекающий в обмотках каждого полюса по отдельности, что изменит степень влияния полюса или другими словами его намагничивающую силу.

В ходе исследования были проведены эксперименты, включающие следующие особенности:

1) создание различных по величине степеней влияния каждого из дополнительных полюсов, обеспечивая разницу в степени компенсации основных полей в зоне коммутации, что в конечном итоге повлияет на качество коммутации [2];

2) создание возможности нарушения симметрии магнитного поля главных полюсов, то есть создание различных степеней влияния каждого полюса обмотки возбуждения.

Также было принято решение о создании возможности отключения компенсационной обмотки из состава якорной цепи, что помогло в лучшей мере оценивать некомпенсированные ЭДС, влияющие на качество коммутации.

Как видно из рис. 1, было принято решение также исключить из якорной цепи и обмотку дополнительных полюсов, так чтобы была возможность проводить испытания вообще без влияния токов подпитки или отпитки, или если требуется – с учётом этих токов, по методу Касьянова [3].

В соответствии с требованиями опытов для обработки результатов использовалось программное обеспечение LabView.

На рис. 2 изображены сигналы, полученные с датчиков УКИ во время опыта при шунтировании одной половины 2-х ближних обмоток дополнительных полюсов в нагрузочном режиме при 3000 об/мин и при 4000 об/мин.

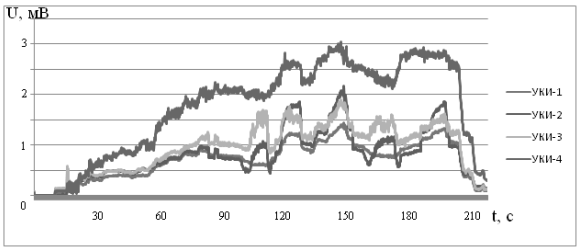


Рис. 2. Результаты опыта №1

Здесь по оси абсцисс отложено время эксперимента, а по оси ординат величина напряжения, получаемого с устройств контроля искрения.

Стоит отметить, что разница в показаниях датчиков, особенно УКИ-4, объясняется тем, что щётка, за которой был закреплён датчик, не была должным образом притёрта к коллектору. Значение амплитуды сигнала датчика УКИ-4, в основном, находится в диапазоне шкалы 2-3 мВ, что не соответствует норме. Анализируя полученные сигналы, можно сказать, что три из четырёх датчиков регистрируют напряжение не более значения 1 мВ по шкале. Видно, что при определённых условиях не все 4 установленных датчика воспринимают влияние токов, протекающих в обмотках дополнительных полюсов. А при других условиях эксперимента видно, что реагируют 4 датчика, но в разных степенях.

На рис. 3 приведены результаты опыта с шунтированием лишь одной из четырёх обмоток дополнительных полюсов. На рисунке ясно видно, что один из датчиков, а именно УКИ-3, не фиксирует изменение тока подпитки или отпитки.

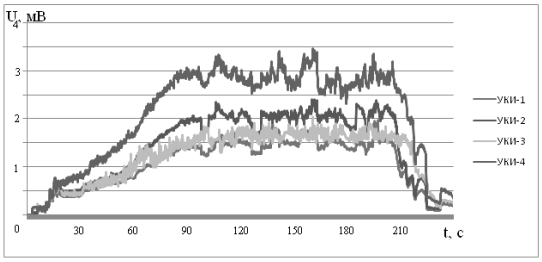


Рис. 3. Результаты опыта №2

Это можно понять, по отсутствию «ступенек» на кривой сигнала датчика. Данные резкие переходы являются более показательными и понятными, т.е. легко различить момент подключения или отключения источника тока к обмоткам дополнительных полюсов.

Таким образом, по результатам испытаний подтверждена необходимость использования датчиков контроля искрения на каждой щётке двигателя постоянного тока. Применение одного датчика УКИ не позволяет адекватно оценить коммутацию машины. Наблюдение за коммутацией каждой из щёток электродвигателя, позволяет правильно составить картину воздействующих магнитных полей и правильно оценивать степень влияния того или иного полюса магнитной системы электрической машины. В дальнейшем это позволит создать методику настройки магнитной системы ТЭД по требованиям коммутации, что позволит увеличить срок их службы.

Список литературы

1. Костенко М.П. Электрические машины. Специальная часть: учебное пособие для вузов / М. П. Костенко. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 712 с.
2. Хвостов В.С. Электрические машины ; Машины постоянного тока : учебник / В. С. Хвостов ; Под ред. И. П. Копылова. – М.: Высшая школа, 1988. – 335 с.
3. Касьянов В.Т. Реакция якоря машин постоянного тока. Вестник электропромышленности, 1940. – № 2. – С. 9–14.

СИНХРОННЫЙ ГИБРИДНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

Мартынов Л.Н.

Научный руководитель: Цукублин А.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: martinov927@mail.ru

Современное состояние и перспективы развития промышленности предопределяет широкое внедрение систем комплексной автоматизации и роботизации производственных процессов. В настоящее время автоматизация очень широко внедряется в промышленность, транспорт, сельское хозяйство, быт.

Весьма распространены в системах автоматики электрические машины. Они выполняют самые различные, порой весьма ответственные функции, например, приводят во вращение всевозможные механизмы, обеспечивают работу следящих систем и многое другое. Поэтому дальнейшее развитие автоматизации производства неразрывно связано с совершенствованием электрических машин.

Практика эксплуатации синхронных двигателей показала, что не всегда удается удовлетворить требованиям, предъявляемым со стороны электроприводов в конструкции одного, например, синхронно-реактивного, магнитоэлектрического или какого-либо другого электродвигателя. В связи с этим в последнее время довольно широкое распространение стали получать специальные электродвигатели в качестве приводов для различных систем комплексной автоматизации и роботизации производственных процессов. Одним из представителей специальных электродвигателей является так называемый синхронный гибридный двигатель (СГД), объединяющий в единой конструкции положительные свойства синхронно-реактивных и магнитоэлектрических машин. Особенно актуальным является вопрос о создании такого гибридного двигателя, основную долю мощности которого вырабатывала бы синхронно-реактивная машина, как наиболее дешевая и простая по конструкции, а энергия полюсов постоянных магнитов в полном объеме использовалась бы для повышения эксплуатационных характеристик двигателя.

Важной задачей, решаемой при разработке синхронных гибридных двигателей, используемых в электроприводе, является задача обеспечения их наиболее устойчивой работы в различных режимах функционирования. Приводные двигатели многих автоматических систем непрерывно работают в динамических режимах и, кроме того, переходные режимы на практике всегда присутствуют при функционировании электродвигателей. В силу вышесказанного обеспечение динамической устойчивости гибридного двигателя следует признать важной задачей.

С этой точки зрения особый интерес представляет вопрос о влиянии параметров отдельных машин СГД, и особенно соотношений между параметрами синхронно-реактивной и магнитоэлектрической машин на границы динамической устойчивости.

Вместе с тем, отсутствие теоретических исследований вопросов динамической устойчивости данного типа электродвигателей, существенно затрудняет проектирование и препятствует их внедрению в производство.

На основе специальной литературы была проведена сравнительная оценка различных видов синхронных микродвигателей на современном этапе развития техники. Необходимость такого анализа следует из того, что в различных диапазонах мощностей для разных областей практического применения следует постоянно искать оптимальный вариант двигателя.

Из всей номенклатуры синхронных машин в области мощностей от сотен ватт до нескольких киловатт наиболее пригодны синхронные реактивные двигатели (СРД) и синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ).

Можно предположить, что наиболее полно могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к электродвигателям, так называемые синхронные гибридные двигатели, сочетающие положительные свойства СРД и СДПМ. В настоящее время были проведены исследования и разработаны несколько видов конструкций СГД. Разработанные конструкции синхронных гибридных двигателей достаточно технологичны при изготовлении. Их можно изготавливать на базе серийных асинхронных (по конструкции статора) и синхронных реактивных (по конструкции ротора) электродвигателей. Существующие виды СГД по своим энергетическим характеристикам сравнимы с асинхронными двигателями в тех же габаритных размерах.

Один из видов синхронных гибридных двигателей имеет следующую конструкцию. Ротор гибридного двигателя состоит из двух или нескольких составных частей, расположенных на валу в аксиальном направлении. Одна часть комбинированного ротора представляет собой бочку ротора усовершенствованного синхронного реактивного

двигателя. Вторая часть также имеет вид усовершенствованного СРД, только в дополнительных внутренних пазах располагаются постоянные магниты. Магнитоэлектрическая часть комбинированного ротора может располагаться с одного торца, либо с обоих торцов ротора усовершенствованного СРД. При этом существует возможность изменять угол взаимного пространственного расположения осей полюсов составных частей комбинированного ротора (рис.1).

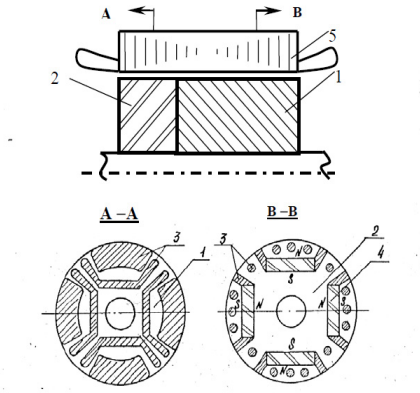


Рис. 1. Конструкция синхронного гибридного двигателя. 1 – лист ротора СРД; 2 – лист ротора СДПМ; 3 – пазы залитые алюминием; 4 – постоянные магниты.

Таким образом, в настоящее время конкурентом синхронного реактивного двигателя и синхронного двигателя с постоянными магнитами, используемых в электроприводах, может стать синхронный гибридный двигатель. Однако одним из главных препятствий для серийного производства СГД является то, что практически не велись исследования по их устойчивости.

Процессы в СГД в общем случае имеют характер электромеханических переходных процессов, то есть принимаются во внимание механическая и электрическая инерционность двигателя. Поэтому возникает необходимость совместного рассмотрения уравнений равновесия напряжений электрических контуров машины и уравнения моментов. При исследовании динамической устойчивости частота вращения ротора − переменная величина. Поэтому строгое рассмотрение динамической устойчивости связано с решением нелинейных дифференциальных уравнений. В общем случае решение этих уравнений возможно только численными методами.

При конечных возмущениях характер протекания переходного процесса зависит не только от исходного режима машины, но и от вида возмущения. Простейшее возмущение − это внезапное изменение какой-либо величины, остающейся затем постоянной, например внезапное увеличение или снижение нагрузки на валу синхронного двигателя. На практике встречаются возмущения в виде одного или ряда импульсов (кратковременная нагрузка двигателя). В общем случае возмущение может иметь сложный характер во времени.

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЧЕРНОВОЙ КЛЕТИ ПРОКАТНОГО СТАНА

Мигунов Д.В.

Научный руководитель: Мещеряков В.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: dmitrymigunov@yahoo.com

Металлургические машины относятся к машинам циклического нагружения, которое нередко является ударным, что приводит к возникновению в них больших динамических нагрузок [1]. Динамические нагрузки колебательного характера являются основными нагрузками, определяющими прочность и долговечность элементов конструкции прокатных клетей. Величина и характер колебательных нагрузок зависят от динамических параметров упругих систем (жесткости связей и масс), закона изменения технологического нагружения, а также от зазоров в узлах соединения деталей (в муфтах, зубчатых передачах, шарнирных шпинделях). Кроме того, применение в качестве привода синхронного двигателя с жесткой механической характеристикой является одной из основных причин интенсивности колебаний как при пуске вхолостую, так и при захвате раската валками.

Известны различные конструктивные и технологические способы для снижения динамических нагрузок, возникающих в процессе захвата и прокатки металла валками черновых клетей. Часть из них основана на распределении масс и жесткостей элементов кинематической цепи клети (валторсионы), изменении скорости технологического сопротивления (рез переднего конца раската по угловому или шевронному контуру), а также на закрытии угловых зазоров (уравновешивающие устройства) [2].

Данные технические решения обладают рядом недостатков: изменение и усложнение элементов кинематической цепи клети, установка дополнительного оборудования, а также увеличение расходного коэффициента металла. Рассмотренные способы снижения динамических нагрузок были разработаны без учета демпфирующих свойств электропривода. Из-за того, что для данного типа клетей в качестве привода были приняты мощные высоковольтные синхронные двигатели, скорость которых не регулировалась, в связи с отсутствием высоковольтных преобразователей частоты мощностью 10 МВт и более. В настоящее время широкое использование данных преобразователей частоты ограничивается их высокой стоимостью.

В связи с этим, предлагается устройство (рис.1), технической задачей которого является снижение динамических нагрузок, возникающих при захвате раската горизонтальными валками черновой клети прокатного стана, за счет регулирования электромагнитного момента синхронного двигателя с помощью возбудителя с двухполярным регулируемым напряжением.

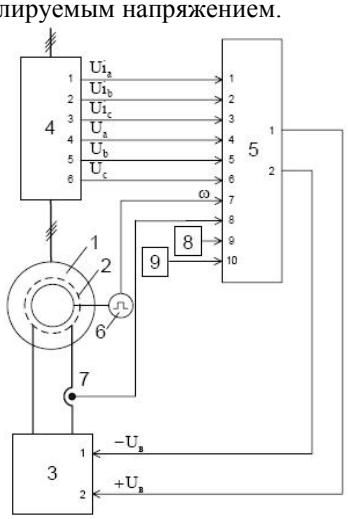


Рис. 1. Структурная схема устройства для снижения динамических нагрузок электропривода черновой клети прокатного стана

Устройство для создания форсирующего электромагнитного момента синхронного двигателя 1, обмотка статора которого подключена к напряжению питающей сети, обмотка возбуждения (ОВ) 2 – к возбудителю 3 с двухполярным регулируемым напряжением, содержит блок измерительных преобразователей 4, блок логики (БЛ) 5, датчик скорости (энкодер) 6, датчик тока возбуждения 7 и датчик наличия металла (ДНМ) 8. Блок измерительных преобразователей содержит трансформаторы тока и напряжения, с выходов которого напряжения Ui_a, Ui_b, Ui_c, U_a, U_b и U_c, пропорциональные мгновенным значениям фазных токов и напряжений статора, поступают на первые шесть входов БЛ, где осуществляется вычисление электромагнитного момента М по формуле:

$$M = [(U_a - i_a R_a) i_a + (U_b - i_b R_b) i_b + (U_c - i_c R_c) i_c] / \omega, \quad (1)$$

где U_a, U_b и U_c – фазные напряжение статора; i_a, i_b и i_c – фазные токи статора; R_a, R_b и R_c – активные сопротивления обмоток статора; ω – угловая скорость вращения ротора. На седьмой вход БЛ поступает сигнал с энкодера, на восьмой вход – с датчика тока возбуждения. Дискретный сигнал от ДНМ поступает на девятый вход БЛ. Данный датчик должен быть расположен на пути движения раската не ближе, чем на расстоянии $l_д$ от точки контакта раската с горизонтальными валками, которое можно вычислить по формуле:

$$l_д = v t_{12},$$

где v – линейная скорость движения раската; t_{12} – время переходного процесса формирования форсирующего вращающего момента.

Время переходного процесса t_{12} определяется, как разница между моментами времени t_2 и t_1, представленными на временной диаграмме захвата раската валками с использованием предлагаемого устройства (рис. 2) в случае приема номинальной нагрузки M_c.

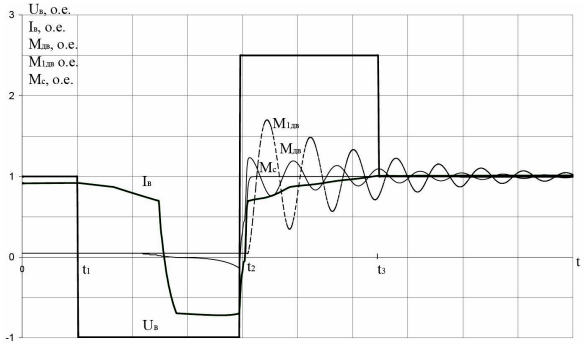


Рис. 2. Временная диаграмма захвата раската горизонтальными валками черновой клети прокатного стана

Временная диаграмма получена в результате математического моделирования работы черновой клети непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 при использовании предлагаемого устройства, выполненного с помощью пакета Simulink 7.1. Математическая модель реализована на основе двухмассовой электромеханической системы главного привода черновой клети. В модели использовалось математическое описание трехфазного явнополюсного синхронного двигателя с демпферной обмоткой в осях d–q [3], а также экспоненциальная функция нарастания момента прокатки, так как она полнее отражает характер нагружения привода [4].

После завершения процессов пуска, двигатель работает в синхронном режиме, на выходах возбудителя сформировано номинальное постоянное по знаку напряжением $U_в$. В момент времени t_1 по сигналу от ДНМ блок логики подает сигнал $–U_в$ на первый вход возбудителя, который, в свою очередь, изменяет полярность прикладываемого к ОВ напряжения, что приводит к реверсу тока возбуждения $I_в$. Изменение тока возбуждения приводит к убыванию электромагнитного момента и переходу работы двигателя в асинхронный режим, вследст-

вие чего в демпферной обмотке формируется синхронизирующий момент. Во время данного переходного процесса в БЛ фиксируется знак, а также минимальное и максимальное значение электромагнитного момента $M_{дв}$, рассчитанного по формуле (1), производится расчет угловой скорости вращения ротора по показания энкодера. Кроме того, измеряются мгновенные значения тока $I_в$ в ОВ. При фиксации минимума момента БЛ изменяет полярность напряжения, посредством подачи сигнала $+U_в$ на второй вход возбудителя, и к ОВ прикладывается форсированное напряжение, тем самым увеличивается ток возбуждения. Работа возбудителя с форсированным напряжением на интервале возрастания момента обеспечивает введение ЭДС в цепь ОВ, включенной согласно с ЭДС, наводимой вращающимся полем статора, что обеспечивает дополнительный рост тока $I_в$, а следовательно, и момента $M_{дв}$. При изменении знака электромагнитного момента, что соответствует моменту времени t_2 на временной диаграмме (рис. 2), начинается процесс наброса нагрузки, который представлен в виде кривой статического момента M_c. Указанные мероприятия позволяют повысить значение электромагнитного момента при входе металла в клеть, тем самым ограничивая амплитудные значения момента двигателя во время переходного процесса прокатки раската. После достижения током возбуждения номинального значения к ОВ прикладывают номинальное напряжение за счет уменьшения амплитуды сигнала $+U_в$, что соответствует моменту времени t_3 на временной диаграмме.

Блокировка регулирования выходного напряжения возбудителя БЛ в аварийном режиме или режиме пуска осуществляется подачей дискретного сигнала на десятый вход БЛ от контроллера 9 системы управления клетью.

Для оценки эффективности работы устройства на временной диаграмме (рис. 2) представлена кривая момента двигателя $M_{1дв}$ без использования предлагаемого устройства. Коэффициент динамичности, в результате использования устройства, снизился в 1,38 раза.

Таким образом, устройство, основанное на регулировании напряжения возбуждения двигателя с помощью преобразователя с двухполярным напряжением, позволяет существенно снизить динамические нагрузки в электроприводе главных линий черновых клетей станов горячей прокатки с мощными высоковольтными синхронными двигателями, увеличить долговечность оборудования.

Список литературы

1. Иванченко Ф.К. Динамика металлургических машин / Ф.К. Иванченко, В.А. Красношапка. – М.: Металлургия, 1983. – 295 с.
2. Повышение работоспособности прокатного оборудования за счет снижения динамических нагрузок / Б.Е. Житомирский, С.Д. Гарцман, А.А. Филатов и др. // Металлургическое оборудование (ЦНИИИиТЭИпТТМ). – 1982. – №33.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
4. Коцарь С.Л. Динамика процессов прокатки / С.Л. Коцарь. – М.: Металлургия, 1997. – 256 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ Т-ОБРАЗНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михайлов И.Ю., Гирник А.С.

Научный руководитель:Федянин А.Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mihaylov_iy@mail.ru

При проведении периодических испытаний асинхронных двигателей большую помощь может оказывать автоматизация измерения параметров электрических машин. Такой подход позволяет существенно сократить энергозатраты и время на испытания.

Определение параметров электрической машины по Т-образной схемы замещения является одним из рациональных методов реализации данного подхода

Расчет данных параметров требует проведения отдельных опытов и математических операций [1].

В данной статье рассмотрена автоматизация определения параметров Т-образной схемы замещения (рис. 1), которая уменьшает затрачиваемое время на проведение периодических и приемосдаточных испытаний. Для определения параметров схемы замещения производится ряд опытов [2]:

- опыт холостого хода (ХХ);
- опыт короткого замыкания (КЗ);
- опыт с вынутым ротором (ВР).

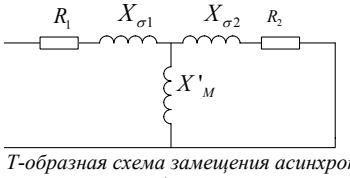


Рис. 1. Т-образная схема замещения асинхронного электродвигателя

Первоначально нужно измерить активное сопротивление обмотки статора R_1 омметром, после чего провести опыт холостого хода и измерить линейное напряжение и произвести пересчет на фазное $U_{Ф1}$, а также ток холостого хода I_{XX} испытуемого двигателя [3]. По результатам данного опыта рассчитывается индуктивное сопротивление цепи намагничивания $X_m = \frac{U_{Ф1}}{I_{XX}}$ (1).

Следующим шагом является проведения опыта с вынутым ротором, т.е. напряжение подается на обмотку статора, также измеряя линейное напряжение, пересчитывая его в фазное $U_{Ф1}$ и проходящий в статоре ток I_1. Результатом проведения данного опыта является расчет индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора $X_{\sigma 1} = \frac{U_{Ф1}}{I_1}$

Последним этапом в определении параметров схемы замещения является опыт короткого замыкания, при котором ротор двигателя фиксируется в неподвижном положении с помощью металлической трубы закрепленной на роторе. На обмотку статора подается пониженное напряжение порядка 130-150 В [4]. Пониженное напряжение подается от фазорегулятора (такой способ является самым простым и дешевым). Проведение опыта КЗ должно занимать не более 3 секунд, чтобы избежать перегрева и нарушения целостности изоляции двигателя. В этом опыте аналогично снимается напряжение, $U_{Ф1}$, мощность $P_{кз}$ и ток $I_{кз}$, рассчитывается индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора по формуле $X_{\sigma 2} = \frac{\sqrt{U_{Ф1} \cdot I_{КЗ} - P_{КЗ}}}{I_{КЗ}^2} - X_{\sigma 1}$.

Впоследствии, определяется активное сопротивление обмотки ротора $R'_2 = \frac{P_{КЗ}}{I_{КЗ}^2} - R_1$.

Полученные расчетные данные являются параметрами схемы замещения. Такой подход может быть использован для расчета рабочих и механических характеристик ИД.

Для определения параметров схемы замещения на физической установке разработана система автоматического измерения и обработки данных.

Разработанная система регулирует подаваемое напряжение на статор испытуемого двигателя (ИД), также производит снятие показаний с датчиков тока, напряжения, мощности и обрабатывает данные, согласно методике описанной выше.

Принципиальная электрическая схема установки изображена на рис 2. На ней обозначены:

- M1, M2 – фазорегулятор ФРО-72;
- M3 – испытуемый асинхронный двигатель;
- DT1 – датчик тока LEM LF-500F;
- DA1 – датчик напряжения LEM LV25-P/SP5;
- DP1 – датчик мощности LEM LP-100C;
- ПЛК – программируемый логический контроллер Moeller XC 100 с модулями дискретного ввода и вывода данных,
- POW – блок питания ПЛ 24 В;
- QX1-QX4 – контакты модуля дискретного вывода ПЛК.

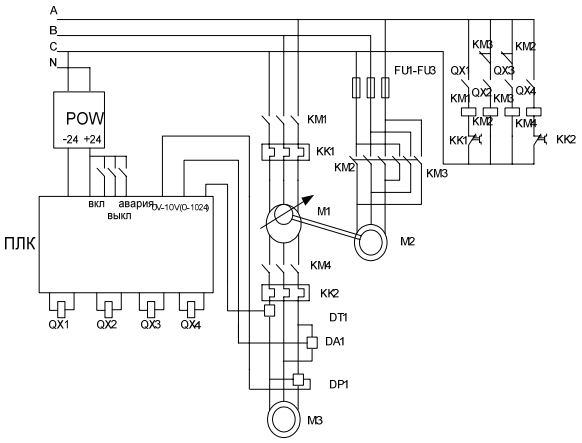


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема установки для определения параметров Т-образной схемы замещения

Для более детального представления о работе программы по определению параметров схемы замещения, необходимо рассмотреть опыт XX, листинг которой представлен на рис. 3.

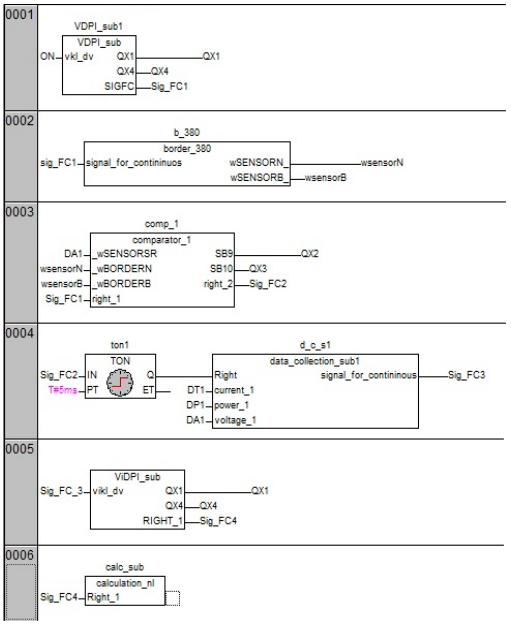


Рис. 3. Листинг программы опыта XX

При поступлении сигнала о включении установки, блок VDPI_sub1 подает напряжение питания на ФРО-72 и с задержкой в 30 с. подает питание на ИД. После этого блок border_380 задает допустимые пределы подаваемого на ИД напряжения. Блок comparator_1 сравнивает сигнал, поступающий с DA1 (линейное напряжение холостого хода), с допустимыми пределами заданными в блоке border_380, и, либо подает разрешающий сигнал на снятие показаний с остальных датчиков, либо регулирует напряжение, поступающее с ФРО-72, замыкая контакты QX3 и QX4. Следующим шагом является снятие показаний с датчиков тока (I_{XX}), напряжения (пересчитываемое в $U_{Ф1}$), которые поступают в модуль аналогового ввода и записываются в массивы для последующей мате-

матической обработки (блок data_collection_sub1). Последующим шагом блок ViDPI_sub выключает установку от сети. Завершающим шагом является математическая обработка массивов записанных данных (1), согласно методике предложенной выше, а также перенос данных на ПК в формате MS Excel для формирования отчета об испытаниях. Алгоритм работы программы при проведении опытов КЗ и ВР аналогичен. Реализация программы производилась в среде Codesys v.2.3.

Список литературы

1. П.П. Свит, Б.В. Семкин. «Определение параметров схем замещения асинхронных двигателей небольшой мощности». Ползуновский альманах №3, 2004, с. 96-99.
2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 652 с.
3. И.П. Копылов. Проектирование электрических машин – Учебник для ВУЗов – М: Высшая школа, 2002 – 757 с.
4. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. – М.: Высш. шк., 2000. – 255 с.

ОТКАЗЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Музер К.Г.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: expert88@sibmail.com

Одним из путей увеличения производительности труда в угольной, химической и других отраслях промышленности с взрывоопасными производствами и повышения безопасности работ является дальнейший рост энерговооруженности труда, механизации и автоматизации производственных процессов, качества и надежности взрывозащищенного электрооборудования (ВРЭО). Надежность ВРЭО и систем электроснабжения (СЭС) предприятий с взрывоопасными производствами – важнейший фактор, определяющий эффективность электрификации н безопасность труда.

Для всех видов ВРЭО проблема надежности наиболее остра для асинхронных двигателей (АД) вследствие того, что они, являясь самой массовой продукцией электромашиностроения и технической базой электрификации всех отраслей народного хозяйств. Увеличение надежности АД дает относительно больший экономический эффект, чем улучшение любых других показателей АД (массы, габаритов, КПД, коэффициента мощности), причем эффект возрастает пропорционально энерговооруженности труда [1]. Одним из способов воздействия на повышения надежности ВРЭО является анализ отказов и повреждений, а также причин вызывающих их.

Цель работы – анализ отказов и повреждений взрывозащищенных асинхронных двигателей, которые влияют на их надежность.

Для достижения заданной надежности асинхронных двигателей в эксплуатации особую роль занимают экспериментальные оценки, которые позволяют оценить фактические показатели надежности.

Для анализа причин отказов АД одним из важнейших этапов является классификация отказов. Она проводится и используется при анализе, оценке и контроле надежности, а так же при нормировании показателей, определении влияния на надежность факторов конструкции, изготовления и эксплуатации.

Основные признаки классификации отказов приведены в [2].

Источниками сведений об отказах является как дефектация на ремонтных заводах при проведении капитального ремонта (КР), так и дефектация непосредственно на месте эксплуатации. Анализ отказов АД по причине поломки обмотки статора в ремонтных цехах выявил, что неисправности во внутренней полости статора и обмотки связаны с попаданием угольной пыли, влаги, а также смазки подшипников. Последнее возможно по нескольким причинам:

- персонал использует для пополнения подшипников низкокачественные марки смазок с низкой температурой каплепадения либо химически несовместимые с заводской смазкой, что вызывает разложение смеси смазок и ее вытекание;
- переполнение подшипников смазкой под давлением шприца выжимает смазку внутрь станины;
- возможно выбрасывание смазки при увеличении зазора лабиринтных уплотнений в результате их износа.

Виды и причины отказов всех сборочных единиц даны в таблице 1. Большинство отказов приходится на обмотку статора при всыпных обмотках и с жесткими катушками. Вторичные отказы обмоток происходят из-за проникновения влаги внутрь АД, так же из-за отсутствия защиты от перегрева в режиме КЗ при заклинивании рабочих машин. Для обмоток статора с жесткими катушками более уязвимыми являются лобовые части со стороны, противоположной схеме соединения,

пазовая часть, оба выхода из паза и головки катушек в схеме соединения. Для всыпных обмоток подобное явление не установлено. Анализ зависимости состояния открытых подшипников от состояния их смазки показывает, что при загрязнении смазки вначале появляются потемнение подшипников от перегрева, коррозия, усталостные повреждения и даже разрушения отдельных подшипников, затем появляется абразивный износ и очень сильно возрастают все виды дефектов, особенно коррозия, и, в конце концов, происходит разрушение подшипников.

Таблица 1

Виды и причины отказов сборочных единиц

Отказавший узел	Вид отказов	Причина отказов
Обмотка статора	Витковое замыкание	Конструктивное несовершенство, дефекты изготовления, естественный износ и старение
	Межфазное замыкание	
	Пробой корпусной изоляции	
	Снижение сопротивления изоляции	
	Совместное межфазное и корпусное замыкание	
	Обрыв в схеме соединения	
	Обугливание и пробой изоляции, перегорание и замыкание проводников	Заклинивание насоса и перегрев обмотки
	Снижение сопротивления изоляции	Интенсивное проникновение влаги внутрь АД
Ротор	Выплавление обмотки ротора	Дефекты изготовления
	Затир ротора о статор	Естественный износ подшипника
Подшипниковый узел	Разрушение и заклинивание подшипника	Недостаточная смазка, проникновение пыли и влаги
Вентилятор	Поломка всех лопастей вентилятора	Попадание штыба внутрь кожуха, смятие кожуха
Вал	Разбит шпоночный паз	Применение нестандартной шпонки
Двигатели	Отказов не имеют	-

Сведения, полученные при дефектация непосредственно на месте эксплуатации, являются наиболее достоверными, так как в дефектацию не попадают повреждения, полученные АД при транспортировании от забоя до ремзавода, при хранении в ремонтном фонде и т. д. Однако, на месте эксплуатации трудно определить причину отказа из-за отсутствия соответствующих приборов и стендов. Причинами отказов нередко является ошибки персонала при эксплуатации АД, а так же приборов показывающие его работоспособность. Из числа ошибок энергомеханической службы отметим две:

- нередко отключаются датчики дифференциально-температурной защиты, что позволяет эксплуатировать АД при недопустимой высокой нагрузке и чрезмерной частоте пусков, что приводит к выходу из строя обмотки статора;
- применяются несовместимые марки смазок – перемешиваясь в подшипнике, они разлагаются, превращаясь в жидкую массу, что приводит в свою очередь к выходу из строя подшипникового узла.

Таким образом, анализируя отказы и повреждения взрывозащищенных АД, а так же причины их возникновения, можно сделать вывод о необходимости проведения постоянных испытаний на надежность. Комплекс мероприятий, разрабатываемый для достижения заданной надежности всех двигателей, должен состоять из следующих разделов:

- конструкционные мероприятий включают в себя разработку требований к материалам и комплектующим изделиям, обеспечению ремонтопригодности и сохраняемости, ограничения по номенклатуре комплектующих частей и материалов;
- производственно-технологические мероприятия включают в себя меры по улучшению качества изготовления, требования к способам и продолжительности технологического прогона изделий, периодичности, объемам и методам испытаний на надежность серийно изготавливаемых изделий;
- эксплуатационные мероприятия содержат требования к системе технического обслуживания и ремонта, средствам ее материально-технического оснащения, формированию состава запасных частей, инструментов и принадлежностей, квалификации обслуживающего персонала, соблюдению правил консервации, хранения и транспортировки.

На всех этапах разработки перечисленных мероприятий активно должна использоваться ремонтная и эксплуатационная информация о надежности асинхронного двигателя, данные о показателях надежности отдельных сборочных единиц и деталей, об однородности разных выборок (т.е. о влиянии отличающих эти выборки конструктивных, производственных или эксплуатационных факторов) и другие сведения.

Список литературы

1. Ванеев Б. Н., Горягин В. Ф. Учет надежности при оптимальном проектирования взрывозащищенных асинхронных электродвигателей // Электротехника.- 1990.- № 9.
2. Захарченко П. И., Ширнин И.Г., Ванеев Б. Н., Гостищев В. М. Обеспечение надежности асинхронных двигателей// УкрНИИВЭ.- Донецк, 1998. – 324 с.

НЕИСПРАВНОСТИ ПОДШИПНИКОВГО УЗЛА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ

Мукантаев А.К.

Научный руководитель: Муравлев О. П., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mukantai@sibmail.com

В силу простой конструкции и, при условии правильной эксплуатации, высокой надежности трехфазные асинхронные двигатели общего назначения напряжением до 1000 В получили очень широкое применение в различных отраслях промышленности. В большинстве случаев их применяют в качестве привода различных промышленных установок. То же можно сказать и об асинхронных двигателях напряжением 6 кВ. Они имеют ту же конструкцию и назначение, а именно, служат электроприводом различных технологических установок. И, как известно, соблюдение регламента технологического процесса на предприятиях невозможно без надежной работы всех машин и механизмов, входящих в состав технологического оборудования. Поэтому сбор и эффективный анализ данных об отказах этих двигателей в процессе эксплуатации может привести к принятию действенных мер, влияющих на повышение надежности, а следовательно и эффективности, не только самих электродвигателей, но технологических установок, в состав которых они входят. Данный прирост эффективности в работе ответственного технологического оборудования неизбежно приведет к повышению эффективности всего технологического процесса предприятия, что на настоящий момент является актуальнейшей задачей всей промышленности в целом.

По результатам оценки собранных данных об отказах асинхронных двигателей напряжением 6 кВ, задействованных в различных установках Теплоэлектроцентрали №2 города Астаны, был выделен ряд наиболее часто встречающихся отказов (рис. 1.):

- отказы подшипникового узла;
- отказы обмоток статора;
- отказы ротора.

Поскольку отказы в подшипниковом узле по количеству превосходят все остальные, то целью статьи является более детальное рассмотрение дефектов, приводящих к отказам именно подшипникового щита, а также рассмотрение способов диагностирования данных дефектов, для своевременного реагирования.

Подшипниковый узел очень важная и ответственная конструктивная часть любой электрической машины. Конструкция подшипникового узла электрической машины должна обеспечивать фиксацию положения вала в радиальном и осевом направлении и вместе с тем возможность теплового удлинения вала без нарушения нормальной работы подшипников, т.е. без нагружения их дополнительными осевыми нагрузками.

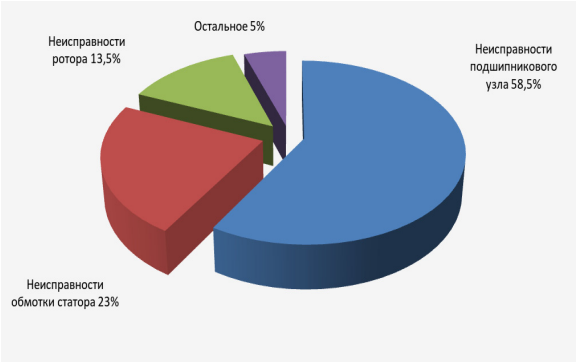


Рис. 1. Виды отказов асинхронных двигателей напряжением 6 кВ

Ненормальная работа подшипниковых узлов обнаруживается по чрезмерному повышению температуры, шума и вибрации, утечке смазки, повышенному сопротивлению при вращении и увеличению момента трогания.

Основными же причинами неисправностей являются [1,2]:

- загрязнение подшипника в результате проникновения в него пыли, мелких твердых частиц, продуктов коррозии;
- чрезмерное трение уплотняющей набивки подшипника о вал;
- износ или разрушение деталей подшипника;
- плохая центровка электродвигателя с приводимой машиной;
- неправильная установка подшипника;
- неправильный выбор подшипника для данных нагрузок и скоростей вращения;
- искривление вала или его шеек и др.

Достоверное определение количественных показателей надежности подшипниковых узлов невозможно без учета влияния на них технологических и эксплуатационных факторов.

Для удобства анализа эти факторы могут быть представлены в виде следующих трех групп [1].

1. Факторы, определяемые технологией изготовления деталей и узлов самой электрической машины, управление которыми возможно путем регулирования технологического процесса по результатам его контроля. Сюда относятся: диаметр цапф под подшипник, класс их обработки, статистический и динамический эксцентриситеты, величина воздушного зазора, овальность колец подшипниковых щитов и цапф, перекос колец, биение колец и цапф.

2. Факторы, определяемые качеством собственно подшипника и технологией сборки электрической машины в целом, непосредственный контроль которых возможен в существующем технологическом процессе. К таким факторам следует отнести: номинальный радиальный зазор подшипника, внутренний диаметр кольца подшипника, радиусы дорожек качения внутреннего и наружного колец, вязкость смазки.

3. Факторы, возникающие в эксплуатации: коэффициент нагрузки, тип передачи, зазоры в приводе, характер нагрузки, температура смазки.

Единственным путем уточнения прогноза надежности в этих условиях является уменьшение рассеяния (разброса) факторов, ее определяющих, поскольку все они являются событиями случайными.

Долевое влияние j-й группы факторов на долговечность определяется соотношением [1]:

$$k_j = \sigma_j / \sigma ,$$

где σ_j – среднеквадратичное отклонение долговечности, обусловленное фактором j-й группы; σ – суммарное среднеквадратичное отклонение.

Статистические характеристики величин могут быть оценены либо справочным данным на подшипники (среднеквадратичное отклонение динамической грузоподъемности – σ_C или динамической нагрузки – σ_Q), либо получены путем статистической обработки экспериментальных данных (среднеквадратическое отклонение температуры – σ_t и параметров смазочной пленки – σ_λ).

Тогда для рассматриваемой группы факторов рассеяние долговечности подшипника может быть найдено в виде [1]:

$$\sigma = \sqrt{c_c^2 \cdot \sigma_c^2 + c_t^2 \cdot \sigma_t^2 + c_Q^2 \cdot \sigma_Q^2 + c_\lambda^2 \cdot \sigma_\lambda^2} ,$$

где c_c, c_t, c_Q, c_λ – соответственно коэффициенты влияния, отклонения, динамической грузоподъемности, температуры, приведенной нагрузки и параметров смазочной пленки на отклонение долговечности подшипника.

Проведенные расчеты показывают, что основная доля рассеяния долговечности подшипника (примерно 60%) определяется условиями эксплуатации. На втором месте идут факторы, определяемые качеством самого подшипника, и только затем факторы, определяемые технологией изготовления.

И естественно, в целях повышения эффективности работы асинхронных двигателей напряжением 6 кВ, остро встает вопрос о предупреждении данного вида неисправностей.

Одним из способов предупреждения отказов в подшипниковом узле является вибродиагностика, потому как побочным продуктом несправного подшипникового узла чаще всего является вибрация.

Эффективной для диагностирования состояния подшипников является методика SPM, использующая относительную величину ударных импульсов $G_и$. Величина $G_и$ зависит не только от степени развития дефекта, но и от скорости движения тел, поэтому критерий качества подшипника формулируется так:

$$K_{дб} = G_И - f(nd) ,$$

где $f(nd)$ – функция произведения скорости вращения (об/мин) на диаметр, обеспечивающая инвариантность параметра $K_{дб}$ к скорости движения тел. Этот параметр используется в специальных приборах – индикаторах состояния подшипников. Эти приборы измеряют интенсивность ударных импульсов. Шкала прибора имеет три сектора – зеленый, желтый и красный, соответствующие трем состояниям подшипника: «нормальное состояние» (до 20 дБ), «допустимая временная эксплуатация при определенном регламенте вибрационного контроля» (до 35-40 дБ) и «требуется замена подшипника». На рис. 2 показано изменение параметра $K_{дб}$ во времени в процессе износа подшипника [3].

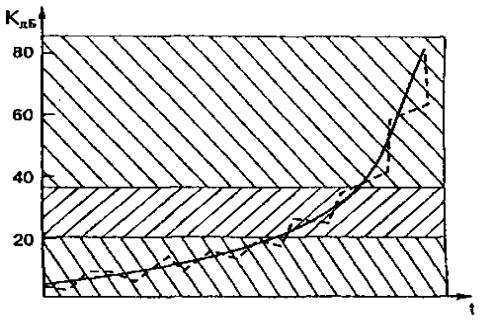


Рис. 2. Изменение параметра качества подшипника во времени

Список литературы

1. Воробьев В.Е. Кучер В.Я. Прогнозирование срока службы электрических машин. Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 56 с.
2. Ливрин Л.Б. Как определить неисправность асинхронного двигателя. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 64 с.
3. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ

Мукушева А.Б.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., проф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: AsiyaM2410@sibmail.com

Цель работы – рассмотреть возможности энергосбережения при использовании асинхронных электроприводов в насосных агрегатах

На перекачку центробежными насосами чистых и сточных вод в России расходуется 120 – 130 млрд кВт·ч электроэнергии. Для перекачки воды и других жидкостей, потребляют до 40–50 % всей вырабатываемой электроэнергии. Работа этих систем отличается неравномерным потреблением воды, тепловой энергии, воздуха в течение суток в зависимости от погодных условий, времени года.

Сформулируем пути для обеспечения энергосбережения при работе в асинхронном электроприводе насосных агрегатов:

• правильный выбор установленной мощности асинхронного двигателя. Коэффициент загрузки многих двигателей состовляет 50% и менее, что говорит о низкой квалификации разработчиков, либо несовершенстве использованной методики расчета мощности электропривода. Таким образом двигатель заниженной мощности быстро выходит из строя из-за перегрева, а двигатель с большим запасом мощности преобразует энергию неэффективно, т.е. с высокими удельными потерями в самом двигателе из-за низкого КПД в питающей сети из-за низкого коэффициента мощности. Поэтому первый путь заключается в совершенствовании методик выбора мощности двигателя и проверки его по нагреванию, а также в повышении квалификации разработчиков, проектировщиков и обслуживающего персонала.

• применение энергосберегающих асинхронных двигателей, в которых за счет использования более качественной электротехнической стали, позволяющей уменьшить активные потери приводит к повышению номинальных значений КПД и коэффициента мощности. Энергоэффективные двигатели имеют более высокий уровень надежности, менее чувствительны к колебаниям напряжения сети и имеют более низкий уровень шума и вибрации, а также затраты на их обслуживание и ремонт.

• Переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому и повышение уровня автоматизации.

• применение более совершенной с энергетической точки зрения системы электропривода. Потери энергии в переходных режимах заметно изменяются при использовании реостатного регулирования, систем ТНП-АД и ППЧ-АД с минимальными потерями при применении частотно-регулируемых электроприводов.

• комплексное применение энергосберегающих асинхронных двигателей и регулируемого электропривода.

Характерная особенность большинства насосных агрегатов связана с тем, что графики водоснабжения по которым они работают, имеют вероятностный характер. Существующие системы с нерегулируемым электроприводом (дросселирование) не обеспечивают заметного снижения потребляемой мощности при уменьшении расхода воды, а также обусловливают при этом существенный рост давления (напора) в системе, что приводит к утечкам воды и неблагоприятно сказывается на работе технологического оборудования и сетей водоснабжения.

Сравним частотно-регулируемый привод как наиболее эффективный способ регулирования с дросселированием. Мощность, потребляемая насосом, определяется по формуле

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho}{\eta},$$

где P – мощность, Вт; Q – подача, м^3/с; H – напор, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; ρ – плотность жидкой среды, кг/м^3; η – КПД насоса.

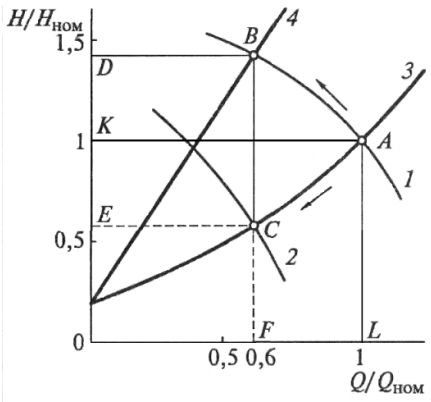


Рис. 1. Характеристики производительности центробежного насоса

Кривая *1* характеризует работу нерегулируемого электропривода на номинальной частоте вращения, кривая *3* характеризует работу магистрали при полностью открытой заслонке. Значения

расхода и напора воды приведены на рис. 1 в относительных единицах при использовании в качестве базовых величин номинального расхода $Q_{ном}$ и номинального напора $H_{ном}$. При номинальном расходе и напоре насос работает в точке *A,* а мощность, потребляемая насосом, пропорциональна площади прямоугольника 0*KAL*. С уменьшением расхода при нерегулируемом электроприводе (на рис. 1 для примера показан расход воды, составляющий $0{,}6H_{ном}$) за счет дроссельного регулирования происходит изменение сопротивления магистрали (кривая *4),* насос работает в точке *B* кривой *1,* что приводит к возрастанию напора, который становится больше номинального, а мощность насоса, пропорциональная площади прямоугольника 0*DBF,* несущественно отличается от мощности, потребляемой при номинальном расходе, следовательно, и энергопотребление при уменьшенном расходе изменяется незначительно или практически не изменяется. При частотном регулировании насоса, при снижении расхода, за счет уменьшения скорости насос работает в точке C на кривой 2 при неизменной характеристике магистрали (кривая 3). Мощность потребляемая электроприводом в этом случае, пропорциональна площади прямоугольника 0ECF, что наглядно иллюстрирует возможность существенного снижения энергопотребления.

Таким образом, приведенные соображения объективно подтверждают преимущества систем автоматического управления насосными агрегатами перед системами дроссельного регулирования. Такое управление осуществляется путем автоматического поддержания необходимого технологического параметра, в частности, напора (давления) при изменяющемся расходе воды за счет применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов [2].

Исходя из выше изложенного, можно придти к выводу, что наиболее экономичным и эффективным является регулируемый привод. Далее рассмотрим типы регулируемых электроприводов их достоинства и недостатки.

Основным типом регулируемого электропривода, является частотно-регулируемый асинхронный электропривод–система «полупроводниковый преобразователь частоты–асинхронный двигатель» (ППЧ– АД). Однако наряду с этим электроприводом в некоторых случаях для решения отдельных производственных задач и энергосбережения находит применение система «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТПН–АД), обеспечивающая регулирование первой гармоники напряжения, подводимого к статору.

В эксплуатации также находятся электроприводы на основе асинхронных двигателей с фазовым ротором, регулируемые за счет изменения добавочных сопротивлений в роторных цепях – «устройство реостатного регулирования – асинхронный двигатель с фазовым ротором» (УРР–АДФР) [2]. Однако этот способ регулирования связан со значительными потерями энергии при регулировании скорости вращения и поэтому малоэкономичен. Если, например, скорость двигателя снижена вдвое по сравнению с номинальной, то примерно половина всей потребляемой из сети мощности теряется в регулировочных резисторах. Следовательно, с ростом регулировочного сопротивления при одном и том же скольжении снижается КПД.

Частотный способ регулирования скорости асинхронных двигателей является самым экономичным в сравнении с другими известными способами. Возможность регулирования скорости АД изменением частоты следует из выражения скорости идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{p_П} \cdot f_1$$

где f_1 – частота напряжения обмотки статора; $p_П$ – число пар полюсов двигателя.

Частотное регулирование скорости вращения вала асинхронного двигателя осуществляется путём изменения частоты и амплитуды трёхфазного напряжения, поступающего на электродвигатель. Таким образом, меняя параметры питающего напряжения (частотное управление), можно делать скорость вращения двигателя как ниже, так и выше номинальной. Во второй зоне (частота выше номинальной) максимальный момент на валу обратно пропорционален скорости вращения.

Таким образом применение частотно-регулируемого электропривода позволяет:

- экономить электроэнергию от 30 до 60%;
- исключить гидроудары, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры;
- снизить пусковые токи, защитить электродвигатели насосных агрегатов;
- увеличивает срок службы электродвигателей;
- обеспечить экономию воды за счёт оптимизации давления в сетях и уменьшения разрывов трубопроводов;
- полностью автоматизировать насосные станции.

Список литературы

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с. ил.
2. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КООРДИНАТ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ АСИМПТОТИЧЕСКОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА

Мязин К.Н.

Научный руководитель: Глазырин А. С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dabadrin@mail.ru

В общем случае под идентификацией понимается определение структуры и параметров математической модели динамического объекта, которые обеспечивают наилучшую близость значений выходных величин модели и объекта по заданному критерию подобия при одних и тех же входных воздействиях.

В данной статье математическая модель двигателя постоянного тока заранее известна и требуется определить лишь значения некоторых её параметров и переменных состояния.

Рассмотрим основные методы оценивания параметров выбранного объекта. Широкое применение нашли, такие способы оценивания, как метод наименьших квадратов (МНК), Марковские оценки (обобщенный МНК), метод максимального правдоподобия, Байесовские оценки, фильтр Калмана, идентификация параметров на основе нейронных сетей. В данном докладе речь пойдет об асимптотическом наблюдателе Люенбергера [1].

Для применения любого из методов идентификации, необходимо определить объект исследования, в данном случае им является двигатель постоянного тока независимого возбуждения [2]. Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ показана на рис. 1.

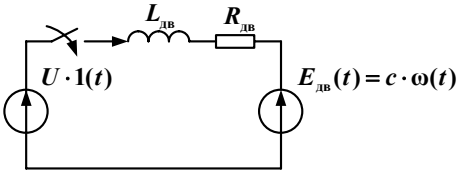


Рис. 1. Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ

Запишем дифференциальное уравнение электрического равновесия якорной цепи двигателя:

$$U \cdot 1(t) = R_{дв} \cdot i(t) + L_{дв} \cdot \frac{di(t)}{dt} + E_{дв}(t).$$

Уравнение механического равновесия двигателя:

$$M(t) - M_c \cdot 1(t) = J_{дв} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt}.$$

Учитывая, что $E_{дв} = c \cdot \omega(t)$ и $M(t) = c \cdot i(t)$, а так же $M_c = 0$ (пуск на холостом ходу), запишем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} U \cdot 1(t) = R_{дв} \cdot i(t) + L_{дв} \cdot \dfrac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \\ c \cdot i(t) = J_{дв} \cdot \dfrac{d\omega(t)}{dt} \end{cases}$$

СДУ в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \dfrac{di(t)}{dt} = \dfrac{1}{L_{дв}} \cdot \left[U \cdot 1(t) - R_{дв} \cdot i(t) - c \cdot \omega(t) \right] \\ \dfrac{d\omega(t)}{dt} = \dfrac{c}{J_{дв}} \cdot i(t) \end{cases}$$

СДУ в матричном виде:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{R_{дв}}{L_{дв}} & -\dfrac{c}{L_{дв}} \\ \dfrac{c}{J_{дв}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} \dfrac{U}{L_{дв}} \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 1(t)$$

Как было сказано ранее, в данной работе в качестве идентификатора используется асимптотический наблюдатель Люенбергера. Наблюдатель может иметь порядок, равный порядку системы (наблюдатель полного порядка, например фильтр Калмана), который оценивает вектор состояния, учитывая все переменные состояния, или меньший, по сравнению с системой (наблюдатель пониженного порядка, наблюдатель Люенбергера), который имеет размерность на 1 или на количество измеряемых компонентов меньше, чем система. Последний формирует новый вектор, в котором учитываются только те компоненты вектора состояния, которые недоступны для измерения. В случае отсутствия шумов в измерениях для получения оценки координат вектора состояния можно уменьшить порядок наблюдателя, непосредственно используя содержащуюся в выходных переменных информацию о состоянии объекта. Такие наблюдатели называют наблюдателями пониженного порядка или наблюдателями Люенбергера. В них размерность вектора состояния уменьшается на число компонентов измеряемого вектора. Рассмотрим краткий пример синтеза наблюдателя Люенбергера [3].

Дана система:

$$\begin{cases} \dot{\vec{x}}(t) = A\vec{x}(t) + \vec{b}u(t) \\ \vec{y}(t) = C^T\vec{x}(t) \end{cases}$$

Если эта система полностью наблюдаема, то можно построить такое устройство, которое назы-

вается асимптотический наблюдатель Люенбергера, на выходе которого получим оценку вектора состояния:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + \vec{b}u(t) + L(\bar{y}(t) - \hat{\bar{y}}(t)) \\ \hat{\bar{y}}(t) = C^T\hat{x}(t) \end{cases}$$

где $L(\bar{y}(t) - \hat{\bar{y}}(t))$ – невязка между выходом и наблюдением, $\hat{x}(t), \hat{\bar{y}}(t)$ – полученная оценка состояния и выхода.

В программной среде *Mathcad* реализована численная модель ДПТ НВ серии 2ПБ112LГУХЛ4, паспортные данные двигателя:

$$P_н = 2\,кВт,\ U_н = 220\,B,\ \omega_н = 329.9\,рад/с,$$

$$R_{дв} = 1.022\,Ом,\ L_{дв} = 7.1\cdot10^{-3}\,Гн,\ c = 0.632.$$

На основе математической модели двигателя постоянного тока, в программной среде *Mathcad,* составлена система уравнений, в которой для оценки параметров скорости и тока якоря используется наблюдатель Люенбергера, реализующий пропорциональный принцип усиления невязки между током, снимаемым с датчика и оценкой, получаемой наблюдателем:

$$\begin{pmatrix} t_{j+1} \\ i_{j+1} \\ \omega_{j+1} \\ \hat{i}_{j+1} \\ \hat{\omega}_{j+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} t_j + h \\ i_j + \frac{h}{L_{дв}}\cdot\left(-R_{дв}\cdot i_j - c\cdot\omega_j + U_{ном}\right) \\ \omega_j + \frac{h}{J_{дв}}\cdot\left(c\cdot i_j - M_c(t_j)\right) \\ \hat{i} + \frac{h}{L_{дв}}\cdot\left[-R_{дв}\cdot\hat{i} - c\cdot\hat{\omega} + U_{ном} + 6.4\cdot10^{-1}\cdot\left(i-\hat{i}\right)\right] \\ \hat{\omega} + \frac{h}{J_{дв}}\cdot\left[c\cdot\hat{i} + 124\cdot21^{-1}\cdot\left(i-\hat{i}\right)\right] \end{bmatrix}$$

где h – шаг, который необходим для построение переходного процесса.

$\left(i-\hat{i}\right)$ – невязка между выходом и наблюдением.

Коэффициент усиления наблюдателя настроены на основе численной модели двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

В результате чего были получены переходные процессы пуска и наброса нагрузки, для ДПТ НВ, которые представлены на рисунке 2 и 3.

Как видно из полученных переходных характеристик, наблюдатель Люенбергера, оценка которого на графике показана символами: $\hat{\omega}$, $\hat{i}$; практически идеально повторяет переходный процесса реального двигателя постоянного тока.

По результатам проделанной работы, можно сказать, что наблюдатель Люенбергера, с минимальной ошибкой оценивает координаты ДПТ НВ в статическом режиме, с применением П-регулятора, следующей целью ставится исследование данного идентификатора в динамических режимах, в частности использование пропорционально-интегрального принципа усиления невязки.

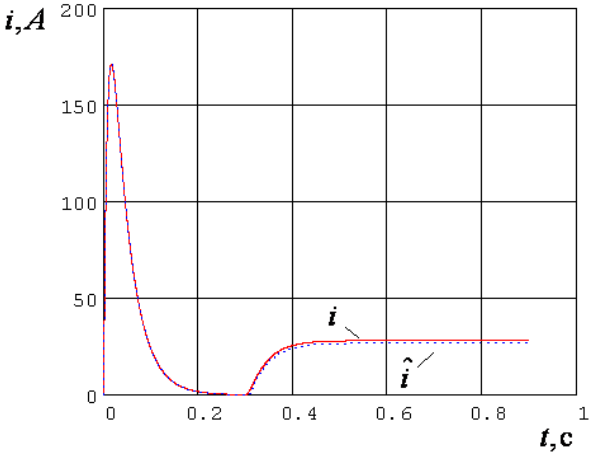


Рис. 2. Переходный процесс, зависимость i(t)

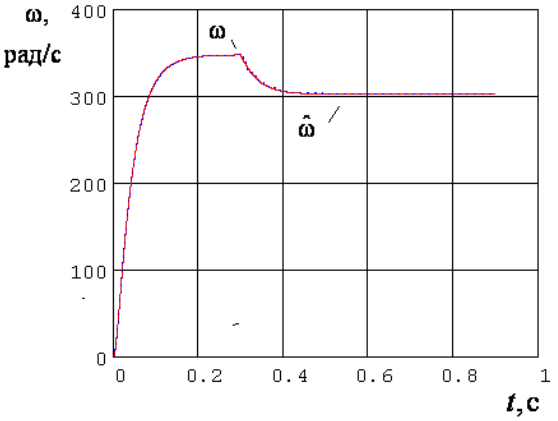


Рис. 3. Переходный процесс, зависимость ω(t)

Так же необходимо сказать, о том, что наблюдатель пониженного порядка реализуем и достаточно точен, при использования его в системах, низкого порядка. К сожалению, на практике, зачастую приходится иметь дело с сильно зашумленными сигналами и использовать наблюдатель пониженного порядка нежелательно, в такой ситуации целесообразно использовать стохастический наблюдатель, например фильтр Калмана.

Список литературы

1. Каширских В.Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей ГУ КузГТУ. -2005. -135 с.
2. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: Учебное пособие/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2010. – 204 с.
3. Делигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Учебное пособие/ Самарский государственный технический университет , 2009. – 184 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТАРИРОВОЧНОЙ УСТАНОВКИ

Одиков А.О.

Научный руководитель: Качин О.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lexxx@sibmail.com

Технический прогресс в различных отраслях промышленности, развитие автоматизированных производств и сервисных структур по обслуживанию наукоемких технических изделий неизбежно сопровождаются формированием повышенной потребности в современных высокоточных измерительных системах, используемых на всех стадиях технологических процессов изготовления изделий и их последующего диагностирования в процессе эксплуатации.

К подобного рода измерительным системам относится созданный в Томском политехническом университете (ТПУ) программно-аппаратный измерительный комплекс для бесконтактного контроля механического состояния элементов машин «МИКРОКОН» [1]. Данный комплекс предназначен для бесконтактного прецизионного контроля формы поперечных сечений валов машин и механизмов, контроля профилей коллекторов и контактных колец электрических машин в статических и динамических режимах их работы, измерения линейных микроперемещений и вибраций элементов машин и механизмов. Прибор работает на принципе высокочастотного электромагнитного зондирования контролируемой поверхности, что предопределяет ряд его преимуществ в сравнении с другими измерительными системами аналогичного назначения, например лазерными. Преимущества следующие: высокая защищенность от внешних воздействий окружающей среды (наличие пыли, паров, масляного тумана и других загрязнений зоны контроля), отсутствие бликовых эффектов, сравнительно низкая стоимость (при равных точностных характеристиках), возможность одновременного получения информации о нескольких параметрах контролируемого объекта. В состав комплекса входит аналоговая часть с первичным преобразователем вихретокового типа и блоком синхронизации, контроллер с аналого-цифровым преобразователем, а также персональный компьютер с управляющей программой.

Высокочастотное электромагнитное зондирование контролируемой поверхности производится благодаря разработанному токовихревому датчику оригинальной конструкции. Так как датчик разработан и изготовлен собственными силами, то изначально на него отсутствует паспортная документация. Перед использованием данного датчика в составе диагностического комплекса, необходимо снять его градуировочную характеристику.

Чтобы снять градуировочную характеристику токовихревого датчика, разработана прецизионная тарировочная установка. Данная система позволяет перемещать токовихревой датчик с точностью до 1 мкм для снятия точной характеристики токовихревого датчика. Приводом тарировочной установки является гибридный шаговый электродвигатель. Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. По сути, гибридный двигатель является двигателем с постоянными магнитами, но с большим числом полюсов. Так как был необходим шаговый двигатель с как можно большим числом шагов на один оборот, то в данном случае был выбран шаговый двигатель с шагом 0,9 градуса, то есть 400 шагов на один оборот ротора. Благодаря разработанной схеме управления шаговым двигателем, появилась возможность использовать микрошаговый режим для точного позиционирования токовихревого датчика, таким образом, появилась возможность вращать ротор шагового двигателя на 1/2, 1/4, 1/8 шага, то есть на 0,45; 0,225 и на 0,1125 градуса.

Разработанная система управления шаговым двигателем обеспечивает управления двигателем как автономно (вручную, с помощью кнопок переключения), так и дистанционно с помощью персонального компьютера и специального программного обеспечения. Программное обеспечение системы обеспечивает поддержку связи с персональным компьютером по интерфейсам RS-232 и USB.

Основой всей схемы управления шаговым двигателем является микроконтроллер ATTiny2313 фирмы Atmel [2]. Как и все микроконтроллеры AVR серии ATTiny2313 производителен и экономичен. Имеет удобный для разводки платы и пайки корпус PDIP, а так же широко доступен в продаже и имеет невысокую цену. Обобщая, можно сказать, что ATTiny2313 – это неплохой высокопроизводительный контроллер для небольших проектов. Диапазон питания микроконтроллера от 1,8 до 5,5 В, а ограничение по тактовой частоте до 20 МГц. В рабочем режиме по-

требляет 230 мкА при питании 1.8 В и частоте задающего генератора 1 МГц. В режиме энергосбережения Power-down потребляет менее 1мкА при 1.8 В. Основные характеристики микроконтроллера:

1) 120 инструкций оптимизированных для программирования на языках высокого уровня;

2) 32 регистра общего назначения;

3) почти каждая инструкция выполняется за 1 такт генератора, за счет чего быстродействие достигает 20 MIPS (20 миллионов операций за секунду);

4) 2 килобайта флеш-памяти для программ;

5) 128 байт EEPROM (энергонезависимая память);

6) 128 байт SRAM (оперативная память).

Данный микроконтроллер имеет в своем составе:

1) один 8 битный таймер/счетчик;

2) один 16 битный таймер/счетчик;

3) четыре канала широтно-импульсной модуляции (ШИМ);

4) аналоговый компаратор;

5) USART – асинхронный последовательный интерфейс приема-передачи.

Часть разработанной схемы управления шаговым двигателем с использованием микроконтроллера ATTiny2313 представлена на рисунке 1.

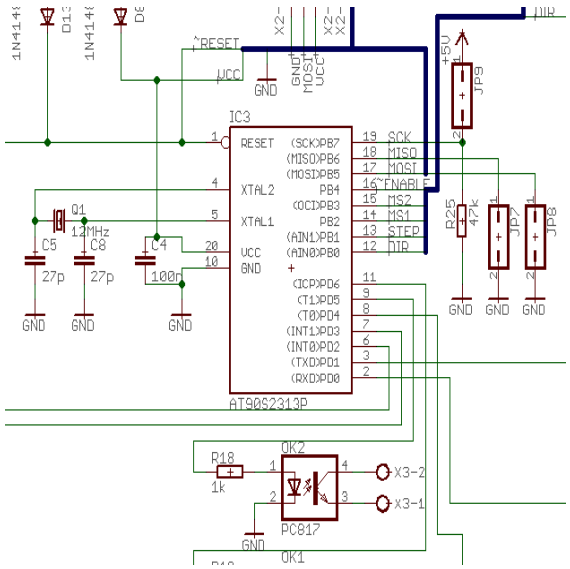


Рис. 1. Микроконтроллер ATTiny2313 на разработанной схеме управления шаговым двигателем

В схеме управления шаговым двигателем используется драйвер фирмы Allegro серии A3977, который в свою очередь управляется микроконтроллером ATTiny2313. Данный драйвер предназначен для управления обеими обмотками биполярного 2-фазного шагового двигателя. Выходной ток 2,5 А, напряжение 35 В [3, 4]. Поддерживается полношаговый и микрошаговый (1/2, 1/4, 1/8 шага) режимы. Данный драйвер содержит всю необходимую управляющую логику, ШИМ – регулятор с обратной связью по току в нагрузке и два моста Н-типа на мощных полевых транзисторах. Преимущество такой архитектуры заключается в том, что для управления двигателем требуется небольшое количество управляющих сигналов. В простейшем случае достаточно задействовать всего две линии – «направление» и «шаг». Диапазон напряжения питания логики от 3 до 5,5 В.

Встроенный в A3977 транслятор преобразует входные сигналы «шаг» (STEP) и «направление» (DIR) в необходимый набор управляющих сигналов для каждого из двух выходных мостов Н-типа. Для каждого выбранного режима шага – полного, 1/2, 1/4, или 1/8 шага – транслятор вырабатывает свой набор управляющих сигналов. После подачи напряжения питания или низкого уровня на вход сброса (RESET) транслятор устанавливает напряжения на выходах цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП, DAC) и полярность тока на выходах мостов (DMOS BRIDGE), соответствующие положению «начальная позиция». Когда поступает сигнал «шаг» (переход от «лог. 0» к «лог. 1»), транслятор изменяет напряжение на выходах ЦАП и полярность выходных сигналов таким образом, чтобы вал двигателя переместился в положение, соответствующее следующему шагу. Направление вращения задаётся сигналом на входе DIR. Сигнал с выхода ЦАП управляет ШИМ - регулятором выходного тока. Выбор шага определяется комбинацией сигналов на входах MS1 и MS2, таблица 1.

Таблица 1

Управление режимом шага

Логический уровень на входе		Величина шага
MS1	MS2	
0	0	Полный
1	0	1/2
0	1	1/4
1	1	1/8

Список литературы

1. Качин С.И., Боровиков Ю.С., Нечаев М.А. Программно-аппаратный комплекс для оценки механического состояния скользящих контактов коллекторных машин электроприводов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 140–144.
2. Atmel Corp. Электронный справочник об элементах. USA, Atmel Corp. Web: www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2543.pdf
3. www.allegromicro.com
4. Пушкарев О. Драйверы шаговых двигателей фирмы Allegro// Современная электроника, декабрь 2004. - № 2-С. 22-25.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Паюк Л.А.

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lubapa81@mail.ru

Поиск оптимального решения любой задачи – это нахождение решения, которое удовлетворяет нескольким условиям. При синтезе электроприводов переменного тока исходят из того, что критерием оптимальности являются точность, быстродействие, энергоэффективность или динамика [1,4]. В настоящее время существует достаточно большое количество электроприводов и электродвигателей колебательного движения с различной функционально-структурной организацией, которые нашли своё применение в различных областях, от устройств сканирования в портативных устройствах, до прогнозирования поведения земной коры [2]. Поэтому, поиск оптимального колебательного электропривода переменного тока с заданными динамическими показателями является актуальной задачей.

К динамическим показателям можно отнести: ударные значения токов статора и ротора, электромагнитного момента, времени переходного процесса, перерегулирования и т.д.

Оптимальность любой системы определяется её критериями и ограничениями, которые накладываются при решении данной задачи.

К критериям оптимальности по динамическим показателям можно отнести следующие:

1. Постоянство активной мощности или момента;
2. Максимум КПД.

Лимитирующими показателями могут быть:

1. Эксплуатационно-технические по кратностям начального пускового момента $К_П$ и максимального момента $К_М$ по кратности пускового тока;
2. Конструкционно-технологическим – размерам проводников обмотки статора и ротора.

Аналитические зависимости тока статора и ротора в операторной форме, при условии несимметрии электрической машины, можно записать как:

$$i_1(p)=\frac{U_m\left[p\alpha_1\left(\begin{matrix}p^2\left(L_{\alpha s}L_{\alpha r}-2L_m\right)+p\left(R_{\alpha s}L_{\alpha r}+R_{\alpha r}L_{\alpha s}\right)+\\+R_{\alpha s}R_{\alpha r}\end{matrix}\right)-\right.}{\left.-L_m\alpha_3 p\left(R_{\alpha s}+L_{\alpha r}p\right)\right]}+$$
$$+\frac{\alpha_4\omega\left(R_{\beta s}+L_{\beta s}p\right)}{p^2\left(L_{\alpha s}L_{\alpha r}+L_m^2\right)+p\left(R_{\alpha r}L_{\alpha s}+R_{\alpha s}L_{\alpha r}\right)+R_{\alpha s}R_{\alpha r}}+$$
$$+j\frac{}{(\omega+\Omega)\left(p^2\left(L_{\beta s}L_{\beta r}+L_m^2\right)+p\left(R_{\beta r}L_{\beta s}+R_{\beta s}L_{\beta r}\right)+R_{\beta s}R_{\beta r}\right)}$$

$$i_2(p)=\frac{U_m p^2\left(\alpha_3\left(R_{\alpha s}+L_{\alpha s}p\right)-\alpha_1 L_m\right)}{\left(p^2+(\omega+\Omega)^2\right)\left(\left(R_{\alpha r}+L_{\alpha r}p\right)-L_m^2p\right)}-$$
$$-j\frac{\left(\alpha_4\omega-\alpha_2L_m^2p^2(\omega+\Omega)\right)}{(2\omega-\Omega)\left(p^2\left(L_{\beta s}L_{\beta r}-L_m^2\right)+p\left(R_{\beta s}L_{\beta r}+R_{\beta r}L_{\beta s}\right)+R_{\beta s}R_{\beta r}\right)}$$

Здесь U_m – амплитудное значение напряжения питания, α_i – коэффициенты сигналов, p – оператор Лапласа, $R_{\alpha s}, R_{\beta s}, R_{\alpha r}\ R_{\beta r}$, $L_{\alpha s}, L_{\beta s}$, $L_{\alpha r}$, $L_{\beta r}$ – активные сопротивления и индуктивности обмоток фаз статора и ротора по осям α и β, L_m – взаимоиндуктивность обмоток статора и ротора данные параметры зависят от геометрических размеров электрической машины, ω, Ω – номинальная угловая частота питающей сети и колебаний подвижного элемента двигателя.

С учётом корней характеристических уравнений и функций регулирования во временной плоскости пусковые токи примут следующий вид:

$$I_{\alpha s}(t,D,l\delta)=I_{\alpha s0}\sin\left[\begin{matrix}\omega_1 t-\\-arctg\left[\frac{\omega_1\left(L_{\alpha r}\left(\gamma_1\gamma_2-\omega_1{}^2\right)-R_{\alpha r}\left(\gamma_1+\gamma_2\right)\right)}{R_{\alpha r}\left(\gamma_1\gamma_2-\omega_1{}^2\right)+L_{\alpha r}\left(\gamma_1+\gamma_2\right)\omega_1{}^2}\right]\end{matrix}\right]+$$
$$+I_{\alpha s1}e^{-\gamma_1 t}+I_{\alpha s2}e^{-\gamma_2 t};$$

$$I_{\beta s}(t,D,l\delta)=I_{\beta s0}\cos\left[\begin{matrix}\omega_2 t-\\-arctg\left[\frac{\omega_2\left(L_{\beta r}\omega_2^2\left(\gamma_3+\gamma_4\right)-R_{\beta r}\left(\gamma_3\gamma_4-\omega_2^2\right)\right)}{\omega_2^2\left(R_{\beta r}\left(\gamma_3+\gamma_4\right)+L_{\beta r}\left(\gamma_3\gamma_4-\omega_2{}^2\right)\right)}\right]\end{matrix}\right]+$$
$$+I_{\beta s1}e^{-\gamma_3 t}+I_{\beta s2}e^{-\gamma_4 t};$$

$$I_{\alpha r}(t,D,l\delta)=I_{\alpha r0}\sin\left[\omega_1 t-arctg\left[\frac{\gamma_1\gamma_2-\omega_1^2}{\omega_1\left(\gamma_1+\gamma_2\right)}\right]\right]+ \quad (1)$$
$$+I_{\alpha r1}e^{-\gamma_1 t}+I_{\alpha r2}e^{-\gamma_2 t};$$

$$I_{\beta r}(t,D,l\delta)=I_{\beta r0}\sin\left[\omega_2 t-arctg\left[\frac{(\gamma_3+\gamma_4)\omega_2^2}{\omega_2^2-\gamma_3\gamma_4}\right]\right]+$$
$$+I_{\beta r1}e^{-\gamma_3 t}+I_{\beta r2}e^{-\gamma_4 t},$$

где ω_1, ω_2 – угловые частоты питания статора и ротора, $\omega_2=\omega_1+\Omega$, $I_{\alpha s0}, I_{\beta s0}, I_{\alpha r0}, I_{\beta r0}$ – амплитуды режима установившегося короткого замыкания вынужденных составляющих токов, $I_{\alpha s1}, I_{\alpha s2}, I_{\beta s1}, I_{\beta s2}, I_{\alpha r1}, I_{\alpha r2}, I_{\beta r1}, I_{\beta r2}$ – амплитуды составляющих свободных токов с коэффициентами затухания, соответственно γ_i, выраженные через параметры электрической машины и функции регулирования.

Тогда, колебательный пусковой электромагнитный момент с учётом [3] и выражений для токов вида (1) при условии, что t=0, может быть представлен в следующем виде:

$$M_{пуск}(D,l\delta)=L_m(D,l\delta)\left(I_{\alpha s}(D,l\delta)I_{\beta r}(D,l\delta)-I_{\alpha r}(D,l\delta)I_{\beta s}(D,l\delta)\right).$$

Для оптимизации динамических показателей колебательного электропривода воспользуемся методом градиентного спуска [5]. Суть которого сводится к следующему: во-первых, выбираем произвольное начальное приближение функции, которая непрерывна и матрица вторых производных положительна; во-вторых, вычисляем градиент по формуле: $\sqrt{\sum_{i=1}^{2}\left(\frac{df(x^{(k)})}{dx_i}\right)^2} \le \varepsilon$, который должен быть близким к нулю (т. е. меньше заданной величины ε) в выбранной форме.

Градиент для тока статора в функции от внутреннего диаметра статора D и длины магнитопровода ротора $l\delta$ определим по формуле:

$$DI_s(D,l\delta) = \sqrt{\frac{dIs(D,l\delta)^2}{dD} + \frac{dIs(D,l\delta)^2}{dl\delta}}$$

Программу для вычисления максимума двух переменных методом градиентного спуска в прикладном пакете Mathcad представим в следующем виде:

$$\max = \left|\begin{array}{l} while\ DI_s(D,l\delta)\langle\varepsilon \\ \quad D_0 \leftarrow D \\ \quad l\delta_0 \leftarrow l\delta \\ \quad D \leftarrow D - \alpha\cdot\frac{dIs(D,l\delta)}{dD} \\ \quad l\delta \leftarrow l\delta - \alpha\cdot\frac{dIs(D,l\delta)}{dl\delta} \\ \quad \alpha \leftarrow \frac{\alpha}{2}\ if\ I_s(D,l\delta)\rangle I_s(D_0,l\delta_0) \\ P_0 \leftarrow D \\ P_1 \leftarrow l\delta \end{array}\right. \qquad (2)$$

$$P = \max(D,l\delta),$$

где D_0, $l\delta_0$ – произвольное начальное приближение, $\alpha \equiv 0.01$, $\varepsilon \equiv 0.001$ – ограничение и ошибка вычисления, P – массив результатов вычисления.

Оптимизация динамических показателей сводится к тому, что решаются совместно уравнения тока статора или электромагнитного момента продифференцированных, например, по внутреннему диаметру статора D и длине магнитопровода ротора $l\delta$ и заданных значений тока статора. На рис. 1 видно, что общим решение будут точки пересечения двух плоскостей расчётной – 1 и заданной 2.

Массив заданных значений (рис. 1. плоскость 2) формируется перемножением номинального тока статора или электромагнитного момента на коэффициент перегрузки, который определяется из справочной литературы.

Так при заданных токе статора $I_{пуск}$= 4,1 о.е и электромагнитного момента $M_{пуск}$ =3,8 о.е. общим решением системы являются в первом случае значения внутреннего диаметра статора от D = 0,129 до D = 0,143 и длины магнитопровода ротора от lδ=0,078 до lδ=0,08 и во втором – D = 0,122 ÷0,143 и lδ=0,069÷0,0715 при условии, что активная мощность постоянна, т.е. P_2=const.

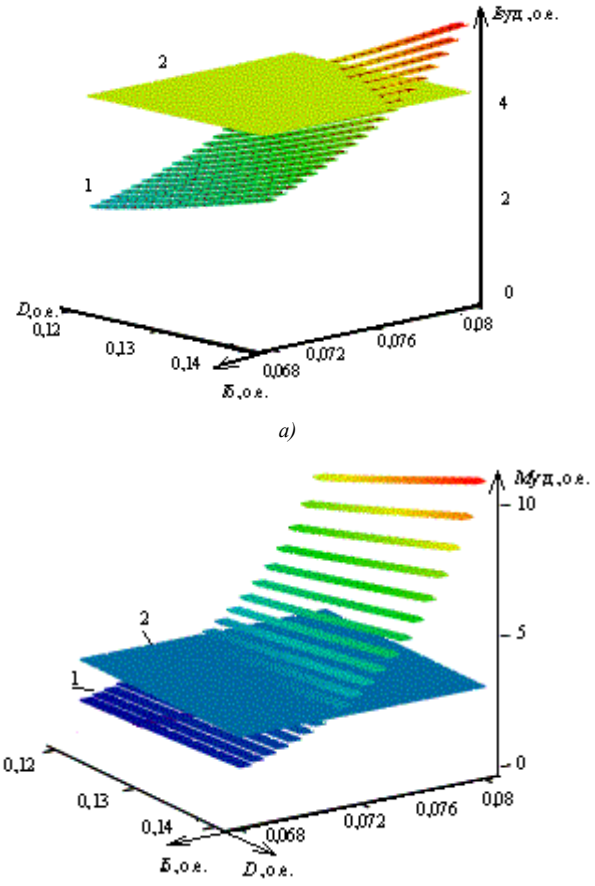


Рис. 1. Распределение зависимости а) ударного тока статора, б) пускового электромагнитного момента: 1–определение максимума функции методом градиентного спуска; 2–массивы требуемых значений тока и момента

В заключении отметим, что данный способ определения оптимальных геометрических размеров электрической машины на заданные динамические показатели колебательного электропривода является самой простой, и точность её составляет 4%. Это говорит о том, что данная методика позволяет определить оптимальное соотношение между геометрией и динамическими характеристиками электропривода периодического движения в полной мере.

Список литературы

1. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М. – Л., Госэнергоиздат, 1963. – 744с.
2. Аристов, А.В. Машина двойного питания, как общий случай электродвигателя колебательного движения: автореф. дисс. на соискание ученой степени д. т. н. / А. В. Аристов. – Томск: Б.и., 2001. – 44 с.
3. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
4. Загорский А.Е., Шакарян Ю.Г. Управление переходными процессами в электрических машинах переменного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1986. -176 с.
5. Сборник задач по математике для втузов. Ч. 4. /Под ред. Ефимова А. В. Изд. 2. М.: Наука. Физматлит, 1990. 304 с.

УСТРОЙСТВО ЮСТИРОВКИ ФОРМЫ ЗЕРКАЛА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

Пестерников А.А., Комаров С.А., Бойко С.О.

Руководители: Харитонов С.Г., Леканов А.В.

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»
662972, Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина 52
E-mail: shuric86@mail.ru

Космическая обсерватория «Миллиметрон» (проект «Спектр-М») предназначена для исследования объектов Вселенной в миллиметровом, субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения. Высокая чувствительность телескопа космической обсерватории, работающего в этих диапазонах, может быть достигнута за счет большой собирающей площади его главного зеркала (при диаметре зеркала порядка 12 м) и глубокого охлаждения рефлектора с приемной аппаратурой.

Основным параметром главного зеркала является отклонение формы его отражающей поверхности от теоретического профиля в эксплуатационном состоянии телескопа. Отклонение формы отражающей поверхности зеркала определяется погрешностью изготовления и сборки составляющих элементов, погрешностью фиксации прецизионных оболочек на каркасах лепестков, температурными деформациями. Для компенсации перечисленных отклонений в конструкции рефлектора предусмотрена система адаптации, которая должна обеспечивать 3 степени свободы лепестка и отвечать требованиям, представленным в таблице 1.

В качестве исполнительного устройства системы адаптации может быть использован механизм типа «трипод», представляющий из себя систему из четырёх линейных приводов, размещённых в свободном пространстве между лепестком и силовым каркасом рефлектора и соединённых с ними с помощью гибких шарниров (рис. 1).

Основные элементы конструкции «трипода»:

- привод линейного перемещения;
- двухстепенной шарнир;
- трёхстепенной шарнир;
- переходник для установки приводов на силовое основание и лепесток рефлектора.

Основные элементы линейного привода:

- электродвигатель VSS-UHVC 42.500.0,6;
- шариковинтовая передача NSK с перемещением за один оборот 1 мм;
- сильфон (обеспечивает передачу момента с двигателя на ходовой винт передачи);
- шток привода (обеспечивает передачу усилия с передачи ШВП на шарниры);
- корпус привода.

Общий вид привода линейного перемещения с двух и трёхстепенным шарниром приведен на рисунке 2.

Одной из наиболее важных проблем создания любого многозвенного прецизионного механизма является конструирование безлюфтового шарнира. Отсутствие люфта достижимо лишь в шарнирах с преднатягом, а это ведёт к слишком низкому ресурсу. В связи с этим предлагается использовать шарнир, работа которого основана на упругих свойствах материала (рис.3).

В составе механизма «трипод» системы адаптации рефлектора могут быть использованы двигатели производства немецкой фирмы Phytron, способные работать при температуре до -269°С в вакууме.

В ходе комбинированного анализа (перемещения одновременно по различным степеням свободы) было установлено следующее: ход линейного привода, необходимый для работы «трипода», в том числе и одновременно по всем трем степеням свободы, составляет ±30,1 мм; максимальный угол отклонения двухстепенного гибкого шарнира от нулевого положения составляет 1,27°, одностепенного 1,74°.

В таблице 2 представлены проектные характеристики «трипода», полученные в процессе предварительного проектирования.

Таблица 1

Основные требования к устройству адаптации лепестков рефлектора

Погрешность установки вдоль оси OY, мкм	Погрешность установки вокруг осей OX, OZ, угл. сек.	Перемещаемая масса, кг	Диапазоны угловых перемещений лепестка, град	Диапазоны линейных перемещений лепестка, мм
15	1	30-40	±0,5	±1

Таблица 2

Основные проектные характеристики устройства адаптации лепестков рефлектора

Диапазон углов поворота вокруг продольной оси, град	±0,5
Диапазон углов поворота вокруг поперечной оси, град	±0,5
Диапазон линейных перемещений вдоль оси OY, мм	±1
Дискретность углового перемещения вокруг оси OX, угл. сек	1
Дискретность углового перемещения вокруг оси OZ, угл. сек	1
Дискретность линейного перемещения вдоль оси OY, мкм	5
Масса «трипода», кг	6,8

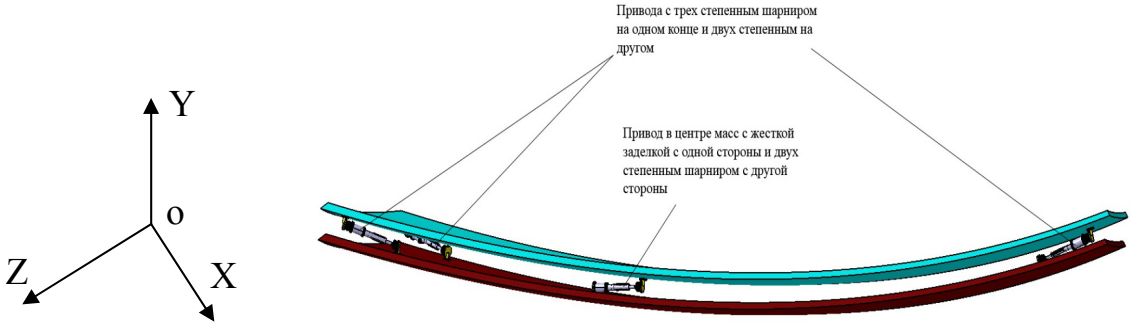


Рис. 1

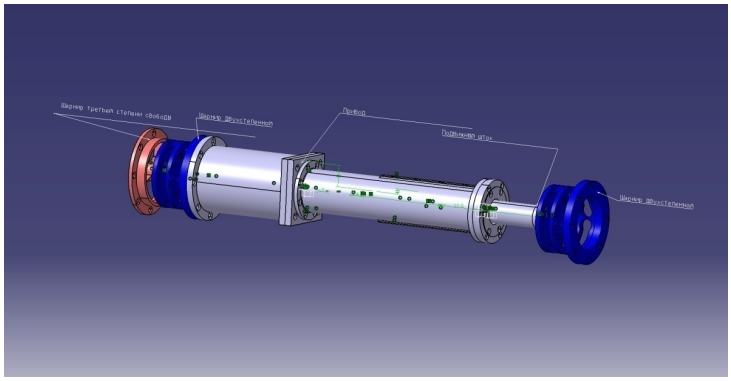


Рис. 2. Линейный привод с двух и трехстепенным шарниром

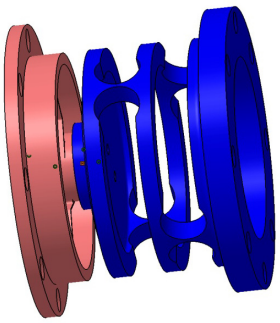


Рис. 3. Трёхстепенной гибкий шарнир

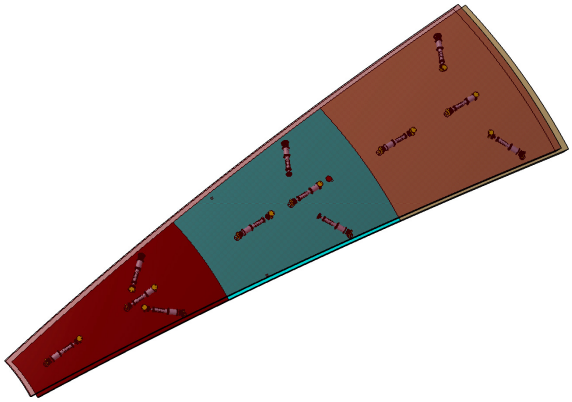


Рис. 4. Общий вид лепестка рефлектора с тремя «триподами»

СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Плиска И.Н.

Научный руководитель: Попов В.И. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vitr@sibmail.com

Для физических экспериментов и некоторых областей техники необходимы импульсные источники электрической энергии. При работе генераторов импульсов различают две основные стадии – стадию зарядки накопителя и стадию его разряда на нагрузку. При этом накопление энергии обычно происходит в электрическом поле конденсаторов, иногда – в магнитном поле индуктивных катушек. Процесс хранения энергии в электрическом поле осуществляется практически без потерь, а хранение энергии в магнитном поле постоянно сопровождается протеканием тока в индуктивном накопителе и, соответственно, потерями, значительно снижающими КПД импульс-

ных генераторов. В связи с этим на практике в основном нашли применение емкостные накопители энергии (ЕНЭ). В работе рассматриваются способы зарядки емкостных накопителей.

Существует множество схемных решений зарядных устройств (ЗУ) и способов зарядки емкостных накопителей, разработка, проектирование и исследование которых представляет собой достаточно сложную задачу. Общими для всех ЗУ являются требования обеспечения временных и амплитудных параметров генераторов импульсов, то есть обеспечение заряда накопителя до номинального и стабильного значения зарядного напряжения за время минимальной паузы между разрядными импульсами. При этом обязательное условие – ограничение тока короткого замыкания ЗУ. Кроме того, необходимо обеспечить высокое значение КПД ЗУ при возможно меньших массогабаритных показателях. Существующие схемные решения ЗУ разнообразны и трудно поддаются какой либо классификации. Обязательным для всех рассматриваемых в этой статье ЗУ является согласованный режим работы генератора, когда накопитель разряжается полностью за время, равное длительности импульса нагрузки. Поскольку процессы заряда во времени длятся существенно дольше процессов разряда, накопитель можно рассматривать как сосредоточенную емкость $C_н$. За время генерирования импульсов $C_н$ разряжается полностью (согласованный режим разряда), и начало процесса зарядки происходит при нулевых начальных условиях. В качестве источников питания используются источники ЭДС, но при этом возникает проблема ограничения тока зарядки, которая решается различными способами [1].

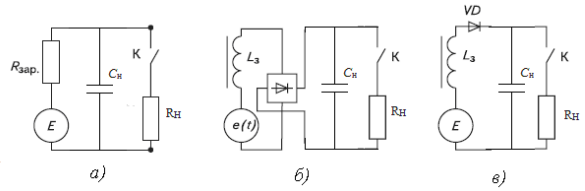


Рис. 1. Схемные решения ЗУ

Наиболее прост и надежен резистивный заряд емкостных накопителей от источников постоянного напряжения (рис. 1а)[2], который может быть использован при любых рабочих частотах. Но этот вид зарядки нашел применение только в генераторах с частичным разрядом ЕНЭ, поскольку в этом режиме удается получать приемлемые значения КПД процесса.

В тех случаях, когда частота разрядных импульсов генератора меньше частоты напряжения зарядного источника (*fp* < *fu*), могут быть применены индуктивно-емкостные преобразователи (ИЕП), либо выпрямители с реактивными ограничителями тока заряда, включенными в цепь зарядки. На рис. 1б,в приведены схемы однофазных зарядных устройства, у которых зарядный ток ограничивается индуктивным реактором *Lз*. Когда частота разрядных импульсов генератора больше частоты напряжения зарядного источника (*fp* > *fcemu*), используют выпрямители и промежуточные емкости *C*, значение которых должно существенно превышать емкость ЕНЭ, т. е. *C* >> *Cн*, что позволяет рассматривать этот вид зарядки как заряд от источника ЭДС. Напряжение на промежуточном накопителе поддерживается с помощью источника питания. Поскольку в качестве токоограничивающего устройства используется индуктивность *Lз*, заряд называется индуктивным, а при наличии диода *VD* (рис. 1в), сам процесс заряда называется резонансно-диодным [3].

В высоковольтных установках большой мощности обычно применяется индуктивное ограничение тока зарядки (рис. 2).

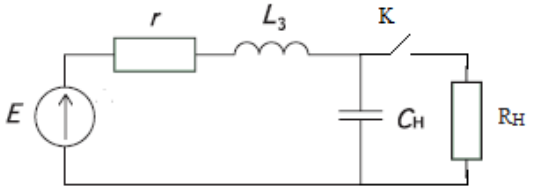


Рис. 2. Схема индуктивной зарядки накопителя

Считается что индуктивность ЕНЭ мала по сравнению с индуктивностью *Lз*, а суммарные активные потери в цепи заряда определяются величиной резистора *r*. В момент первого максимума зарядного тока напряжение на емкостном накопителе достигает почти двойной величины по сравнению с напряжением источника питания, т. е. *U*max=2*E*. Это дает существенное преимущество перед другими видами зарядки, так как позволяет применять источники питания с напряжением, почти вдвое меньшим того напряжения, которое должно быть получено на ЕНЭ.

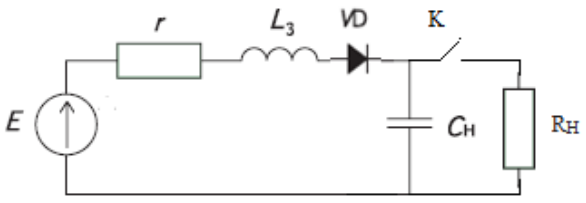


Рис. 3. Схема резонансно-диодной зарядки ЕНЭ

Широкое применение на практике нашел резонансно-диодный заряд. При этом в зарядную цепь последовательно с *Lз* включают вспомогательный диод, который не допускает обратного разряда накопителя в источник питания (рис. 3) [3]. При всех преимуществах резонансно-диодного заряда существует один недостаток, связанный с трудностью регулирования и стабилизации напряжения на ЕНЭ. Это вызвано тем, что напряжение зарядки однозначно определяется напряжением источника питания, которое должно быть как стабилизированным, так и регулируемым в достаточно широких пределах. В качестве первичных источников питания, в таких схемах, можно использовать широтно-импульсные регуляторы, высокочастотные

преобразователи и т. п. Зарядку накопителя можно осуществлять через ИЕП. Все эти устройства сами по себе достаточно сложны, требуют сложных систем управления, т.к. в любом из них обязательно присутствуют высоковольтные трансформаторы и выпрямители. Создание зарядных устройств, мощности которых составляют десятки и сотни киловатт, а напряжение сотни киловольт, порой становятся неприемлемыми.

Для зарядки высоковольтных ЕНЭ используют устройство изображенное на рис. 4 [4].

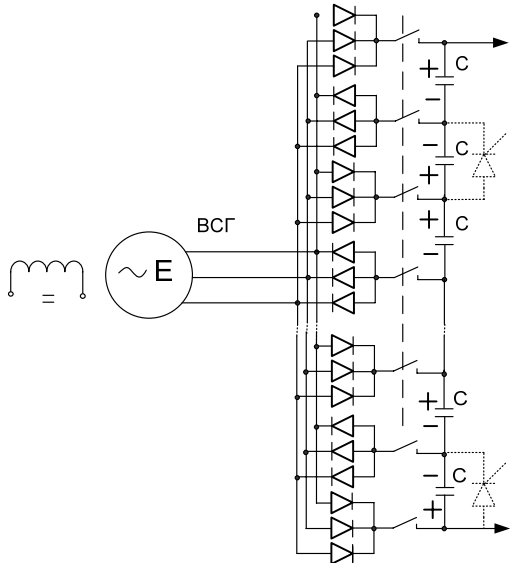


Рис. 4. Высоковольтный ЕНЭ

Это устройство наибольшее применение может найти в мобильных установках, использующих разряд накопительной батареи конденсаторов для технологических целей. ЕНЭ может быть использован в лазерной технике и других областях техники.

ЕНЭ содержит ряд *n* последовательно соединенных накопительных конденсаторов. Конденсаторы ряда, например, чётные имеют цепи переменны их полярности. Все конденсаторы ряда заряжаются одновременно параллельно и, если они имеют одинаковые емкости, то и с одинаковыми постоянными времени заряда. В качестве зарядного источника переменного напряжения должен быть использован обязательно ненасыщенный высоковольтный электромашинный генератор (ВСГ) дискового типа с самовозбуждением. Каждый накопительный конденсатор последовательного ряда на время его заряда подключается к источнику через выпрямитель с помощью отделителей быстродействующего коммутирующего аппарата, причём выпрямитель выполнен в виде чередующихся анодных и катодных групп вентилей.

Эффективный технический результат устройства заключается в том, что зарядное напряжение генератора уменьшено в *n* раз по сравнению с напряжением на накопителе за счет раздельного параллельного заряда последовательно соединенных его емкостей. Форсировка возбуждения ненасыщенного генератора обуславливает линейное нарастание зарядного напряжения на накопителе, обеспечивая при этом заряд постоянным по величине током, что, во-первых, создаёт благоприятные условия для работы вентилей высоковольтного выпрямителя, а во-вторых, существенно увеличивает КПД зарядного процесса.

Список литературы

1. Булатов О. Г., Иванов В. С., Панфилов Д. И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей. М.: Радио и связь, 1986г.
2. Бут Д. А., Алиевский Б. Л., Мизюрин С. Р., Васюкевич П. В. Накопители энергии. М.: Энергоатомиздат, 1991г.
3. Кныш В.А. Полупроводниковые преобразователи в системах заряда накопительных конденсаторов. Л.: Энергоатомиздат, 1981г.
4. Автономный высоковольтный комплекс. Попов В.И. №57532 Гос. реестр полезных моделей РФ, 10 октября 2006 г.

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ УСТРОЙСТВА КАБЕЛЬНОЙ СКРУТКИ

Радченко В.В.

Научный руководитель: Чернышев А.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: radchenko@sibmail.com

В частотно-регулируемых асинхронных электроприводах векторное управление связано как с изменением частоты и текущих значений переменных (напряжения, тока статора, потокосцепления), так и с взаимной ориентацией их векторов в декартовой системе координат. За счет регулирования и амплитудных значений переменных, и фазовых углов между их векторами достигается наиболее качественное регулирование скорости, момента и тока асинхронного двигателя, как в статике, так и динамике [1].

В тех случаях, когда установка датчика скорости затруднена – например, при модернизации существующих систем электропривода, невозможна по конструктивным соображениям, либо когда по требованиям технологического процесса

диапазон регулирования скорости асинхронного двигателя не должен превышать $D \le 1{:}100$ (в частности – привод устройства кабельной скрутки), алгоритм работы системы управления должен основываться на информации, поступающей только от датчиков тока и напряжения статора двигателя. По измеренным статорным токам и напряжениям могут быть вычислены все необходимые для построения системы управления переменные.

К таким переменным относятся, прежде всего, угол поворота и модуль вектора потокосцепления ротора. Модуль вектора используется для организации обратной связи в контуре управления потокосцеплением ротора, а угол поворота применяется для ориентации вращающейся системы координат. Невозможность их прямого измерения делает необходимым формирование систем расчета этих координат на основании дифференциальных уравнений (уравнений электромагнитной связи с ротором, взаимодействия с параметрами статорной обмотки АД, и составляющих векторов тока и напряжения статора).

В качестве входных параметров рассматриваются составляющие пространственных векторов напряжений и токов статора в стационарной системе координат, а в качестве выходных переменных – модуль вектора потокосцепления ротора и его угол поворота в пространстве относительно стационарной системы координат [2].

После нахождения составляющих вектора потокосцепления ротора, появляется возможность, на основании полученных данных, определить скорость вращения вала АД. Класс систем без датчика обратной связи по скорости широко востребован по причине сложных условий эксплуатации и стремления повысить надёжность электропривода с одновременным снижением его себестоимости.

Частота вращения ротора АД может быть рассчитана по токам статора двигателя, проекциям вектора потокосцепления ротора, и углу поворота ротора.

Выражение для расчёта скорости АД:

$$\omega_r = \omega_e - \frac{1}{\psi_r^2} \cdot \frac{L_\mu}{L_r} (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}),$$

или

$$\omega_r = \omega_e - \frac{L_\mu}{L_r} \left(\frac{\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}}{\psi_r^2} \right),$$

где $\omega_e = \dfrac{d\theta}{dt}$ и $\psi_r^2 = \psi_{r\alpha}^2 + \psi_{r\beta}^2$.

Перед использованием системы в структуре векторного управления регулируемого электропривода (РЭП), осуществим проверку её адекватности на модели электродвигателя в неподвижной системе координат (рис. 1).

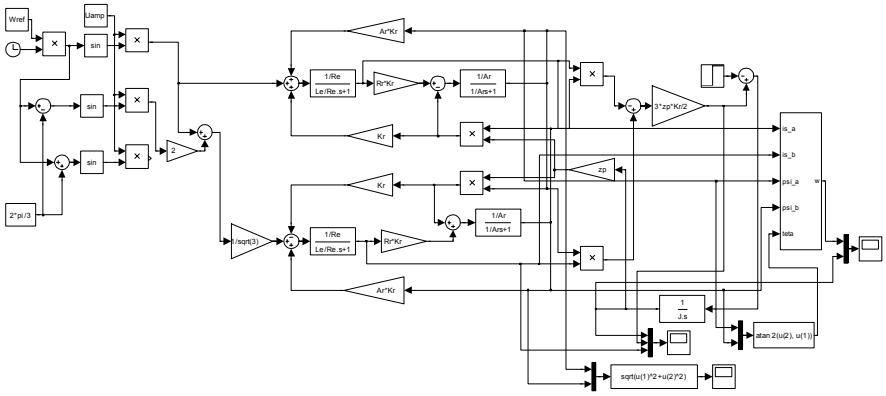


Рис. 1. Имитационная модель двигателя в неподвижной системе координат с добавленной подсистемой косвенного определения частоты вращения ротора АД

Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

Полученные в результате моделирования переходные процессы скорости АД (рис. 2) вполне адекватны, что говорит о возможности дальнейшего использования системы. Ярко выраженная прерывистость графика переходного процесса (пилообразность) обусловлена наличием разрыва функции производной, она не может быть полностью скомпенсирована, но при достаточной степени настройки времени интегрирования системы в канале расчёта угла θ позволяет значительно минимизировать разброс значений.

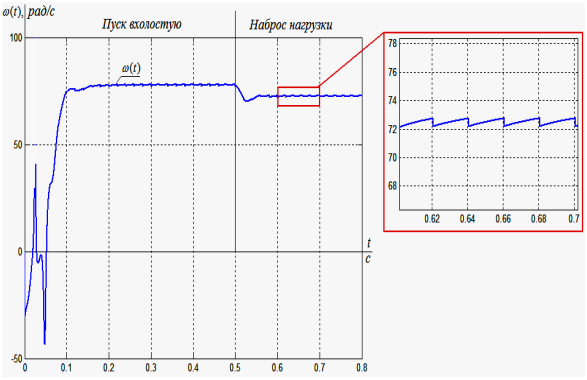


Рис. 2. Переходный процесс скорости АД, снятый на выходе подсистемы косвенного определения частоты вращения ротора

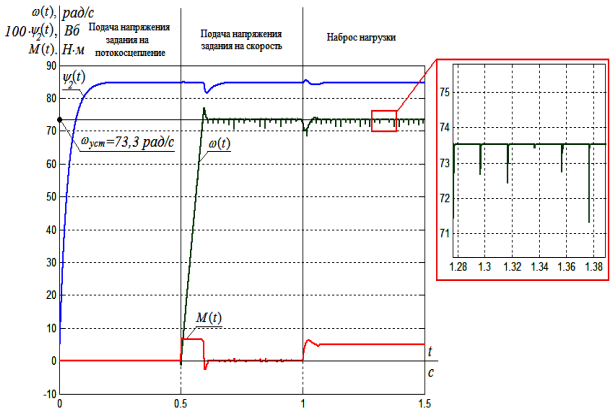


Рис. 3. Переходные процессы скорости, потокосцепления и момента в системе бездатчикового векторного электропривода

На рисунке 3 представлены графики переходных процессов замкнутой по скорости системы САУ РЭП с использованием системы косвенного определения скорости.

Анализ полученных в результате моделирования переходных процессов, показывает, что система косвенного определения недоступных для прямого измерения координат электропривода работает адекватно. Показатели качества переходных процессов – вполне удовлетворительны для электроприводов устройств скрутки жил кабелей связи.

Список литературы

1. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / Козярук А.Е., Рудаков В.В. – под редакцией Народицкого А.Г. – С-Петербург, СПЭК. 2001.-94 с.
2. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, И. А. Чернышев; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.

О ПРИМЕНЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЫТОВОМ КОМПРЕССОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Рогова О. В., Бевз С.А.

Научный руководитель: Нейман В.Ю., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет

630092 , Россия, г. Новосибирск, ул. Карла Маркса, 20

E-mail: olga_ryu_@mail.ru

Несмотря на давнее промышленное использование компрессорного оборудования, стремление осуществить непосредственный привод за счет исключения из общей кинематической цепи промежуточных преобразовательных и вспомогательных звеньев сохраняет свою актуальность и в настоящее время [1]. Связано это в первую очередь с тем, что отличительной особенностью современного компрессорного оборудования, используемого для бытовых целей в независимости от типа рабочего органа, является использование электродвигателей вращательного действия в совокупности с промежуточными механизмами, преобразующими вращательное движение в возвратно-поступательное движение рабочего орган.

Данная особенность конструкции компрессорного оборудования приводит к возникновению следующих недостатков:

снижение КПД;

- значительные затраты энергии на преобразование вращательного движения в возвратно-поступательное;
- снижение ремонтопригодности из-за наличия промежуточных кинематических звеньев;
- значительная материалоемкость.

Подобные конструкции получили широкое распространение в маломощном компрессорном оборудовании. Был проанализирован ряд источников по результатам которых была составлена таблица технических характеристик подобного компрессорного оборудования.

В результате анализа конструкционных особенностей приведенного компрессорного оборудования было выявлено, что наиболее целесообразно в рассматриваемых случаях применение двигателя с возвратно-поступательным движением ротора[2]. Так как при этом происходит существенное снижение энергетических затрат и материалоемкости, а так же четкое позиционирование рабочего органа за счет крепления на одном валу якоря электродвигателя и рабочего органа компрессора.

Актуальность данной темы так же подтверждается наличием неоспоримых преимуществ у компрессора с подобным типом электродвигателя по сравнению с электродвигателям вращательного действия. Помимо значительного снижения энергозатрат при работе он обладает рядом преимуществ: снижается материалоемкость, уровень шума и вибраций при работе компрессора, повышается ремонтопригодность и износостойкость конструкции в целом, отпадает необходимость применения кинематических звеньев, преобразующих вращательное движение в поступательное.

Анализируя конструкционные особенности существующих в настоящее время электромагнитных компрессоров с возвратно-поступательным движением рабочего органа и якоря электродвигателя можно сделать вывод о том, что в процессе работы существующих устройств при интенсивных нагрузках компрессора может возникать биение рабочего органа о крышку цилиндра. Так же данные компрессоры обладают невысоким КПД ввиду небольшой величины хода рабочего органа, отсутствует возможность регулировки величины хода поршня (мембраны) [4-6].

По результатам проведенного анализа конструкций предлагается электромагнитный компрессор лишенный недостатков приведенных

Разработанная конструкция предлагаемого электромагнитного компрессора направлена на улучшение таких показателей, как: повышение надежности и КПД компрессоров бытового назначения и специализированных компрессоров малой мощности. Что достигается за счет того, что сердечник и якорь двигателя снабжены кольцевыми выступами, сопряженными по диаметру, создающими полюсные деления.

Такое конструктивное решение позволяет при работе компрессора ограничивать ход рабочего органа, тем самым предотвращает биение поршня о крышку цилиндра. Изменение величины полюсных делений позволяет устанавливать величину хода рабочего органа компрессора.

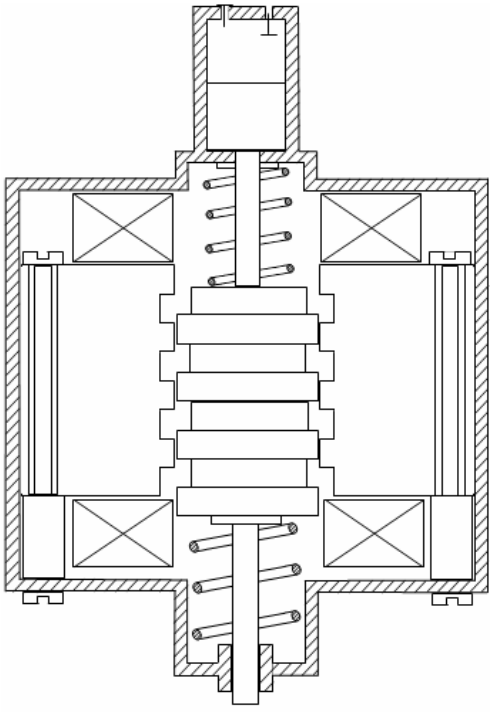
Таблица

Тип компрессора	Производительность, л/мин	Мощность, КВт	Рабочее напряжение, В	Создаваемое давление, атм
Для автосервиса	320-1000	2,2 - 7,5	220 /380	8-11
Гаражные	100-400	1,1-2,2	220 /380	8-9
Для аэрографии	20-70	0,2-0,7	220	4-6
Для бытовых холодильников	6-10	0,1-0,2	220	4-6
Дентальные	20-60	0,2-0,7	220	4-6
Автомобильные	20-60	0,2-0,5	12	7-10

Предполагается, что статор и якорь двигателя могут быть полностью шихтованными или набраны из отдельных элементов, что позволяет повысить КПД компрессора вследствие взаимной компенсации добавочных электродвижущих сил и моментов.

На рисунке в разрезе показана конструкция предлагаемого электромагнитного компрессора

Электромагнитный компрессор содержит рабочую камеру с поршнем и впускным и выпускным клапанами, двигатель вибрационного типа с сердечником квадратной формы с установленным в нем якорем цилиндрической формы, катушками дисковой формы, спиральными цилиндрическими пружинами центрирующими положение якоря. Якорь двигателя снабжен кольцевыми выступами, сопряженными по диаметру с боковыми кольцевыми выступами внутренней боковой поверхности статора.



Рисунок

Линейный электромагнитный компрессор работает следующим образом. При включении в сеть по обмоткам полюсов сердечника проходит переменный ток, создающий переменный магнитный поток. Под действием возбужденной в магнитной цепи магнитодвижущей силы якорь опустится вниз таким образом, что его выступы становятся против выступов полюсов сердечника. Поршень компрессора перемещается в нижнюю область цилиндра и происходит процесс всасывания газа.

Так как поток переменный, то во время его изменения при переходе через нулевое значение магнитодвижущая сила, приложенная к якорю, становится также равной нулю, якорь поднимается вверх в первоначальное положение. При этом поршень компрессора перемещается в верхнюю область цилиндра и происходит процесс нагнетания газа. При новом увеличении магнитного потока якорь вновь перемещается вниз, увлекая за собой рабочий орган компрессора. Далее цикл повторяется.

В заключении следует отметить, что создание новых эффективных конструкций линейных двигателей открывает новые возможности для их использования в компрессорном оборудовании.

Данный тип двигателей отличает исключительная простота, компактность конструкции, они имеют только одну движущуюся деталь – якорь, поэтому обладают высокой надежностью и низкой стоимостью. Предлагаемые же усовершенствования существенно повышают надежность и КПД электромагнитного компрессора.

исок литературы

1. Юша В. Л. Теория, расчет и конструироание поршневых компрессоров/ В. Л. Юша. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 132с.
2. Ряшенцев Н.П. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями/ Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, В.Н., Федонин, А.Т. Малов // Электропривод с линейными электромагнитными двигателями. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150с
3. Смелягин А.И. Синтез и исследование машин и механизмов с электромагнитным приводом/ А.И. Смелягин. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. Ун-та, 1991. – 248 с.
4. А.с. 350103 СССР, МПК H02K33/02. Элктический двигатель возвратно-поступательного движения/ А.Н. Мирошниченко, Н.И. Финченко – №1486949/24-7; Заявл. 21.10.70; Опубл. 04.09.72, Бюл. №26 – 2 с.: ил.
5. А.с. 395615 СССР, МКл F 04 B 35/04. Электромагнитный компрессор / Н.П. Ряшинцев, А.И. Смелягин, В.И. Лиманюк, А.Д. Русаков, В.В. Шорохов. – № 1632069/24-06; Заявл. 01.03.71 опубл. 22.08.73, Бюл. №35- 2с.
6. А.с. 1267042 СССР, МКл F 04 B 35/04. Электромагнитный компрессор / Н.П. Ряшинцев, А.Д. Русаков. – № 3681588/31-06; заявл. 27.12.83; опубл. 30.10.86, Бюл. №40- 2с.
7. А.с. 1000595 СССР, МПК F04B45.04. Электромагнитный мембранный компрессор/ Ю.П. Самохвалов, Ю.И. Тамбовцев – №3227276/25-06; Заявл. 29.12.80; Опубл. 28.02.83, Бюл. №8 – 2 с.: ил.
8. Пат. 2376497 RU, МПК F04B35/04. Линейный компрессор и привод для такого компрессора/ А. Шаде, Я. Г. Шуберт – № 2007121771/06; Заявл. 30.11.05; Опубл. 20.12.09, Бюл. № 35. – 11 с.: ил.

СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ

Родионов Г.В.

Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ttllogika@sibmail.com

Известно достаточно большое количество различных методов идентификации переменных состояния асинхронного двигателя [1]. Однако сложность асинхронного двигателя как нелинейного нестационарного объекта управления не позволяет найти универсального решения данной задачи, поэтому поиски новых методов оценивания не прекращаются.

Предложенный в [2] метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) возможно применить для построения наблюдателя скорости асинхронного двигателя.

Для синтеза наблюдателя скорости используем нелинейную модель АД во вращающейся системе координат, записанную в векторно-матричной форме [3]:

$$\dot{x}(t) = A(x)x(t) + BU(t) + G(t)M_C(t),$$

где

$x(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t)]^T = [i_{sx}(t), i_{sy}(t), \psi_r(t), \omega_r(t), M_c]^T$ - вектор состояния АД; $U(t) = [U_{sx}(t), U_{sy}(t)]^T$ – вектор напряжений питания АД в координатных осях $\{x, y\}$; $A(x)$, B, $G(t)$ – матрицы параметров двигателя и механической нагрузки,

$$A(x) = \begin{bmatrix} -a_1 & a_2\dfrac{1}{x_3(t)}x_2(t) & a_3 & a_4x_2(t) & 0 \\ -a_2\dfrac{1}{x_3(t)}x_2(t) & -a_6 & -a_7x_4(t) & -a_4x_1(t) & 0 \\ a_2 & 0 & -a_8 & 0 & 0 \\ 0 & a_9a_{10}(t)x_3(t) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} a_5 & 0 \\ 0 & a_5 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad G(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -a_{10}(t) & 0 \end{bmatrix}^T.$$

где коэффициенты определяются следующим образом: $a_1 = \dfrac{R_e}{L_e}$; $a_2 = K_rR_r$; $a_3 = \dfrac{1}{L_e}K_rA_r$; $a_4 = z_p$; $a_5 = \dfrac{1}{L_e}$; $a_6 = \dfrac{1}{L_e}R_e$; $a_7 = \dfrac{1}{L_e}K_rz_p$; $a_8 = A_r$; $a_9 = \dfrac{3}{2}z_pK_r$; $a_{10}(t) = \dfrac{1}{J_Э}$.

Синтез наблюдателя скорости начинается с ввода макропеременных:

$$\Psi = \phi_1 - \hat{\phi}_1, \qquad (1)$$

которые должны удовлетворять уравнению:

$$\dot{\Psi} - L_1 \cdot \Psi = 0. \qquad (2)$$

Задаём вид промежуточной функции, зависящей от наблюдаемой и измеряемых переменных [4]:

$$\phi_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = \frac{x_1}{N_{x1}} + \frac{x_2}{N_{x2}} + \frac{x_3}{N_{x3}} + x_4, \qquad (3)$$

где N_{x1}, N_{x2}, N_{x3} – нормирующие коэффициенты.

После подстановки (1) в (2) с учётом (3) получаем:

$$\left[\frac{\partial\phi_1}{\partial x_1}\dot{x}_1 + \frac{\partial\phi_1}{\partial x_2}\dot{x}_2 + \frac{\partial\phi_1}{\partial x_3}\dot{x}_3 + \frac{\partial\phi_1}{\partial x_4}\dot{x}_4 - \frac{\partial\hat{\phi}_1}{\partial t}\right] - L_1\left(\phi_1 - \hat{\phi}_1\right) = 0 \qquad (4)$$

С целью исключения наблюдаемых переменных вводим функции $\Gamma_{1,1},\Gamma_{1,2},\Gamma_{1,3}$ такие, чтобы выполнялось равенство:

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial x_1}\dot{x}_1+\frac{\partial \phi_1}{\partial x_2}\dot{x}_2+\frac{\partial \phi_1}{\partial x_3}\dot{x}_5+\frac{\partial \phi_1}{\partial x_4}\dot{x}_4-L_1\phi_1= \\ =\left[\Gamma_{1,1}\cdot\dot{x}_1+\Gamma_{1,2}\cdot\dot{x}_2+\Gamma_{1,3}\cdot\dot{x}_3+\gamma_1\right] \quad (5)$$

После подстановки в (5) уравнений из исходной системы дифференциальных уравнений, группируется коэффициенты при x_4. Приравняем выражения перед наблюдаемой переменной к нулю. Свободные выражения также приравняем к нулю:

$$\frac{a_4\cdot x_2}{N_{x1}}-\frac{a_4\cdot x_1}{N_{x2}}-\Gamma_{1,1}\cdot a_4\cdot x_2+\Gamma_{1,2}\cdot a_4\cdot x_1-\frac{a_6\cdot a_4\cdot x_3}{N_{x2}}+ \\ +\Gamma_{1,2}\cdot a_6\cdot a_4\cdot x_3-L_1=0$$

$$\frac{a_2\cdot x^2{}_2}{N_{x1}\cdot x_3}-\frac{L_1\cdot x_1}{N_{x1}}-a_{10}\cdot x_5-\Gamma_{1,1}\cdot a_6\cdot a_8\cdot x_3- \\ -\frac{\Gamma_{1,1}\cdot a_2\cdot x^2{}_2}{x_3}+\Gamma_{1,2}\cdot a_1\cdot x_2-\frac{L_1\cdot x_2}{N_{x2}}- \\ -\frac{L_1\cdot x_3}{N_{x3}}-\frac{a_8\cdot x_3}{N_{x3}}+\Gamma_{1,1}\cdot a_1\cdot x_1-\frac{a_1\cdot x_2}{N_{x2}}+ \\ +a_9\cdot a_{10}\cdot x_3\cdot x_2-\frac{a_2\cdot x_2\cdot x_1}{N_{x2}\cdot x_3}+\frac{\Gamma_{1,2}\cdot a_2\cdot x_2\cdot x_1}{x_3}=0; \quad (6)$$

$$\Gamma_{1,3}\cdot a_8\cdot x_3+\frac{a_6\cdot a_8\cdot x_3}{N_{x1}}-\Gamma_{1,3}\cdot a_2\cdot x_1-\frac{a_1\cdot x_1}{N_{x1}}+\frac{a_2\cdot x_1}{N_{x3}}=0;$$

$$\gamma_1=\frac{a_5\cdot U_D}{N_{x1}}+\frac{a_5\cdot U_Q}{N_{x2}}-\Gamma_{1,1}\cdot a_5\cdot U_D-\Gamma_{1,2}\cdot a_5\cdot U_Q;$$

Решаем систему (6) относительно $\Gamma_{1,1},\Gamma_{1,2},\Gamma_{1,3}$. Полученные выражения позволяют исключить наблюдаемую переменную из выражения (4).

Итоговое выражение нахождения промежуточной функции с учётом (5) принимает вид:

$$\Gamma_{1,1}\cdot\dot{x}_1+\Gamma_{1,2}\cdot\dot{x}_2+\Gamma_{1,3}\cdot\dot{x}_3+\gamma_1+L_1\cdot\hat{\phi}_1=\frac{\partial\hat{\phi}_1}{\partial t} \quad (7)$$

Оцениваемую величину находим из выражения (3):

$$\hat{x}_4=\hat{\phi}_1-\left(\frac{x_1}{N_{x1}}+\frac{x_2}{N_{x2}}+\frac{x_3}{N_{x3}}\right); \quad (8)$$

Для имитационного моделирования необходимо численно решить уравнение (7) и из уравнения (8) получить искомую оценку не измеряемой переменной.

Имитационное моделирование описанного наблюдателя скорости проводилось в среде Matlab Simulink совместно с моделью векторной системы управления. Скорость наблюдалась на двухфазной модели асинхронного двигателя во вращающейся системе координат. Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2.

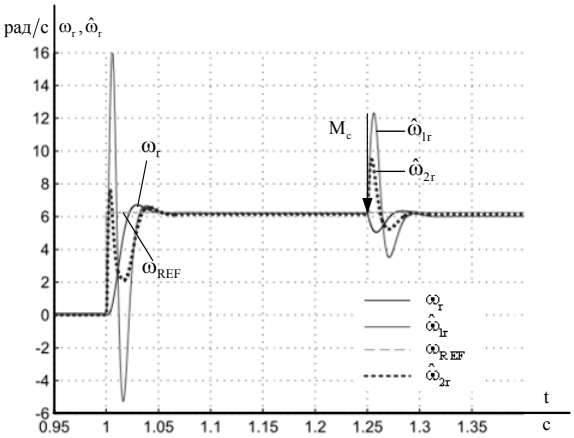


Рис 1. Результаты имитационного моделирования со ступенчатым заданием

При отработке модели системы управления ступенчатого воздействия оценка скорости производит сильные броски. Применение линейного задатчика интенсивности уменьшило данный эффект.

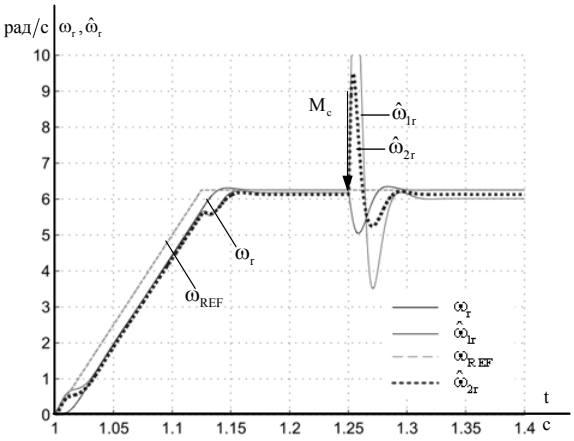


Рис 2. Результаты имитационного моделирования с линейным задатчиком интенсивности

В представленной работе описана методика синтеза наблюдателя скорости методом АКАР. Полученные результаты имитационного моделирования показывают работоспособность полученного наблюдателя скорости. Дальнейшие исследования в данном направлении будут связаны с созданием системы робастного управления асинхронного двигателя векторным регулятором построенным методом АКАР совместно с представленным наблюдателем скорости.

Список литературы

1. Vas P. Sensorless vector and direct torque control. – Oxford university press, 1998. – 729 с.
2. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы/Под общей редакцией А.А. Колесникова. – М.:Едиториал УРСС, 2005. – 279.
3. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты Екатеринбург: УРО РАН, 2000.– 654 с.
4. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. Монография / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Е. Янковская; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 254 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Рожков А.Ю.

Научный руководитель: Чернышев И.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: rozhkov@tpu.ru

В процессе подготовки природного газа к транспортировке по магистральным газопроводам (МГ) на компрессорных станциях (КС) при компримировании происходит нагрев газа. Для предотвращения линейного расширения МГ и энергосбережения, газ необходимо охладить при помощи аппараты воздушного охлаждения (АВО) газа. По закону Гей-Люссака объем газа при неизменном давлении прямо пропорционален его температуре. Газ с минимальным объемом при перекачке по магистральным газопроводам испытывает минимальное гидравлическое сопротивление, и на его перекачку расходуется минимальное количество энергии.

Существует отличительная особенность условий эксплуатации АВО газа на дожимных компрессорных станциях (ДКС) газовых промыслов и на компрессорных станциях магистрального газопровода (КС МГ). На компрессорных станциях магистральных газопроводов поступает уже осушенный газ, в то время как на газовых промыслах на первой ступени компримирования приходится охлаждать сырой газ. При этом имеет место проблема образования гидратов, которые представляют собой кристаллические вещества и образуются на внутренних стенках трубок при определенном соотношении давления и температуры и могут вызвать закупорку проходного сечения и выход трубки из строя.

В настоящее время на большинстве газовых промыслах (ГП) Крайнего Севера на ДКС 1-й ступени компримирования применяется способ управления АВО газа, заключающийся в ручном или дистанционном включении-отключении вентиляторов, число которых определяется оператором исходя из его профессионального опыта. Определение факта закупорки теплообменных трубок гидратами производится визуально по наличию инея на трубках. Отогрев закупоренных трубок осуществляется при помощи парогенераторной установки. Однако во многих случаях гидратообразования даже указанная процедура неэффективна, и приходится отключать секцию до весны. Недостатки такой системы очевидны. [1]

Для решения проблем поддержания требуемой температуры газа на выходе аппарата воздушного охлаждения и защиты теплообменных труб от гидратообразования целесообразно использовать систему автоматического управления АВО.

Основные функции САУ АВО:

- автоматическое поддержание заданной температуры ($t_{зад}$) на выходе АВО, путём включения/выключения определённого числа вентиляторов;
- частотное регулирование частоты вращения вентиляторов в зависимости от температуры окружающей среды ($t_{ос}$) и $t_{зад}$;
- защита АВО от закупорки теплообменных секций, изменением $t_{зад}$ при определённом давлении продукта на выходе из КС и изменением частоты и направления вращения вентиляторов;
- плавный последовательный пуск группы электродвигателей.

В летнее время проблема гидратообразования не актуальна, и необходимость в частотном регулировании отпадает. В это время частотно- регулируемый привод (ЧРП) должен обеспечить только последовательный плавный пуск вентиляторов АВО. Но в зимнее время необходимо осуществлять не только плавный пуск, но и плавное регулирование температуры газа, для этого необходимо установить ЧРП вентиляторов.

На восемь вентиляторов устанавливается два ПЧ – по одному на четыре вентилятора. Переключения каждого ПЧ между четырьмя вентиляторами обеспечивает коммутационная аппаратура.

Для контроля температуры устанавливается один датчик температуры газа на выходе АВО и два датчика температуры нижнего ряда пучков труб в районе четвёртой пары вентиляторов по ходу газа (рис. 1) [2].

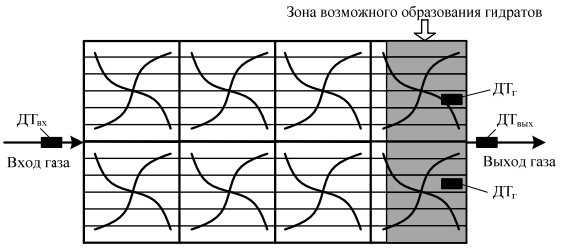


Рис. 1. Зона возможного гидратообразования в теплообменной секции АВО

Так же ЧП обеспечивается время-токовая защита и тепловая защита двигателя, защита от короткого замыкания, плавное регулирование частоты вращения и экономия электроэнергии.

На рис. 2. приведена функциональная структура системы управления аппаратом воздушного охлаждения. На рисунке приняты следующие обозначения: ПК – персональный компьютер, МК – микроконтроллер, ПЧ1 – ПЧ2 – преобразователи частоты, БЭК – блок электромагнитных контакторов, АД1 – АД8 – инхронные двигатели, В1 – В8 – вентиляторы,

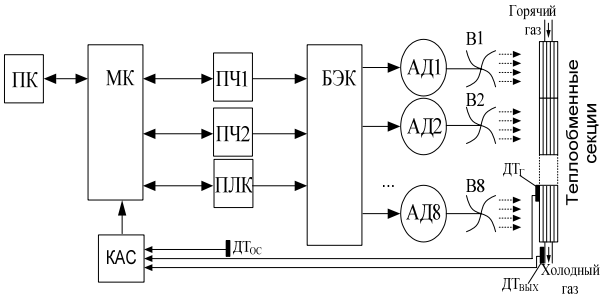


Рис. 2. Функциональная структура системы управления

$ДТ_{ВЫХ}$ – датчики температуры газа на входе аппарата воздушного охлаждения, $ДТ_{Г}$ – датчики температуры гидратообразования, $ДТ_{ВЫХ}$ – датчики температуры газа на выходе аппарата воздушного охлаждения, $ДТ_{ОС}$ – датчик температуры газа окружающей среды, КАС – концентратор аналоговых сигналов.

Принцип действия САУ АВО газа заключается в следующем: на основании информации о температуре окружающего воздуха, с $ДТ_{ОС}$ и $ДТ_{ВЫХ}$ сигналы поступают на МК через АЦП, микроконтроллер определяет число вентиляторов, необходимых для поддержания температуры газа на выходе АВО и подаёт на ПЛК задание для последовательного запуска вентиляторов. На рис. 3 показано изменение числа включенных вентиляторов АВО газа в зависимости от температуры окружающего воздуха. Данная зависимость была получена на основе профессионального опыта персонала газовых промыслов №3 Уренгойского ГКМ. [2]

При пуске того или иного вентилятора программируемый логический контроллер (ПЛК) подключает электродвигатель данного вентилятора к сети посредством блока электромагнитных контакторов (БЭК) через ЧРП. Если на данном этапе достаточно диапазона регулирования вентилятора для поддержания температуры газа на выходе АВО, то плавное регулирование осуществляется одной парой вентиляторов.

При исчерпании диапазона регулирования первой пары вентилятора, ПЛК посредством БЭК подключает их к трехфазной сети напрямую, а вторая пара вентиляторов подключается к преобразователям частоты и осуществляет дальнейшее плавное регулирование. При дальнейшем повышении температуры газа, вторая пара вентиляторов также переключается на прямую работу от сети, а регулирование осуществляется третьей парой вентиляторов, затем по такой же схеме и четвёртой парой. При снижении температуры газа на выходе, отключение происходит в обратной последовательности.

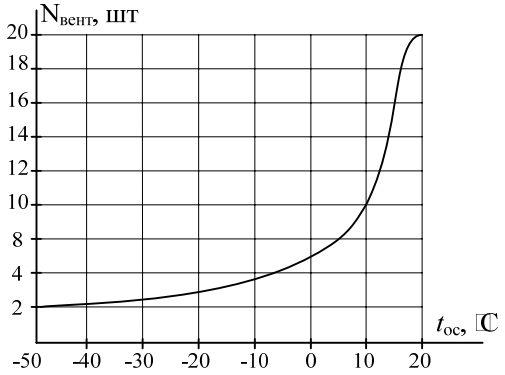


Рис. 3. Изменение числа включенных вентиляторов АВО газа в зависимости от температуры окружающего воздуха

При достаточно низких температурах наружного воздуха и приближении температуры теплообменных секций к температуре гидратообразования, возможен режим реверса пары вентиляторов подключенных к ЧП для отогрева нижнего ряда пучков труб в секции.

Данное техническое решение позволяет снизить стоимость системы, габаритно-массовые характеристики оборудования. Так же имеется возможность перевода всех вентиляторов на прямую работу от сети при максимальной нагрузке в жаркую погоду.

В результате, выполняется плавное, точное регулирование температуры газа на выходе АВО и осуществляется контроль и предотвращение гидратообразования в теплообменных секциях.

Список литературы

1. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессор-ных станций магистральных газопроводов. – М.: Нефть и газ, 1999. – 463 с. ISBN 5 – 7246 – 0055 – 2.
2. Шербинин С.В. Определение зоны гидратообразованя в аппаратах воздушного охлаждения газа / актуальные проблемы современной науки №3 (18) 2004г. – С. 167-169.

ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЗУБЦАМИ-РОЛИКАМИ РОТОРА

Рыжов И.А.

Научный руководитель: Жуловян В.В., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет

630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

E-mail: radman@ngs.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается модель машины индукторного типа с оригинальной конструкцией зубцово-пазовой зоны, основанная на идеи качения зубцов ротора по зубцам статора с целью достижения минимально возможной величины воздушного зазора, а, следовательно, максимальной пульсации магнитной энергии. Предложенная конструкция обладает более высокими энергетическими показателями по сравнению с классической индукторной машиной.

Введение

Индукторные машины относятся к электрическим машинам, преобразование энергии в которых осуществляется за счет модуляции магнитного потока, вызванной наличием зубчатости на статоре и роторе. Следовательно, параметры зубцово-пазовой зоны напрямую влияют на энергетические характеристики машины [1].

Именно этим объясняется наличие большого числа работ, связанных с определением геометрии воздушного зазора, обеспечивающего максимальную глубину изменения проводимости при синусоидальном характере ее изменения от поворота ротора.

Обычно зубцовая зона на роторе и статоре содержит открытые пазы, степень раскрытия которых выбирается таким образом, чтобы обеспечить указанные требования.

Как показывает анализ, глубина изменения проводимости ограничена воздушным зазором, значение которого не может быть меньше некоторого технологического значения. В настоящей работе предлагается один из путей преодоления этого барьера.

Описание конструкции

Конструкция представленной машины на рис.1 б), состоит из зубчатого статора, на полюсах которого располагаются катушки возбуждения и якоря, и зубчатого безобмоточного ротора, с той отличительной особенностью, что индукторная машина с катящимися зубцами имеет оригинальное конструктивное исполнение ротора. Ротор имеет пазы под цилиндрические ферромагнитные зубцы, с возможностью их свободного вращения. В рассматриваемой конструкции 8-6 (на практике может быть реализована любая конструкция с числами зубцов кратным 4-3) в каждый момент времени два диаметрально противоположных зубца ротора катятся, соприкасаясь с зубцами статора, образуя минимальный зазор. Этим решением достигается практически наибольшая возможная глубина пульсации проводимости в сравнении с прямоугольными зубцами с зазором, сохраняя при этом простоту конструкции.

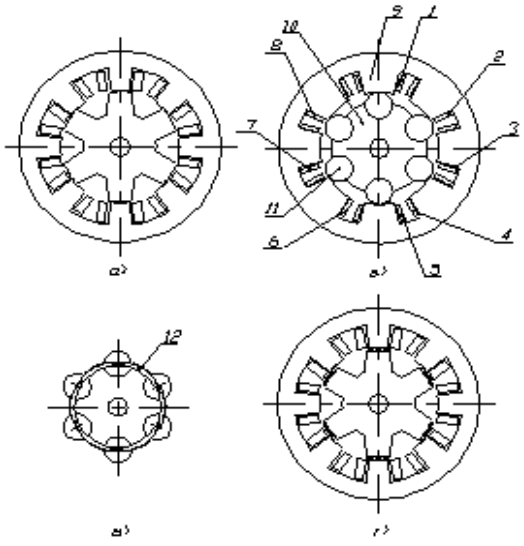


Рис. 1. а) конструкция классической индукторной машины; б) конструкция индукторной машины с ферромагнитными цилиндрическими зубцами ротора: 1,2,3,4,5,6,7,8 – т-фазная обмотка, 9 – статор, 10 – ярмо ротора, 11 – ферромагнитный цилиндрический зубец ротора; в) ротор с торцевым ободом 12; г) конструкция индукторной машины с ферромагнитными цилиндрическими роликами на коронке зубца ротора

Ширина зубца статора классической конструкции на рис.1. а) заметно меньше ширины зубца конструкции на рис.1. б). Её величина была подобрана с целью получения максимальной синусоидальности кривой потока, что продемонстрировано на рис. 2 в).

На рис. 1 г) изображен вариант индукторной машины с расположением нескольких ферромагнитных роликов на коронке зубца ротора, также катящихся по зубцам статора. Важно заметить, что для этой конструкции оптимальной является ширина зубца статора близкая по величине к ши-

рине зубца классической конструкции. Количество роликов на коронке зубца может быть выбрано любым технологически реализуемым.

Торцевой обод, представленный на рис.1. в), не является обязательным элементом конструкции, но может быть использован для исключения подшипниковых щитов, что привело бы к уменьшению габаритов машины. Конструкция с роликами на коронке зубца также может содержать торцевые обода.

По конструктивным особенностям схожим является асинхронный ДКР (двигатель с катящимся ротором) С.П. Розанова, принцип действия которого, основан на обкатывании массивным ферромагнитным телом вращения (роликами) поверхности расточки статора против поля. Недостатками, представленного асинхронного ДКР, являются сложность конструкции и низкие энергетические показатели [2]. Важно заметить, что в изобретении Розанова функция роликов не направлена на увеличение пульсации магнитной энергии, а, следовательно, и момента.

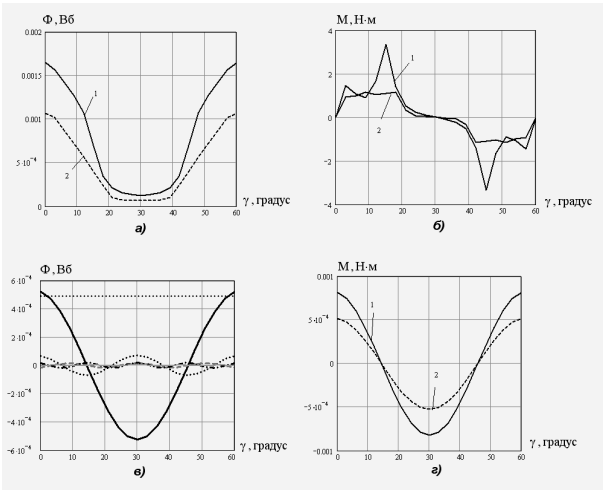


Рис. 2. а) Характер изменения величины потока за период; б) спектр гармоник кривой потока конструкции с ферромагнитными цилиндрическими зубцами-роликами; а) угловые характеристики двух конструкций; в) первые гармоники кривых зависимости момента от угла поворота (1 – модель с цилиндрическими ферромагнитными зубцами, 2 – классическая индукторная машина)

Результаты исследований

Для подтверждения теоретического обоснования повышения величины момента и глубины пульсации проводимости рассмотрим данные, полученные при исследовании модели машины в программном комплексе FEMM. Для сравнения параметров диаметрально противоположных катушках был задан ток 0.5 А, при условии, что катушки были включены согласно, и получены угловые характеристики классической индукторной машины и машины с ферромагнитными цилиндрическими-роликами зубцами ротора (параметры фиксировались на зубцовом делении, в силу повторения характеристик на остальных участках зубцово-пазовой зоны).

Сравнительный анализ конструкций проводился при линейной постановке задачи.

На рис. 2 представлены сравнительные характеристики двух конструкций, где следует обратить особое внимание на значительное увеличение пульсации потока, а, следовательно, и энергии. Для анализа угловых характеристик, прежде всего, необходимо провести гармонический анализ и сравнить амплитуды первых гармоник, которые являются рабочими: первая гармоника момента классической конструкции 1,054 Н*м, а первая гармоника момента конструкции с ферромагнитным цилиндрическим зубцом 1,703 Н*м – практически 65% преимущество предложенной конструкции.

Заключение

Предложена уникальная геометрия зубцово-пазовой зоны, с зубцами ротора в виде цилиндрических роликов, катящихся по поверхности статора, позволяющих добиться минимально возможного воздушного зазора, и тем самым достичь существенного увеличения пульсации магнитного поля. Также представлен альтернативный вариант с размещением роликов на коронке зуба ротора. Подобрано оптимальное соотношение ширины зуба к пазу, обеспечивающее синусоидальность изменения потока. Все представленные исследования доказывают более выгодное использование рабочего объема машины с цилиндрическими ферромагнитными зубцами в сравнении с классической конструкцией. Повышение показателей машины, в совокупности с простотой их конструкции, позволят индукторным машинам конкурировать с машинами индукционного типа и в перспективе занять место в общем ряду электрических машин общепромышленного и специального назначения.

Список литературы

1. Жуловян В.В. Электромеханическое преобразование энергии: учеб. пособие / Жуловян В.В.// Изд-во НГТУ, 2005. – 452 с. – (Учебники НГТУ).
2. Бертинов А. И., Варлей В. В. Электрические машины с катящимся ротором. М.: Энергия, 1969.- 200 с.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
4. Кононенко Е.В. Синхронные реактивные машины / Е. В. Кононенко. – М.: Энергия, 1970. – 208 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПУЛЬСАЦИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Абдель Максуд С.С.А.

Научный руководитель: Шевченко А.Ф., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет

630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: elmotron@online.sinor.ru

В данной работе представлены результаты исследования влияния изменения ширины шлица (открытия паза) над пазом статора и ширины шлица под магнитом на пульсацию электромагнитного момента магнитоэлектрических двигателей с двумя конструкциями ротора при неизменных размерах магнитов. Поскольку пазовая часть статора двигателя не может изменяться в широких пределах, то единственным размером магнитопровода статора, который может варьироваться, является ширина шлица (открытия паза) над пазом статора для двух моделей.

Первая модель – ротор коллекторного типа с тангенциальной намагниченностью магнитов. Благодаря такой конструкции удается сконцентрировать магнитный поток в воздушном зазоре и тем самым значительно повысить использование активного объема машины. Вторая модель – ротор с радиально-ориентированными магнитами на поверхности ротора, создающими больший магнитный поток за счёт большей площади поверхности магнитов, что так же позволяет улучшить использование активных материалов [1]. Цель настоящей работы – расчет коэффициента пульсации момента двигателей при изменении ширины шлица над пазом статора и шлица под магнитом на роторе, см. рис.1 и 2. Для этого были созданы модели магнитной системы электродвигателей в программной среде FEMM, использующей численный метод расчёта − метод конечных элементов.

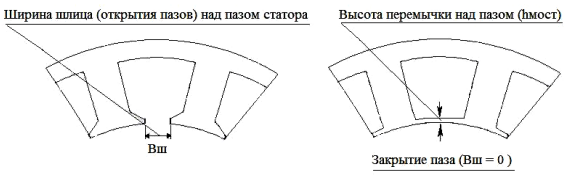


Рис. 1. Фрагмент сердечника статора для двух моделей

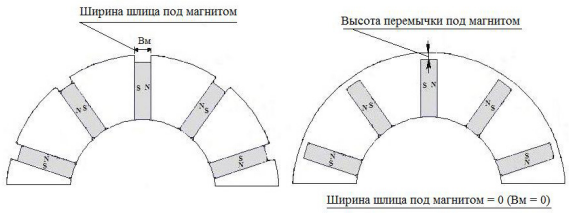


Рис. 2. Фрагмент сердечника коллекторного типа ротор

Для исследования коллекторного типа ротора и выявления наиболее оптимального варианта исполнения двигателя были проведены расчеты с различными значениями размеров ширины шлица под магнитом на роторе и проанализировано влияние изменения этих величин на пульсацию электромагнитного момента.

Пульсация электромагнитного момента. Электродвигатели с пазовым (или зубцовопазовым) статором характеризуются большей величиной электромагнитного момента по сравнению с электрическими машинами, имеющими гладкий беспазовый статор. Однако их недостатком являются зубцовопазовые пульсации, вызванные различными магнитными сопротивлениями областей пространства, расположенных вблизи зубцов и пазов. Эти пульсации генерируют набор высших гармонических составляющих, приводящих, в конечном итоге, к возникновению вибраций и шумов, отрицательно влияющих на долговечность подшипниковых узлов, а значит, и надежность электродвигателя в целом. С целью ограничения зубцовых пульсаций применяют различные способы. Один из них – это выполнение скосов на роторе [2]. Такой способ является весьма эффективным, однако технология изготовления ротора усложняется, что, соответственно, приводит к увеличению его стоимости. Кроме того, поскольку величина индукции в рабочем зазоре при использовании концентрации магнитного поля может быть даже выше остаточной индукции ПМ, то с целью уменьшения пульсаций приходится увеличивать величину рабочего зазора, а значит, уменьшать величину развиваемого момента. Другим способом, позволяющим уменьшить величину пульсации электромагнитного момента, является профилирование магнитопровода по заданному определенному закону или придание специальной формы полюсов на роторе.

По уменьшению пульсации электромагнитного момента электродвигателя были проведены работы многими исследователями. Некоторые исследователи считают причинами пульсаций момента конструкцию двигателя, тогда как другие подчеркивают, что пульсация момента – неотъемлемая часть привода и системы управления. Урав-

нение коэффициента пульсации момента ($КПМ$) может быть записано следующим образом[3]:

$$КПМ\% = \left(\frac{\sum abs\left(\frac{Ммг - Мср}{Мср} \right)}{N} \right) * 100 \quad (1)$$

где: $Ммг$ - мгновенный электромагнитный момент; $Мср$ - средний крутящий момент двигателя; N - это количество баллов за период. Электромагнитны момент двигателя рассчитывается при угле между полями статора и ротора, равном 90 эл. град. ($Id = 0, Iq = I$) для различных положений ротора.

Расчёт коэффициента пульсации момента двигателя ротора коллекторного типа при изменении ширины шлица над пазом статора и шлица под магнитом на роторе. В качестве иллюстрации на рис.3 и 4 приведены результаты расчета зависимости момента от угла поворота ротора при различных ширинах шлица над пазом статора и различных ширинах шлица под магнитом на роторе. Анализируя результаты, представленные на рис.3 и 4, следует отметить, что величина шлица над пазом статора и форма ферромагнитных полюсов на роторе существенным образом влияют на величину пульсаций электромагнитного момента.

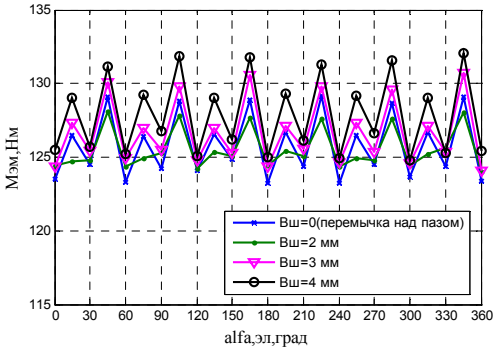


Рис. 3. Зависимости момента от угла поворота ротора при различных ширинах шлица над пазом статора

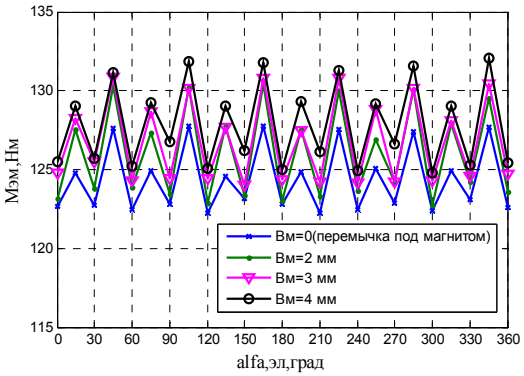


Рис. 4. Зависимости момента от угла поворота ротора при различных ширинах шлица под магнитом на роторе

Максимальное и минимальное значения момента и расчетный коэффициент пульсации момента по (1) для четырёх значений ширины шлица над пазом статора и ширины шлица под магнитом на роторе приведены в табл.1 и табл.2. Очевидно, что при увеличении ширины шлица над пазом статора увеличиваются максимальное и минимальное значение момента. Минимальная величина коэффициента пульсации момента при Вш=2 мм. Можно заметить также, что при увеличении ширины шлица над магнитом на роторе увеличиваются максимальное и минимальное значение момента.

Таблица 1

Вш, мм	0	2	3	4
M_{max}	129.13	128.08	130.73	132.08
M_{min}	123.19	124.03	124.11	124.77
$КПМ\%$	1.51	0.87	1.45	1.87

Таблица 2

Вм, мм	0	2	3	4
M_{max}	127.74	130.47	130.88	132.08
M_{min}	122.22	122.76	124.01	124.77
$КПМ\%$	1.43	2.10	1.92	1.87

Данные таблицы подтверждают то, что величина шлица над пазом статора и форма ферромагнитных полюсов на роторе существенным образом влияют на величину пульсаций электромагнитного момента.

Расчёт коэффициента пульсации момента с радиально-ориентированными магнитами на роторе при изменении ширины шлица над пазом статора. На рис.5 приведены результаты расчета зависимости момента от угла поворота ротора при различных ширинах шлица над пазом статора. Анализируя результаты, представленные на рис. 5, следует отметить, что величина шлица над пазом статора существенным образом влияет на величину пульсаций электромагнитного момента.

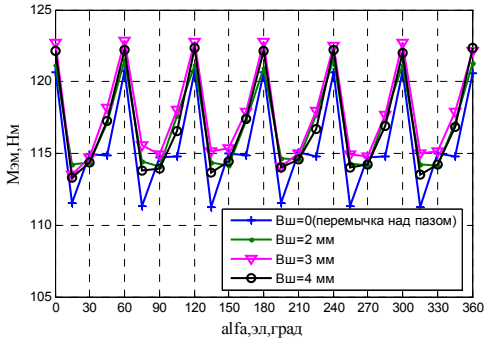


Рис. 5. Зависимости момента от угла поворота ротора при различных ширинах шлица над пазом статора

Результаты расчета коэффициента пульсации момента по (1) для четырёх значений ширины шлица под магнитом на роторе приведены в табл. 3. Максимальное и минимальное значения момента представлены в табл.3. Очевидно, что при увеличении ширины шлица над пазом статора увеличиваются максимальное и минимальное значение момента.

Таблица 3

$B_ш$, мм	0	2	3	4
M_{max}	120.71	121.57	122.85	122.38
M_{min}	111.23	114.08	113.51	113.26
КПМ%	2.43	2.20	2.39	2.53

Заключение

Результаты моделированием показали, что конфигурации магнитной системы существенным образом влияют на пульсацию момента магнитоэлектрического двигателя. Полученные результаты могут быть использованы при расчёте как установившихся, так и переходных режимов магнитоэлектрических двигателей погружных насосов с учётом реального состояния магнитной системы.

Список литературы

1. А.Ф. Шевченко, Абдель Максуд С.С.А. Исследование индуктивных параметров магнитоэлектрического двигателя с дробнми зубоцвными обмотками для погружного насоса// Наука. Технологии. Инновации-2010: материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 6 частях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. Часть 2. С.205 -206.
2. В.В. Гребеников, М. В. Прыймак. Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами// Электротехніка, 2009 г, № 2, с. 57-60.
3. А.Ф. Шевченко, Салах Ахмед Абдель Максуд Селим. Torque ripple factor calculation for BLDC motor // III Всероссийская научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов», 19-21 мая 2010 г, с. 234-237.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ШАХТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

М.С. Сахаров

Научный руководитель: Ю.Н. Дементьев, к.т.н., зав. кафедрой

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: sm88@sibmail.com

Современное горное предприятие немыслимо без принудительной вентиляции. Прекращение проветривания влечет за собой остановку всего технологического комплекса шахты или рудника, к выводу людей на поверхность, прекращению работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте.

В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного, необходимой мощности и управляемого источника сил движения воздуха, в качестве основного источника этих сил используется вентилятор.

Вентиляторы широко применяются во всех отраслях промышленности. На их привод расходуется огромное количество электроэнергии, вырабатываемой в стране. В частности, в горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 8 – 10% электроэнергии расходуемой всей шахтой [1].

В угольных шахтах в процессе эксплуатации постоянно изменяются длина, сечение и число горных выработок, а также утечки воздуха между выработками и естественная тяга. Все это обусловливает изменение сопротивления шахтной сети. Кроме того, изменяются производственная мощность шахт, газовыделение из горных пород и температура поступающего в шахту воздуха, количество людей, находящихся в шахте и т.д.

В силу этих причин действительный вентиляционный режим всегда бывает переменным и отличается от проектного. Поэтому шахтные вентиляторные установки главного проветривания должны иметь устройства, позволяющие значительно изменять их аэродинамическую характеристику без существенного уменьшения КПД, т.е. они должны экономично и глубоко регулироваться.

На сегодняшний день, основным способом регулирования режимов работы шахтных вентиляторов является изменение угла поворота лопаток. Однако у данного способа имеется целый ряд недостатков. Например, работа центробежного вентилятора на низких аэродинамических параметрах с использованием подобного способа регулирования (лопатки перекрыты практически полностью) приводит к неустойчивому динамическому режиму, что способствует повышенному механическому износу подшипников ротора вентилятора [2].

Наиболее благоприятные условия для регулирования центробежных вентиляторов по экономичности можно достичь, применив регулируемый электропривод. Применение регулируемого электропривода обеспечивает высокую экономичность работы в широком диапазоне вентиляционных режимов.

Применение регулируемого электропривода, по сравнению с изменением угла поворота лопаток, позволяет уменьшить энергопотребление в среднем на 35%; устранить пусковые токи и перегрузки двигателя в период пуска; уменьшить механиче-

ский износ оборудования и снизить затраты на его техническое обслуживание и ремонт, благодаря снижению кратности пусковых токов; получить устойчивые динамические режимы работы во всем диапазоне аэродинамических характеристик.

В связи с этим, одним из актуальных направлений в развитии систем шахтной вентиляции является создание экономичного и надежного электропривода шахтного вентилятора, а также решение ряда задач связанных с разработкой и исследованием системы частотного регулирования этого электропривода.

В ходе исследований было принято, что требованиям к проветриванию шахты “Дзержинская” в большей степени удовлетворяет центробежный вентилятор ВШЦ16, с диаметром рабочего колеса 1,6 метра и частотой вращения 1000 об/мин.

Имитационная модель асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и вентиляторной нагрузкой в стационарной системе координат, составленная на основе математического описания [3], приведена на рис. 1.

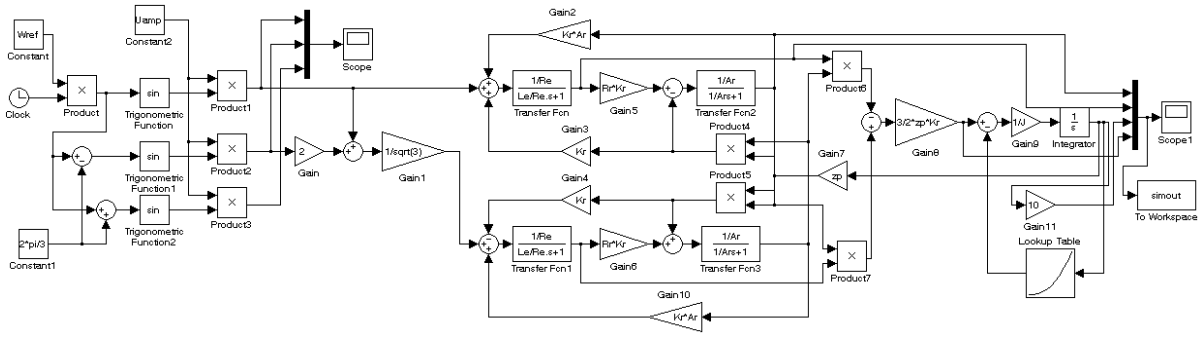


Рис. 1. Имитационная модель асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и вентиляторной нагрузкой в стационарной системе координат

С помощью данной имитационной модели были проведены исследования динамических режимов работы регулируемого электропривода вентилятора. На рисунках 2 и 3 приведены полученные графики переходных процессов скорости, тока и момента АД вентилятора.

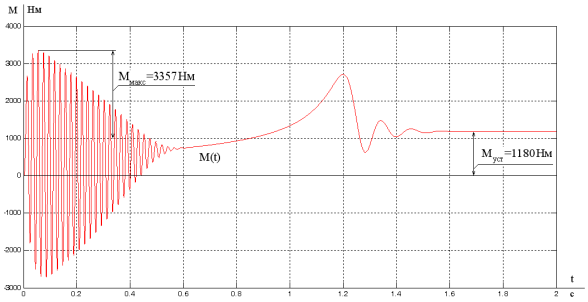


Рис. 2. График переходного процесса момента АД с вентиляторной нагрузкой при векторном управлении

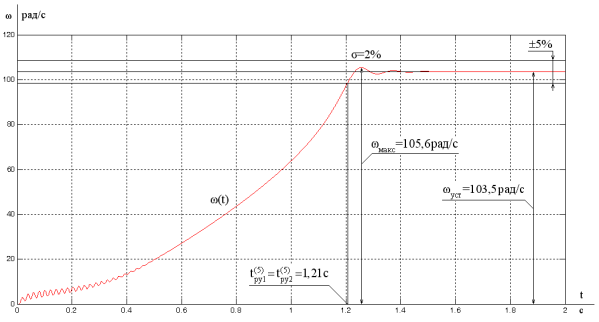


Рис. 3. График переходного процесса скорости АД с вентиляторной нагрузкой при векторном управлении

На рисунке 4 представлена динамическая механическая характеристика двигателя при векторном управлении.

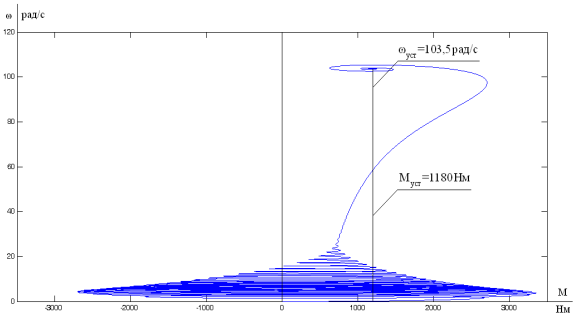


Рис. 4. Динамическая механическая характеристика АД с вентиляторной нагрузкой при векторном управлении

Анализ полученных характеристик позволяет установить, что применение частотно-регулируемого электропривода позволяет обеспечить заданный диапазон регулирования скорости вентилятора, а значит необходимое для жизнедеятельности человека проветривание шахты.

Список литературы

1. Ивановский И.Г. Шахтные вентиляторы: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003 – 196 с.
2. Горбунов В.И. Проектирование вентиляции рунных шахт: учебное пособие. – МГТУ им. Г. И. Носова. – Магнитогорск: МГТУ, 2007 – 136 с.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Томский политехнический университет, 2010 –448 с.

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКАТУШЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Скотников А.А., Литвинов И.И.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.Ю. Нейман

Новосибирский Государственный технический университет

630092, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса 20

E-mail: andrew-871@mail.ru

В последнее время все большим интересом начинают пользоваться электромагнитные машины с возвратно – поступательным движением рабочего органа. Такие машины нашли свое применение в горнодобывающем деле, строительстве, прессовом, чеканном, кузнечном оборудовании и т.д. Достоинством таких машин является отсутствие различного рода преобразователей, что позволяет упростить структуру и кинематическую схему машины, повысить надежность и снизить затраты на производство и эксплуатацию.

Наибольшее практическое применение получили синхронные электромагнитные машины ударного действия, у которых частота механических колебаний якоря (бойка) равна или кратна частоте питающей сети. Такие машины используются в горном деле и строительстве.

В настоящее время такие машины значительно усовершенствованы. Они просты в устройстве, изготовлении и эксплуатации, надежны и безопасны, имеют малые габариты и относительно высокий к.п.д. Накопленный опыт теоретических, экспериментальных и эксплуатационных исследований позволил довести их до серийного производства.

К сожалению, по эффективности и к.п.д. такие машины сложно сравнивать между собой, поскольку одни и те же выходные параметры могут быть получены в различных конструктивных исполнениях ударной машины. В таблице 1 приведены основные показатели различных типов синхронных машин ударного действия.

По таблице 1 можно убедиться, что в зависимости от типа ударной машины меняются выходные показатели.

Анализируя конструктивные и рабочие особенности различных типов электромагнитных машин ударного действия можно сделать вывод, что выходные параметры таких машин зависят не только от конструктивного исполнения, но и от выбранного рабочего цикла. Выбранный рабочий цикл влияет на такие параметры как частота ударов якоря (бойка), коэффициент полезного действия, энергия единичного удара, общая ударная мощност.

Одним из важнейших выходных параметров ударных машин является ударная мощность. Машины с высокой ударной мощностью гораздо эффективней в использовании в работах требующих разрушения, и позволяют экономить время и силы рабочего.

В данной работе рассмотрен рабочий цикл, позволяющий увеличить общую ударную мощность в классическом двухкатушечном электромагнитном двигателе ударного действия с буферным устройством инерционного типа.

Способ управления реализован для двухкатушечного электромагнитного двигателя, представленного на рис. 1. Его конструкция состоит из рабочего инструмента 1, бойка 2, магнитопровода 3 катушки рабочего хода, магнитопровода 4 катушки обратного хода, катушки рабочего хода 5, катушки обратного хода 6 и буфера 7.

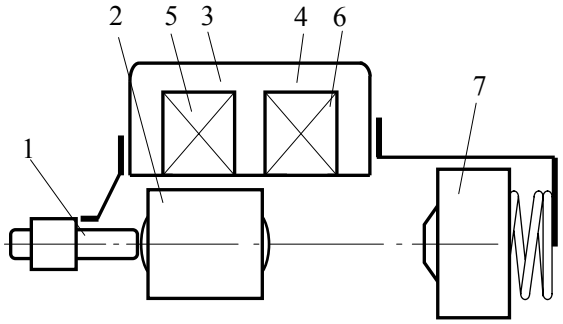


Рис. 1. Двухкатушечный электромагнитный двигатель ударного действия

Реализация способа управления двухкатушечным электромагнитным двигателем осуществляется таким образом, что за рабочий цикл подается три полуволны питающего напряжения. Первые две полуволны напряжения подаются на катушку обратного хода, третья полуволна напряжения подается на катушку рабочего хода, причем под действием первой полуволны напряжения совершается обратный ход, а под действием двух других полуволн напряжения – рабочий ход. Далее цикл повторяется без пропусков полуволн питающего напряжения.

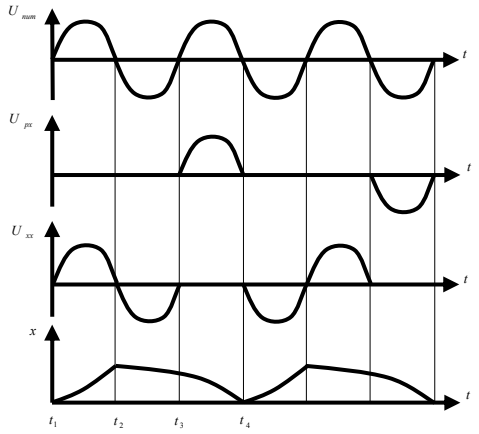


Рис. 2. Временные диаграммы рабочего цикла двигателя

Пример конкретного осуществления способа управления:

На рис. 2 представлены временные диаграммы, рабочих циклов двигателя, где $U_{пит}$ – напряжение питающей сети; $U_{ох}$ – напряжение катушки обратного хода; $U_{рх}$ – напряжение катушки рабочего хода, x – ход бойка (нижняя точка линии – положение бойка в момент удара, верхняя – положение бойка в конце обратного хода).

В начальный момент времени боек находится в крайнем левом положении. В момент времени t_1 подается питание на катушку обратного хода 6, боек 2, под действием электромагнитных сил катушки обратного хода 6, начинает движение в сторону буферного устройства 7, совершает по нему удар и отскакивает. В момент времени t_2 поступает вторая полуволна напряжения на катушку обратного хода 6, в результате чего боек получает дополнительное ускорение в сторону движения к рабочему инструменту. В момент времени t_3 подается питание на катушку рабочего хода 5, которая создает усилие, действующее на боек до совершения удара по рабочему инструменту 1. Затем боек отскакивает от инструмента и порядок подачи питающего напряжения повторяется.

Таким образом, в отличии от способа управления, когда напряжение на катушках рабочего и обратного хода электромагнитного двигателя осуществляется с пропуском полуволны питающего напряжения [А.с. 1525856 СССР, Мкл Н 02 Р 7/62. Способ управления двухкатушечным электромагнитным двигателем / А.А. Перьев, Е.М. Тимошенко, А.Л. Осокин, В.М. Борисов. – №4104981/24-07; заявл. 30.05.86; опубл. 30.11.89, Бюл. №44], данный способ управления позволяет повысить ударную мощность за счет увеличения частоты ударов бойка.

Таблица 1

Технические показатели синхронных электромагнитных машин

Показатель	Тип машины	Диапазон изменения значения показателя	Максимальное значение показателя
Энергия удара, Дж	Перфораторы:		
	Однокатушечные	1,0…5,0	10,0
	Двухкатущечные	2,5…5,0	15,0
	Молотки:		
	Однокатущечные	0,2…4,0	9,0
	Двухкатушечные	0,9…15,0	20,0
Ударная мощность, Вт	Перфораторы:		
	Однокатушечные	50,0…125,0	250,0
	Двухкатущечные	125,0…	375,0
	Молотки:	260,0	
	Однокатущечные	18,7…100,0	220,0
	Двухкатушечные	32,0…334,0	375,0
К.П.Д., отн.ед.	Перфораторы:		
	Однокатушечные	0,23…0,36	0,38
	Двухкатущечные	0,30…0,31	0,40
	Молотки:		
	Однокатущечные	0,17…0,44	0,45
	Двухкатушечные	0,28…0,40	0,45
Удельная энергия удара, Дж/кг	Перфораторы:		
	Однокатушечные	0,37…0,83	1,00
	Двухкатущечные	0,41…0,86	1,25
	Молотки:		
	Однокатущечные	0,13…0,87	1,0
	Двухкатушечные	0,23…1,55	2,2
Удельная ударная мощность, Вт/кг	Перфораторы:		
	Однокатушечные	17,6…25,0	30,0
	Двухкатущечные	20,8…33,0	35,7
	Молотки:		
	Однокатущечные	5,4…24,3	25,0
	Двухкатушечные	5,9…49,0	50,0

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СИНХРОННЫХ ОДНОКАТУШЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Скотников А.А., Койнов С.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.Ю. Нейман

Новосибирский Государственный технический университет

630092, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса 20

E-mail: andrew-871@mail.ru

Применение электропривода в машинах и механизмах, у которых рабочий орган совершает возвратно – поступательное движение, позволяет упростить структуру и кинематическую схему машины, за счет исключения преобразователей вращательного движения. Такие конструкции нашли свое применение в строительстве, горнодобывающем, кузнечном деле, так же используются для реализации узкоспециальных задач.

Первой машиной, которая использовала данный принцип преобразования электрической энергии в возвратно – поступательное движение рабочего органа была синхронная однокатушечная электромагнитная машина ударного действия, предложенная Беви (рис. 1).

Предложенная им машина позволяла совершать 6000 уд/мин, однако энергия единичного удара была достаточно низкой.

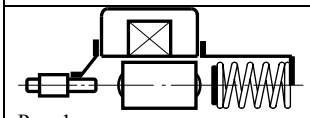
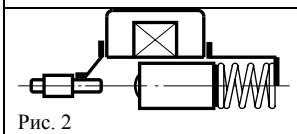
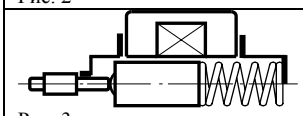
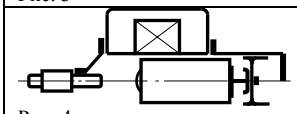
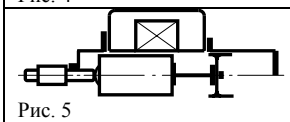
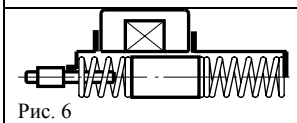
Электромагнитная ударная машина Беви имеет низкий к.п.д., ударную мощность и низкую надежность. Это связанно с несовершенством конструкции, неправильным выбором параметров пружины и большим количеством элементов конструкции, что также приводит к высокой стоимости изготовления.

На сегодняшний день конструкции синхронных однокатушечных машин ударного действия значительно усовершенствованны и имеют различные конструктивные схемы (таблица 1), позволяющие увеличить эффективность машины, но используемый рабочий цикл сохранился в большинстве конструкций.

В варианте (рис. 1) синхронизация движения бойка с напряжением, подаваемым на катушку электромагнитного двигателя, осуществляется при свободном выбеге бойка. Рабочий ход бойка осуществляется под действием электромагнитных сил катушки и упругих сил пружины. Обратный ход бойка происходит только под действием электромагнитных сил катушки.

Рабочий процесс электромагнитной машины рассчитывается так, что при подходе бойка к положению магнитного равновесия протекание полуволны тока прекращается, и боек по инерции продолжает движение в том же направлении, сжимая буферную пружину. При подходе бойка к крайнему правому положению в катушке начинает протекать новая полуволна тока, и боек под действием электромагнитных сил катушки и упругих сил пружины начинает движение в направлении инструмента. После отхода от пружины боек движется по инерции и наносит удар по инструменту. Далее цикл повторяется. Так одна и та же катушка в варианте схемы со свободным выбегом бойка используется для прямого и обратного хода.

Таблица 1

Вариант схемы синхронной машины	Классификационные признаки варианта
 Рис. 1	Однокатушечный со свободным выбегом бойка и пружинным буфером
 Рис. 2	Однокатушечный с пружинным возвратом бойка при холостом ходе
 Рис. 3	Однокатушечный с пружинным элементом и возвратом бойка электромагнитными силами
 Рис. 4	Однокатушечный с пневмовозвратом бойка при холостом ходе
 Рис. 5	Однокатушечный с пневмобуфером и возвратом бойка электромагнитными силами
 Рис. 6	Однокатушечный с пружинным возвратом бойка и колебательной механической системой

Синхронные электромагнитные машины ударного действия, работающие по такому рабочему циклу, отличаются высокой частотой ударов бойка о рабочий инструмент, высокой надежностью, простотой конструкции и обслуживанием, малыми габаритными размерами и низкой себестоимостью.

Благодаря этим достоинствам такие машины нашли широкое применение в ручном инструменте, где значительную роль отводится массогабаритным показателям.

Недостаток синхронных однокатушечных машин ударного действия, влияющий на эффективность работы – относительно малый срок службы пружинного буферного устройства, вызванного высокими частотами колебаний. Увеличить срок службы пружинного буфера позволяет техническое решение, в соответствии с которым боек соединяется с ближним витком пружины. В таком случае колебания пружины совпадают с движением бойка. Однако это решение не в полной степени решает проблему пружинного буфера, и тем более, пружина при растяжении снижает скорость движения бойка, снижая энергию единичного удара машины (рис. 2, 3).

Именно по этой причине в некоторых двигателях ударного действия стали применяться пневматические буферные устройства (рис. 4, 5), и различные конструкторские решения (рис. 6).

Однако использование буферных устройств различных типов принципиально не меняет рабочего цикла, и служит только для увеличения надежности двигателя.

Недостатками электромагнитных машин ударного действия с пневмобуфером являются ограничения в частоте ударов бойка; высокая стоимость изготовления, вызванная высокими требованиями к качеству обработки элементов пневматического оборудования; сложность в обслуживании; высокие требования предъявляемые к используемому в пневмоэлементах воздуху.

Рабочий процесс электромагнитной машины, выполненной по варианту схемы рис. 6, позволяет всю энергию отскока бойка от инструмента аккумулировать в упругих элементах колебательной системы и суммировать с энергией электромагнитных сил создаваемых катушкой. Рабочий ход бойка осуществляется под действием электромагнитных сил катушки в направлении инструмента, преодолевая действие возвратной пружины. После удара и отскока от инструмента, боек, ускоряемый действием возвратной пружины при обесточенной катушке, движется в обратном направлении от инструмента, сжимая пружину торможения.

После остановки, боек под действием упругих сил возвратной пружины и электромагнитных сил катушки продолжает движение в направлении инструмента. Далее цикл повторяется.

К недостаткам такой конструкции следует отнести наличие двух упругих элементов, что усложняет согласование электрических и механических характеристик. Достоинство данной схемы в том, что изменение отскока бойка при обработке материала различной степени твердости не уменьшает производительности машины.

Анализируя рассмотренные конструкции электромагнитных двигателей ударного действия можно сделать вывод, что наиболее простыми, надежными, недорогими и обладающие хорошими удельными показателями являются однокатушечные электромагнитные двигатели с пружинным буферным устройством.

Ниже приведены параметры электромагнитных однокатушечных ударных машин со свободным выбегом бойка и пружинным буферным устройством, успешно прошедшие заводские и промышленные испытания и рекомендуемые для серийного производства: МС – 16М, МС – 17/36А, МС – 18/36М, МС – 18/36М («Дятел – 2»).

Технические характеристики однокатушечных ударных машин со свободным выбегом бойка.

Таблица 2

Показатели	МС–16М	МС – 17/36А	МС – 18/36М	МС – 18/36М («Дятел-2»).
Энергия удара, кГм	0,4	0,35	0,4	0,3
Частота ударов бойка, уд/мин	1500	1500	1500	1500
Потребляемая мощность, кВт	0,22	0,26	0,26	0,22
К.П.Д.,%	44	33	37	33
Напряжение сети, В	220	36 – 42	36 – 42	36 – 42
Вес машины, кг	5,5	4	5,5	4

МОДЕЛЬ ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

Слободян М.С., Деева В.С.

Научный руководитель: Слободян С.М., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: veradee@mail.ru

Динамике и кинетике контактного взаимодействия твердых тел посвящено значительное количество работ, например [1–4]. Однако вероятностной (стохастической) природе происходящих в контакте процессов и их математическому описанию авторы не всегда уделяли должного внимания. Стохастичность изменения состояния тонкого слоя дисперсных фракций, как результата взаимодействия скользящей контактной пары (например, «щётка-коллектор» в электрических машинах и аппаратах), говорит о неустойчивости этого физико-механического процесса. В данном случае, состояние контакта в каждый конкретный момент времени определяют такие вероятностные параметры, как шероховатость поверхностей, их возможные отклонения от идеальной формы, высокоэнергетическое воздействие проходящего электрического тока и т. д. Исследование динамики процессов в скользящем токосъёме представляет значительный интерес, как в плане оценки живучести тел скольжения (весьма актуальной проблеме в электроэнергетике и машиностроении), так для развития теории физики контактного взаимодействия.

В настоящей работе сделана попытка создания математической модели процесса формирования фрактальной структуры тонкого слоя контактного пространства скользящего токосъёма, заполняемого при износе фракциями разрушения. В ее основу, используя общий принцип анализа физических процессов и систем с дискретной структурой, положена модель движения потока частиц распада тел скольжения в локальном объёме контактного пространства.

Анализ опубликованных результатов экспериментальных исследований [3, 4 и др.] показывает, что фракции разрушения контактирующих тел при скольжении распределяются по их поверхности не в виде сплошной пленки, а отдельными фрагментами (примером могут служить щётки и коллекторы электрических машин). В ряде работ также отмечен перенос части фракций разрушения одной электрической щётки на контактную поверхность смежных других. Процесс разрушения поверхностного слоя контактирующих тел, также имеющий стохастический характер, зависит от параметров силового и термического воздействия, в том числе, величины электрического тока, протекающего через контактное пространство. Скорость разрушения контактного слоя электрической щётки при скольжении составляет величину порядка ~ 0,03 мГ/час.

На основании анализа геометрических параметров контактного пространства «щетка-коллектор» можно сделать вывод, что для его математического описания важны две области. Первая область – основного контакта, образуется непосредственным соприкосновением шероховатостей поверхностей тел, а также части шероховатостей через буферную прослойку, образованную дискретными фракциями разрушения разной дисперсности. Это – полное контактное множество. Вторая область представляет собой пространство примыкающих друг к другу областей воздушного зазора, в которых контакт поверхностей отсутствует (пустое контактное множество).

В основу модели контактного разрушения тел скольжения положен пуассоновский случайный процесс распада их контактирующих слоёв на дискретные дисперсные фракции. Тогда вероятность распада и, соответственно, эмиссии фракций в контактное пространство за предельно короткий интервал времени dt может быть представлена произведением λdt. В данном случае λ – интенсивность эмиссии фракций разрушения в контактный слой, некоторая в среднем постоянная величина – математическое ожидание случайного процесса деструкции электрической щётки. Для упрощения анализа принято [5–7], что λ является параметром общего потока фракций разрушения тел скольжения – интенсивностью эмиссии их фрагментов в виде дискретных фракций, образованных контактным взаимодействием.

Обозначим интенсивность потока дискретных фракций разрушения, пополняющих контактное пространство (множество) – λ_i, а покидающих его (увеличивающих пустое множество) – μ_i. Это простейший идеальный случай – отсутствие на циклической траектории скольжения транзитных фракций разрушения, эмитированных ранее. При наличии группы из k активных источников эмиссии частиц с интенсивностями λ_i и аддитивности случайных потоков событий, результат обобщается:

$$\lambda = \sum_{i=0}^{k} \lambda_i \ .$$

Интенсивности потоков эмиссии дискретных фракций в контактное пространство являются функциями пространства r и времени t:

$$\lambda(r,t)=\sum_{i=0}^{k}\lambda_i(r,t)\cdot$$

При исследовании динамики формирования случайного потока фракций в контактном пространстве были учтены особенности, присущие марковским процессам [6, 7]. Также сделано допущение, что изменение контактного множества происходит по линейному закону и, соответственно, интенсивность потоков фракций пополнения и убывания являются линейными функциями состояния:

$$\lambda_i=\lambda_0;\ \mu_i=\mu_0;\ \lambda_0=const>0;\ \mu_0=const>0.$$

Установка новой контактной пары «щётка–коллектор» соответствует начальным условиям процесса $x(0)=i_0=1$. В данном случае решение уравнения состояния контактного пространства, по аналогии с приведённым в [6, 7], даст следующие результаты:

- первоначальное математическое ожидание случайного процесса динамики скольжения тел в контактном пространстве

$$M[\varsigma(t)]=m_0(t)=\exp[(\lambda-\mu)\cdot t];$$

- дисперсия случайного процесса

$$\sigma_\varsigma^2(t)=[(\lambda+\mu)/(\lambda-\mu)]\{\exp[(\lambda-\mu)\cdot t]-1\}\exp(\lambda-\mu).$$

Из это следует, что математическое ожидание, характеризующее средний уровень случайного векторного процесса формирования контактного множества $\varsigma(t)$, есть функция времени и соотношения интенсивностей притока и оттока фракций разрушения тел. При равенстве интенсивностей притока и оттока фракций в контактном слое $\lambda=\mu$ и его единичном начальном состоянии $x(0)=1$ получим стабильное контактное пространство с нулевой интенсивностью относительного роста мощности множества со средним значением $m(t)=m_0(t)=m_0=\text{const}$. Дисперсия процесса эмиссии фракций разрушения будет линейно расти во времени $\sigma_x^2(t)=2\lambda(t)$.

Для практики важен случай, когда необходимо найти вероятность того, что к некоторому моменту времени t одно из тел будет полностью изношено, т. е. контактное множество, как физическая система, придёт в состояние полного вырождения потока частиц разрушения ($i=0$):

$$p_0(t)=\mu\frac{1-\exp[(\lambda-\mu)\cdot t]}{\mu-\lambda\exp[(\lambda-\mu)\cdot t]}.$$

В предельном случае при $t\to\infty$ вероятность того, что одно из тел (меньшее по объему или с меньшим модулем упругости) полностью износится (случайный процесс контакта выродится) будет:

$$\lim_{t\to\infty}p_0(t)=\begin{cases}1,\text{ при }\lambda<\mu\\ \dfrac{\mu}{\lambda},\text{ при }\lambda>\mu\end{cases}.$$

Логично, что в результате любого вида эксплуатации скользящего контакта одно из тел контакта гарантированно износится (с вероятностью равной 1), если в контактном пространстве интенсивность оттока фракций разрушения равна или превышает их приток. Если приток фракций разрушения тел, образующих контактное пространство, превышает их отток, то вероятность вырождения и время «жизни» контактной пары равны отношению их интенсивностей.

В процессе решения контактной задачи необходимо учитывать динамику взаимодействия тел системы, описываемых дифференциальными уравнениями, отражающими эволюцию структуры контактного пространства и совмещения поверхностей тел.

При описании неравновесных систем, какой и является контакт поверхностей тел, их строгая линейная функциональная зависимость от параметров и условий работы маловероятна. Поэтому формализм дифференциальных уравнений, используемых в линейной области термодинамики и теории необратимых процессов, в полной мере может не соответствовать реальному образованию контактного слоя. Следует учесть, что структура его пространства является по своей природе дискретной, случайно меняющейся и фрактальной. Скорость образования локальных контактов шероховатостей может превышать скорость их распада или быть соизмеримой с ней. В результате эволюционного поведения процесса формирования контактного слоя отношение скоростей «зарождение–распад» будет стремиться к равновесному в среднем постоянному значению.

Определено статистическое соответствие процесса скользящего механического и электрического контакта тел стохастическому дискретному потоку эмиссии фракций разрушения поверхностных слоёв. Показано, что процессы формирования дискретной стохастической структуры пространства скользящего контакта носят эволюционный случайный характер.

Создана стохастическая модель взаимодействия тел при скользящем контакте, учитывающая совокупное влияние его параметров и внешнего воздействия. В ней рассмотрены алгоритмы вычисления характеристик основных динамических процессов, протекающих в контакте.

Список литературы

1. Джонсон К., Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
2. Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела. Т.2. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 419 с.
3. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. – М.: Издательская группа URSS, 2008. – 560 с.
4. Лившиц П.С. Скользящий контакт электрических машин. – М.: Энергия, 1974. – 272 с.
5. Слободян М.С., Слободян С.М. Модель динамики электрического контакта // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2010. – №2. – С. 42–47.
6. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Академия, 2005. – 576 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Смирнов А.О.

Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: shurikkk@sibmail.com

В настоящее время системы электропривода прочно занимают лидирующее место среди приводных устройств и обеспечивают бесперебойную и надежную работу механизмов во многих областях техники. Функциональные возможности и эксплуатационные параметры современных электроприводов во многом определяются характеристиками применяемых систем управления. Современный асинхронный электропривод реализован на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высоким быстродействием и высокой точностью.

Электропривод запорной арматуры магистральных трубопроводов представляет собой сложный мехатронный модуль, объединяющий в своем составе систему управления, силовой преобразователь, асинхронный двигатель и редуктор. В качестве силового преобразователя может использоваться преобразователь частоты или тиристорный регулятор напряжения. Система управления должна обеспечивать требуемые режимы эксплуатации запорной арматуры, адекватную реакцию электропривода на изменение внешних условий, поддержку защитных функций и коммуникаций с другими устройствами, диагностику состояния всех элементов электропривода.

Электроприводы запорной арматуры магистральных трубопроводов эксплуатируются в различных географических широтах с большими контрастами температуры окружающего воздуха. Особенно большое влияние на работоспособность электропривода оказывают низкие температуры (-50, -60^{0}C) в период запуска агрегатов после длительной остановки. Условия эксплуатации, особенно температура окружающей среды и связанная с ней температура проходящей жидкости оказывают определяющее влияние на работоспособность и ресурс работы всех элементов электропривода: силового преобразователя, асинхронного двигателя, системы управления, механического преобразователя – редуктора, задвижки запорной арматуры.

При эксплуатации электроприводов запорной арматуры в условиях низких температур в составе запорной арматуры крайне важен параметр стабилизации моментного усилия на валу асинхронного двигателя.

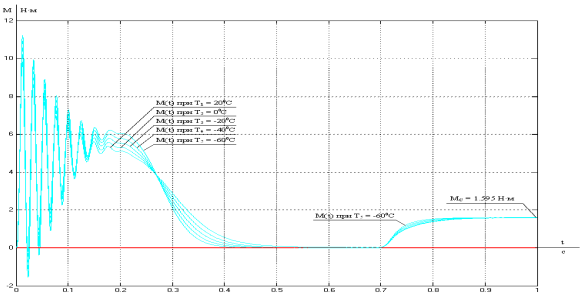


Рис. 1. Переходный процесс момента при пуске и набросе нагрузки АД при снижении температуры

На этапе разработки системы адаптивного управления для оценки степени влияния температурных изменений на величину выходного момента асинхронного двигателя проводились исследования с применением аппарата имитационного моделирования и экспериментальной установки.

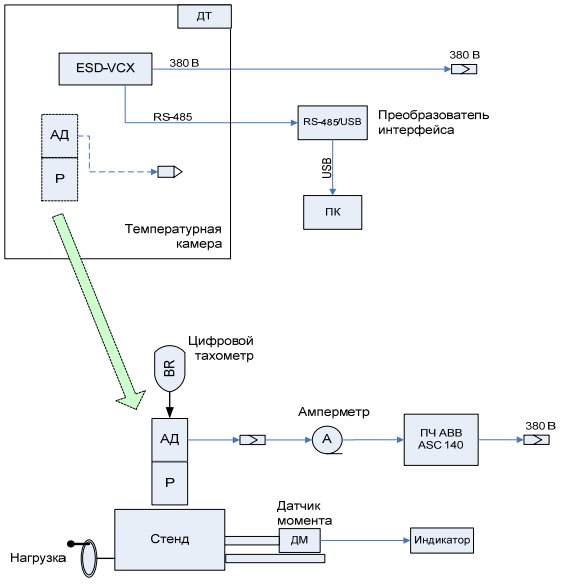


Рис. 2. Схема лабораторной установки

В ходе проведения исследований были выявлены зависимости влияния температурных изменений на работу асинхронного двигателя, проводимое на основе исследований результатов имитационного моделирования в виде статических и динамических характеристик.

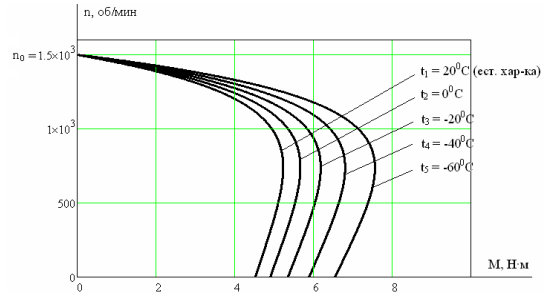


Рис. 3. Механические характеристики АД с учетом влияния эффекта вытеснения тока в стержнях ротора при понижении температуры

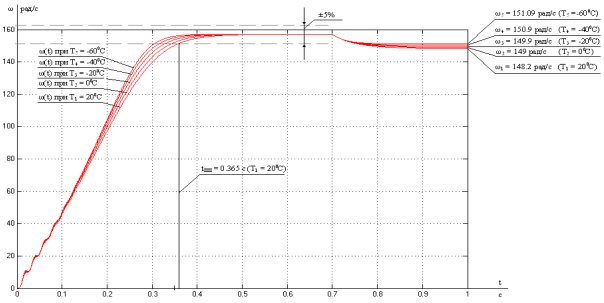


Рис. 4. Переходный процесс скорости при пуске и набросе нагрузки АД при снижении температуры

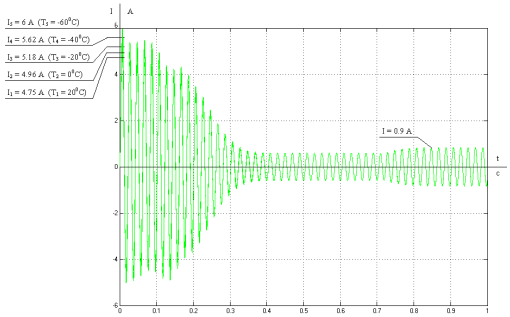


Рис. 5. Переходный процесс тока при пуске и набросе нагрузки АД при снижении температуры

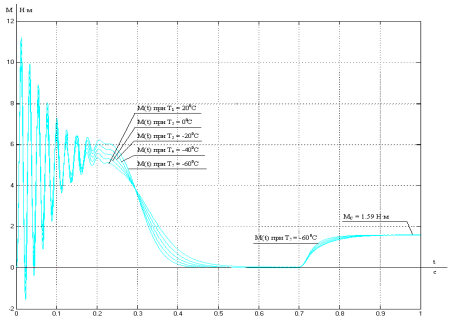


Рис. 6. Переходный процесс момента при пуске и набросе нагрузки при изменении температуры

Кроме температурных изменений на выходной момент асинхронного двигателя прямым образом влияет эффект вытеснения токов в стержнях ротора.

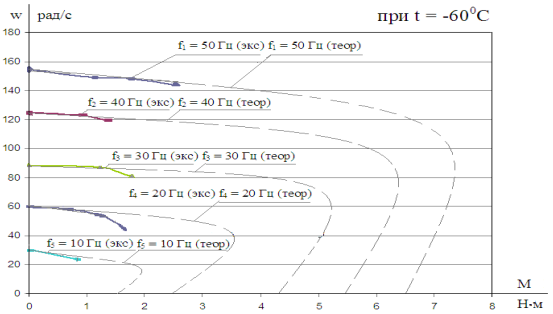


Рис. 7. Механическая характеристика ЭП при температуре t = -60^{0}C на разных частотах

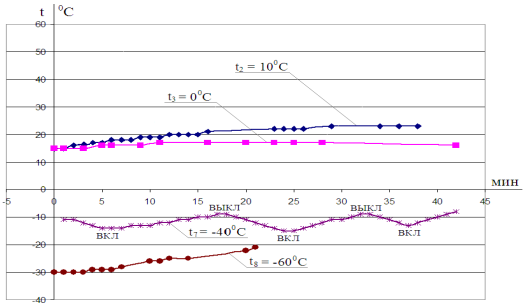


Рис. 8. Температурная зависимость датчика подогрева электронного блока ESD – VCX

Выводы

• Для обеспечения нормальной работы электропривода с электронным блоком ESD – VCX в широком диапазоне температур требуется обеспечить стабилизацию температурного режима электронных компонентов, входящих в его состав.

• Анализ представленных расчетных и экспериментальных данных показал, что на характер изменения момента на выходном валу редуктора при моделировании температуры и частоты оказывают влияние два противоположных процесса различной физической природы, в частности, при понижении температуры повышается текущий критический и пусковой моменты за счет уменьшения активных сопротивлений статора и ротора асинхронного двигателя. Одновременно повышаются механические потери за счет изменения коэффициентов трения в подшипниках и редукторе, что приводит к снижению момента.

Список литературы

1. Мустафин Ф. М. Трубопроводная арматура. Учебное пособие для вузов. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ, 2007. – 326 с.;
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.
3. Каракулов А.С., Ланграф С.В. Разработка системы управления электроприводом запорной арматуры методом разделения математических моделей объектов управления // Известия ВУЗов. Электромеханика, №3, 2006. С. 54-56.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Сопыряева В..А. Гогатишвили Е.Ю.

Научный руководитель: Богданов Е.П. к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: well_25@sibmail.com

Электроэнергия в промышленном производстве применяется для различных целей: электропривод, электротехнология, освещение. Соответственно, параметры электроэнергии, необходимые для ее эффективного применения в конкретных случаях, должны быть различны. Нередко частота переменного напряжения, его величина, требуют изменения непосредственно в течение технологического процесса. В то же время, источники электроэнергии – энергосистемы, трансформаторные подстанции обеспечивают потребителей стандартной электроэнергией в виде трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и рядом стандартных напряжений от 0,4 до 220 кВ.

Следовательно, для удовлетворения нужд производства в электроэнергии разных видов и параметров, а также для эффективного управления ее распределением необходимы различные преобразовательные устройства. Одним из перспективных направлений развития современной энергетики является использование природных возобновляемых ресурсов и использование автономных источников энергии.

В научной работе поставлена задача изучение основных методов расчета энергетических характеристик силовых полупроводниковых преобразователей на примере наиболее распространенного устройства – выпрямителя, изучение характеристик основных силовых полупроводниковых приборов, их классификация и основные типы вентильных преобразователей электроэнергии.

Вентильные коммутаторы выполняют регулирующие, пускозащитные, коммутирующие функции, что подразумевает регулирование выходных электрических параметров. Это позволяет осуществлять управление двигателями, включая безударный пуск, реверс, регулирование частоты вращения по заданному закону, динамическое торможение и др.

Методика расчета энергетических характеристик силовых полупроводниковых преобразователей на примере устройств с биполярной тиристорной ячейкой в фазе и анализ режимов работы различных вентильных коммутирующих и регулирующих устройств базируется на положениях теоремы Фурье, т.е. представления кривой выходного напряжения и тока в виде гармонического спектра. Именно поэтому наиболее оптимальным для моей работы стал метод гармонического анализа. Преимущество метода:

- позволяет непосредственно получить данные о гармоническом составе токов и напряжений.

Недостаток метода:

- большой объем вычислений

Реализован в программе Electronics Workbench.

Исследуя четырехпроводную схему фазорегулируемого тиристорного усилителя (рис. 1) данным методом были изучены энергетические характеристики данной схемы.

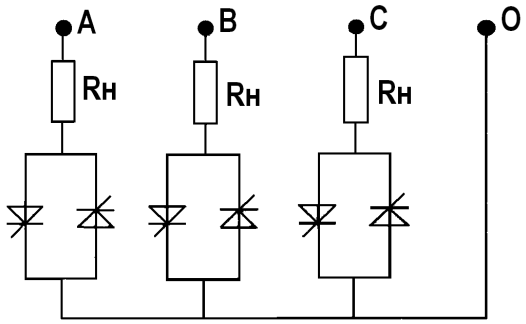


Рис. 1. Четырехпроводная схема фазорегулируемого тиристорного усилителя.

Алгоритм расчета строился следующим образом:

- Задаются углы управления, равные 0, 30, 75, 120 и 165 градусов (рис. 2)
- Период функции разбиваем на 20 равных частей
- Ищем амплитуды синусных и косинусных составляющих 1, 3, 5, 7, 9 гармоник, а по ним и сами амплитуды соответствующих гармоник тока (рис. 3).
- Вычисляем коэффициент искажения (рис. 4)

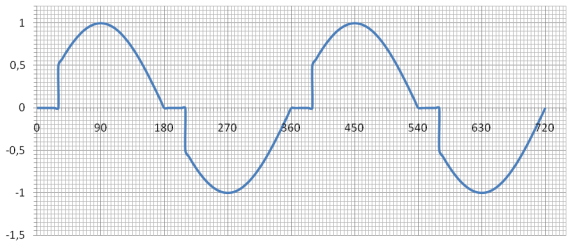


Рис. 2. Зависимость формы тока от нагрузки с углом управления 30°

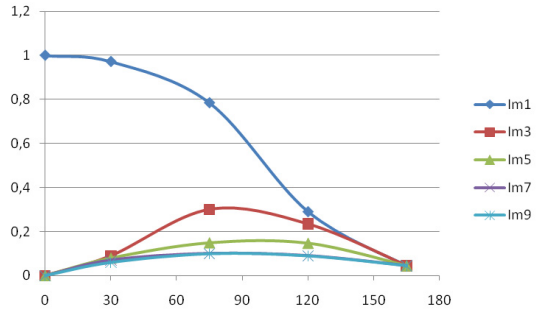


Рис. 3. Зависимость амплитуд основных гармоник от угла управления тиристором

На графике видно, что экстремум для 3, 5, 7 и 9 гармоник наблюдается при 90 градусах.

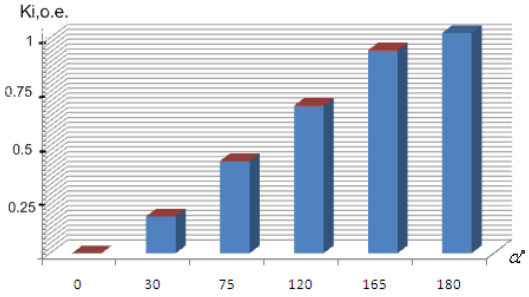


Рис. 4. Зависимость коэффициента искажения от угла управления

Искажение выходных параметров увеличивается с увеличением угла искажения.

Анализ режимов работы вентильных коммутаторов также проводился на базе трехпроводных устройств, работающих на активную нагрузку.

Формы кривых тока и напряжения одинаковы при активной нагрузки для угла α. С изменением величины угла управления изменяется гармонический спектр тока и энергетические характеристики цепи с вентилями.

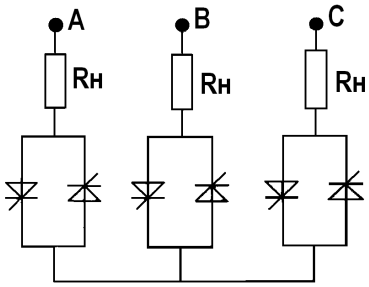


Рис. 5. Фазорегулируемый тиристорный усилитель без нулевого провода

Для трёхфазной схемы без нулевого провода выделяются три режима работы, соответствующих диапазонам изменения угла управления α:

$0 < \alpha < 60°$; $60° < \alpha < 90°$; $90° < \alpha < 150°$.

Отсутствие нулевого провода исключает из гармонического состава гармоники, кратные 3. Диапазон регулирования углов управления тиристорами сокращается до 150°.

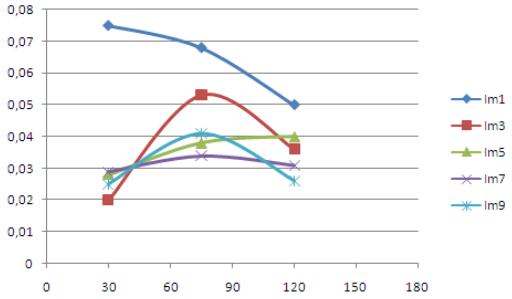


Рис. 6. Зависимость амплитуд основных гармоник от угла управления тиристором

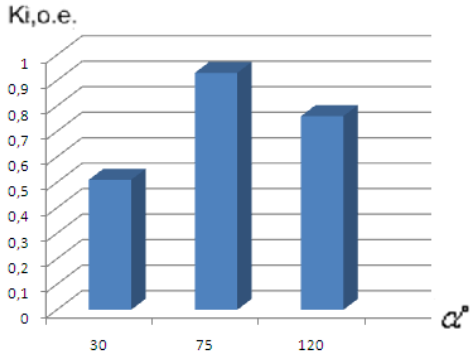


Рис. 7. Зависимость коэффициента искажения от угла управления

Фазорегулируемый тиристорный регулятор в цепи переменного тока обеспечивает плавное регулирование интегральных характеристик тока и напряжения в цепи нагрузки. Их формы в системе электроснабжения при этом искажаются. Степень искажения напряжения сети зависит от соотношения мощностей источника питания и вентильной нагрузки, от величины углов управления тиристорами и схемы тиристорного коммутатора

Список литературы

1. Лукутин Б.В. Силовые преобразователи электроэнергии.: Томск. – Учебное пособие. – 1997. – 84 с.
2. Сипайлов Г. А. Проблемы создания и применения специальных электромеха-нических преобразователей / Г. А. Сипайлов // Современные техника и технологии : Труды VI международной научно-практической конференции сту-дентов, аспирантов и молодых ученых, 28 февраля – 3 марта 2000 года, Томск / М-во образования РФ; ТПУ. – Томск, 2000. – С. 6-9. – Библиогр.: 3 назв.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОННОГО ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Суворкова Е.Е.

Научный руководитель Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634034, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail:Suvorkova_elena@mail.ru

Современное состояние и перспективы развития электроприводов для станков по производству искусственных волокон неразрывно связаны с разработкой и созданием синхронных гибридных электродвигателей, объединяющих в единой конструкции положительные свойства синхронно-реактивных и магнитоэлектрических двигателей [1–2].

Особенно актуальным является вопрос по исследованию работы гибридного двигателя при повышенной частоте вращения, что диктуется требованием повышения качества искусственного волокна.

Для получения высокой скорости вращения использовался четырехполюсный гибридный электродвигатель, частота напряжения питания которого составляла 200Гц и была получена от преобразователя частоты ТПЧ-160.

Для экспериментального решения поставленной задачи была разработана установка, схема которой представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

Р1-рубильник, подающий напряжение на преобразователь частоты,

ПЧ – преобразователь частоты;

Р2-рубильник, подающий напряжение на потенциал регулятор;

ПР – потенциал регулятор;

КИП – комплект измерительных приборов;

СГД – испытуемый синхронный гибридный двигатель;

СГ – синхронный генератор, являющийся нагрузочным устройством установки.

Реостат *R* является нагрузкой синхронного генератора, которая дополнительно регулируется изменением тока возбуждения СГ.

Основу экспериментальной установки составляет синхронный гибридный двигатель, выполненный на базе асинхронного двигателя серии АИР90L4У3.

Синхронно-реактивная часть этого двигателя выполнена по типу ротора усовершенствованного синхронно-реактивного двигателя (СРД), длина этой части составляла 70% от общей длины сердечника ротора. Магнитоэлектрическая часть ротора выполнена по типу ротора простого СРД, в большие пазы которого вставлены постоянные магниты призматической формы марки КС-37А, длина магнитоэлектрической части составляла 30% от общей длины сердечника ротора.

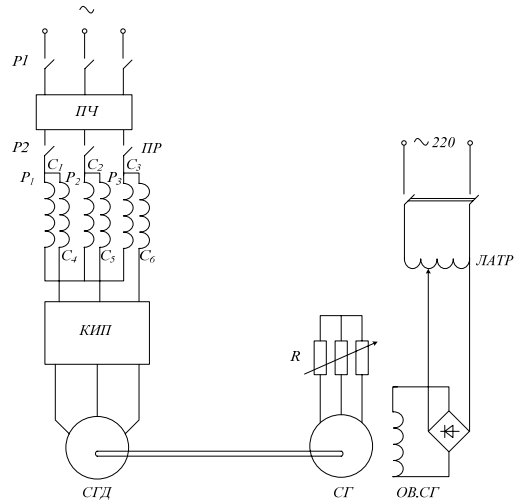


Рис. 1. Схема испытательной установки

На рисунке 2 представлены зависимости тока холостого хода I_0 и мощности холостого хода P_0 в функции от подведенного напряжения U_0.

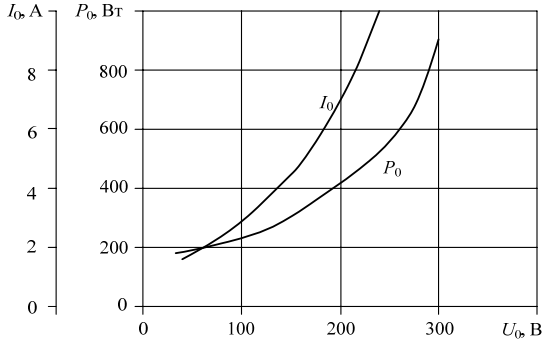


Рис. 2. Зависимости $I_0=f(U_0)$ и $P_0=f(U_0)$

С ростом напряжения ток холостого хода из-за насыщения магнитной цепи растет быстрее, чем по прямой пропорциональной зависимости.

Потери холостого хода P_0 растут примерно в квадратичной зависимости от напряжения и сдвинуты по оси ординат на величину механических потерь.

Зависимость коэффициента мощности холостого хода в функции от подведенного напряжения $\cos\varphi_0=f(U_0)$ изображена на рисунке 3.

Характер зависимости $\cos\varphi_0=f(U_0)$ можно объяснить используя общеизвестную формулу

$$\cos\varphi = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}$$

где Q_0 – подведенная реактивная мощность.

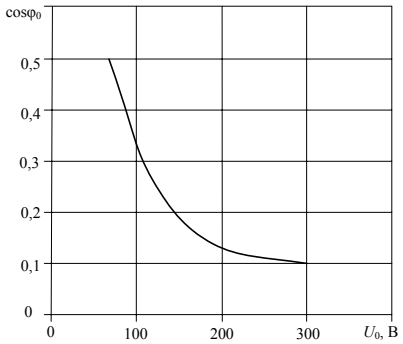


Рис. 3. Зависимость $cos\varphi_0 = f(U_0)$

Так как с ростом напряжения U_0 растет насыщение магнитной системы, возрастает реактивная составляющая тока холостого хода, увеличивается реактивная мощность Q_0, то величина коэффициента мощности холостого хода уменьшается.

Из опыта холостого хода для напряжения 220В и частоте 200Гц были определены следующие величины: P_0=500Вт, I_0=9,01А, $\cos\varphi_0$=0,145, электрические потери в обмотке статора $P_{эл}$=28Вт, потери в стали сердечника статора P_c=302Вт, механические потери $P_{мех}$=170Вт.

На рисунке 4 показаны зависимости тока $I_к$, мощности $P_к$ и коэффициента мощности $\cos\varphi_к$ короткого замыкания от подведенного напряжения $U_к$.

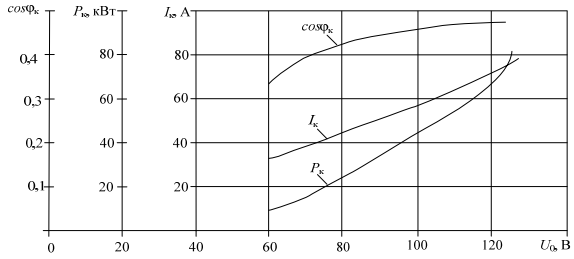


Рис. 4. Характеристики короткого замыкания

С ростом подведенного напряжения ток короткого замыкания растет линейно, так как магнитная система двигателя не насыщена.

Мощность короткого замыкания увеличивается в квадратичной зависимости от подведенного напряжения.

Так как магнитная система двигателя не насыщена, то коэффициент мощности с ростом подведенного напряжения изменяется не существенно.

Исследования показали, что номинальная мощность двигателя равна $P_{2н}$=6 кВт, а номинальный ток – I_1=26,7 А.

На рисунке 5 представлены зависимости подведенной мощности P_1 и тока фазы обмотки статора I_1 в функции от полезной мощности двигателя P_2.

Рабочие характеристики снимались при U=220 В и f=200 Гц.

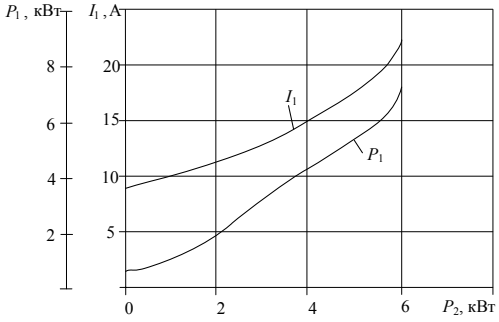


Рис. 5. Зависимости $P_1=f(P_2)$ и $I_1=f(P_2)$

С ростом полезной мощности ток I_1 растет быстрее, чем по прямой пропорциональной зависимости из-за роста переменных потерь.

С ростом P_2 мощность P_1 растет быстрее, чем по прямой пропорциональной зависимости, из-за роста переменных потерь.

На рисунке 6 изображены зависимости коэффициента полезного действия η и коэффициента $\cos\varphi$ в функции от P_2.

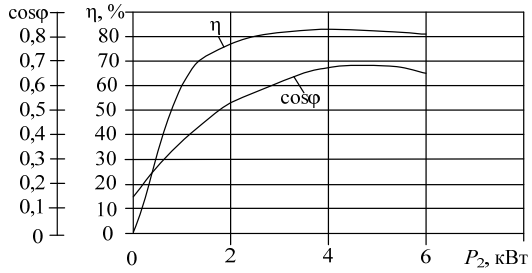


Рис. 6. Зависимости $\eta=f(P_2)$ и $cos\varphi=f(P_2)$

Характер зависимости $\eta=f(P_2)$, как и во всех электрических машинах определяется соотношением постоянных и переменных потерь.

При P_2=0 величина коэффициента мощности равна $\cos\varphi=\cos\varphi_0$. Дальнейший характер кривой $\cos\varphi=f(P_2)$ определяется соотношениями подведенной активной P_1 и реактивной мощности Q.

При полезной мощности на валу P_2=6кВт подведенная активная мощность, потребляемая двигателем, P_1=7250Вт, ток статора I_1=26,7А, коэффициент полезного действия η=82,75%, коэффициент мощности $\cos\varphi$=0,713, номинальный момент $M_н$=9,56Нм.

Следуя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что разработанный гибридный двигатель при требуемых параметрах обладает высокими энергетическими характеристиками и может служить надежным приводом станков для производства искусственного волокна.

Список литературы

1. А.С. №1663672 (СССР). Синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. А.И. Верхотуров, В.Л. Горобец, А.С. Куминов. Бюллетень изобретений. 1991, № 6.
2. Безрученко В.А., Галтеев Ф.Ф. Итоги науки и техники. Сер. Электрические машины и трансформаторы. М.: ВИНИТИ, 1982, Т. 5, 115 с.

СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С СИНУСОИДАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ТОКОМ

Суворков Д.И.

Научный руководитель Каракулов А.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634034, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: d-suvorkov@mail.ru

Синхронный двигатель с постоянными магнитами, благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, является наиболее перспективной машиной в диапазоне малых и средних мощностей. СДПМ простой по конструкции, не имеет потерь на возбуждение и обладает высокой стабильностью скорости ротора. Эти качества выделяют его из ряда всех остальных машин и обеспечивает ему применение в системах автоматики, приводах подачи станков, прецизионных системах слежения, а также системах, где стабильность скорости является первостепенным требованием, предъявляемым к технологическому процессу [1-2].

Направление развития принципов управления обуславливается развития аппаратной базы привода: параметрами самого двигателя и его качествами, наличием датчиков угла поворота и (или) скорости, типом преобразователя, вычислительной мощностью контроллера. Реализация управления СДПМ, с учетом этих требований позволяет судить об эффективности используемых алгоритмов.

Уравнение, описывающее электрическую часть синхронной машины с постоянными магнитами в координатной системе, вращающейся со скоростью ротора, с учётом отсутствия роторных обмоток может быть получено на основе 2-го закона Кирхгофа:

$$\vec{U}_S = \vec{I}_S \cdot R_S + L_S \frac{d\vec{I}_S}{dt} + j\omega_r \cdot L_S \cdot \vec{I}_S + j\omega_r \cdot \vec{\Psi}_{ПМ},$$

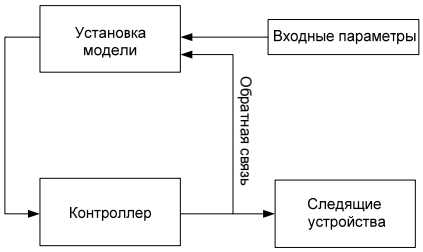


Рис. 1. Блок-схема управления по полю синхронного двигателя с постоянными магнитами

Данную схему можно представить в виде имитационной модели, представленной на рис. 2.

На рис. 2 приведены следующие обозначения блоков системы:

1–Блоки задания сигналов;

2–Блок питания двигателя синхронного двигателя с постоянными магнитами;

3–Синхронная машина с постоянными магнитами;

4–Блок выходных сигналов, включающий в себя угол поворота ротора и две составляющие тока статора I_a и I_b;

5–Блок преобразования векторных величин в скалярные;

6–Блок расчета момента на валу двигателя;

7–Блок расчета сигнала обратной связи;

8–Блок расчета ШИМ-модуляции;

9–Блоки интерфейса с человеком по скорости, моменту на валу двигателя, ШИМ-модуляции и моменту нагрузки.

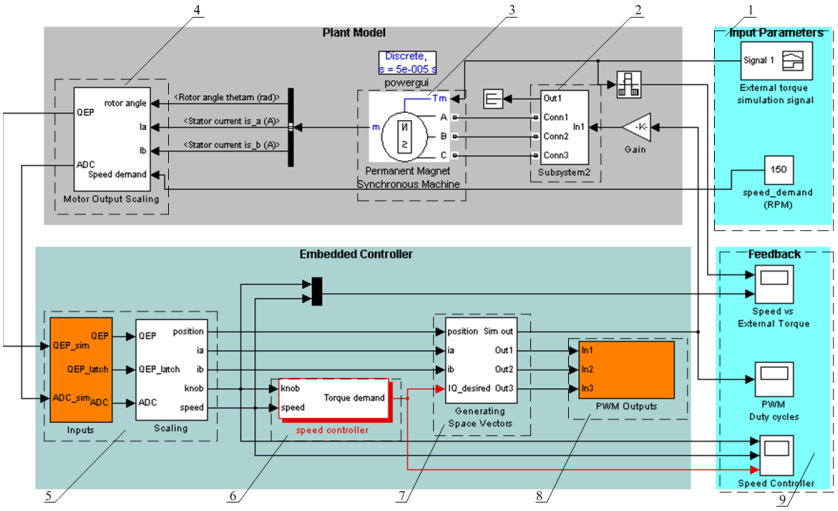


Рис. 2. Имитационная модель управления потоком СДПМ, выполненная в среде Matlab Simulink

Блок расчета сигнала обратной связи содержит из двух сабсистем, которые рассмотрим далее.

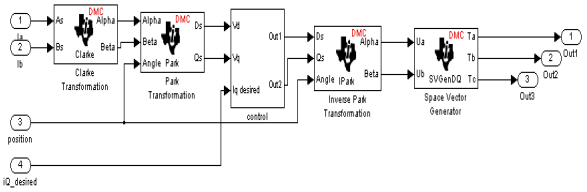


Рис. 3. Сабсистема генератора векторов

Данная сабсистема состоит из:

а) блок преобразования Кларка;

б) блок преобразования Парка;

в) блок, состоящий из двух ПИД-регуляторов;

г) блок обратного преобразования Парка;

д) блок генератора векторов.

Реализация векторного управления предусматривает реализацию свойств частотно–токового управления. То есть, чем точнее и быстродействующее будет подсистема векторного регулирования током, тем более качественную систему можно построить. В настоящее время таких способов два: ПИ-регулирование тока во вращающейся системе координат, релейное управление током в фазных координатах. В данном случае используется ПИ-регулирование тока во вращающейся системе координат

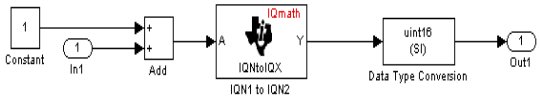


Рис. 4. Сабсистема ШИМ-модуляции

Моделирование СДПМ выполнялось при подаче момента нагрузки, представленного на рис.5, поскольку такой вид кривой характеризует практически все виды нагрузки на двигатель.

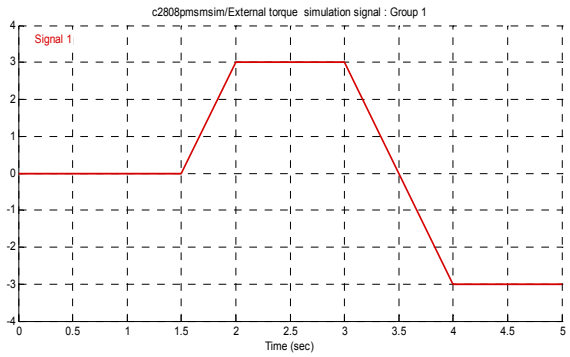


Рис. 5. Кривая момента нагрузки

При данном сигнале были получены следующие характеристики, представленные на рис. 6 и рис. 7.

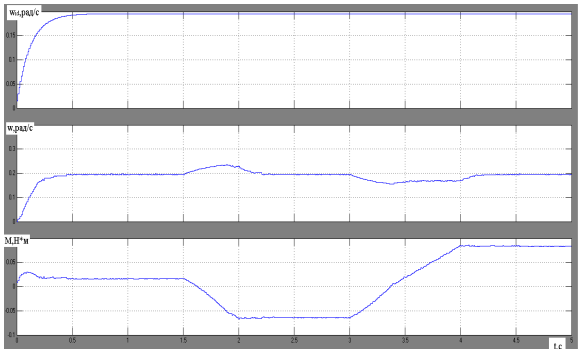


Рис. 6. Зависимости $\omega_{id}=f(t)$, $\omega=f(t)$, $M=f(t)$

Из данного графика можно сделать вывод о том, что отличие ω_{id} от ω не значительное, а значит, система работает адекватно.

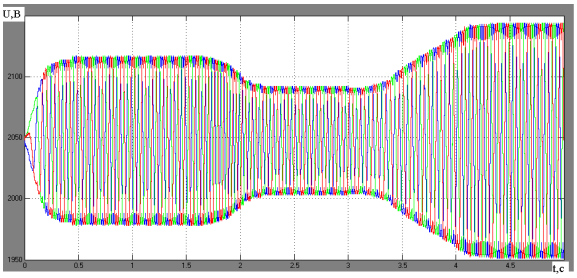


Рис. 7. Зависимость U=f(t) на ШИМ-модуляторе

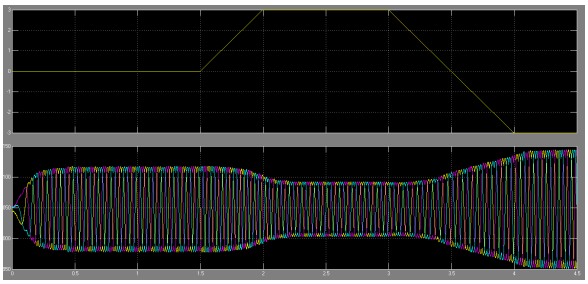


Рис. 8. Зависимость U=f(t) и кривой момента нагрузки

Из графика видно что система быстро адаптируется к изменению нагрузки.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами с синусоидальным управлением током используют для построения систем векторного управления моментом и скоростью, которое позволяет обеспечивать высокое качество характеристик электропривода как в статике, так и динамике, так как при этом формируется раздельное управление электромагнитными и механическими величинами, что демонстрирует приведенный выше рис.6,8

Список литературы

1. Ахматов М.Г. Синхронные машины. Специальный курс.-М.: Высшая школа, 1984, 91 с.
2. Кацман М.М., Электрические машины и трансформаторы, часть 2. - М.: Высшая школа, 1976, 54 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Султанкеримова И.Б., Марьин С.С

Научный руководитель: Марьин С.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nett_n@mail.ru

1. Введение. При обеспечении электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры большое значение имеет борьба с внешним электромагнитным влиянием.

Опыт эксплуатации показывает, что среди электронных систем недостаточную помехозащищенность имеют некоторые типы радиоэлектронных средств, вычислительных комплексов и линий электросвязи. Поэтому, с учетом общих тенденций развития электронных систем, заключающихся в миниатюризации, снижении уровня рабочих сигналов и повышении надежности, повышение помехозащищенности данных систем требует применения улучшенной элементной базы. Особо высокие требования при этом должны предъявляться к кабельным изделиям по причине их протяженности, которая обуславливает существенную степень подверженности данных изделий внешним электромагнитным влияниям и делает кабельные изделия основной средой для распространения электромагнитных помех.

Так как основным средством борьбы с внешними влияниями в настоящее время является применение экранированных кабелей и кабелей с помехопоглощающими оболочками, то проблема определения характеристик эффективности экранирования кабельных изделий является на сегодняшний день актуальной проблемой, поскольку недостаточные требования к этим характеристикам приводят к понижению помехозащищенности, а избыточные требования к увеличению материалоемкости кабельных изделий.

2. Теория экранирования. Экранирование как средство борьбы с электромагнитными помехами применяется для таких элементов радиоэлектронных средств, которые могут быть либо источниками, либо рецепторами помех. Экран, образованный металлическим барьером, можно анализировать при помощи, как теории поля, так и теории цепей. В настоящее время наиболее широко используется теория поля.

Магнитное поле на очень низкой частоте можно экранировать, создавая магнитную цепь с низким сопротивлением.

Для экранирования электрических полей следует использовать материалы с высокой электропроводностью. Эффективность такого экрана бесконечно велика на очень низких частотах и падает с их ростом. Экранировать магнитные поля более сложно, поскольку затухание из-за отражения равно нулю для некоторых сочетаний материалов и частот. С уменьшением частоты ослабление магнитного поля из-за отражения и поглощения в немагнитных материалах падает, поэтому трудно создать магнитный экран из немагнитных материалов. На высоких частотах, где экранирование обеспечивается и поглощением и отражением, выбор материала менее критичен.

Магнитные материалы обеспечивают лучшее экранирование от плоских волн за счет поглощения, в то время как электропроводящие материалы – за счет отражения.

Взаимодействие двух проводов в магнитном поле описывается уравнением Максвелла

Уравнения Максвелла обобщают два основных закона электротехники: закон полного тока и закон электромагнитной индукции.

В интегральной форме первое уравнение Максвелла (закон полного тока) устанавливает количественное соотношение между напряженностью магнитного поля $\overline{H}$ и электрическим током *i*:

$$\oint_L \overline{H} dl = i \qquad (1)$$

Второе уравнение Максвелла является обобщенной формулировкой закона электромагнитной индукции на случай любой среды.

Максвелл доказал, что электродвижущая сила, действующая вдоль какого-либо контура, равна линейному интегралу вектора напряженности электрического поля *E*, взятому вдоль этого контура. Отсюда обобщающая формулировка закона электромагнитной индукции:

$$\oint_L \overline{E} dl = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (2)$$

Скручивание проводов является хорошим способом уменьшения магнитной связи. Однако еще лучшую магнитную развязку обеспечивает коаксиальный кабель, поскольку его оболочка – эквивалентный «обратный» провод – расположена концентрично относительно внутреннего провода и тем самым эффективный размер пренебрежимо мал. Степень развязки определяется градиентом магнитного поля и характеристиками кабеля.

Эффективность экранирования зависит от правильности заземления экрана. В отличие от электрического экранирования магнитное не требует заземления экрана, если экранируемая цепь не является высокоомной.

3. Характеристики экранирования. В области частот до 200 МГц экран характеризуется квазистатическим поведением относительно электромагнитного поля. В этом случае действие экрана учитывается через коэффициент экранирования S, который, в зависимости от характера влияния помехонесущего поля, представляет собой отношение напряженности поля в какой-либо точке пространства при наличии экрана к напряженности поля в той же точке без экрана.

В области частот более 200 МГц векторы электрического и магнитного полей целесообразно рассматривать совместно.

В кабельной технике металлическая оболочка кабеля не просто экран, а часто система, в которую, по крайней мере, входят токопроводящие жилы (ТПЖ) и изоляция ТПЖ, при этом необходимо учитывать режимы работы концов кабеля.

Важной задачей кабельной техники является задача устранения вредного влияния помехонесущих токов. Помехонесущий ток, протекающий в оболочке кабеля, и получающееся при этом падение напряжения наводят в системе проводов, экранированных оболочкой, помехонесущие Э. Д. С, и чем меньше величина указанного падения напряжения, тем лучше будет экранирующее действие экрана. Это падение напряжения, очевидно, пропорционально помехонесущему току; коэффициент пропорциональности с размерностью сопротивления называют сопротивлением связи экрана.

На практике для оценки эффективности экранирования коаксиальных кабелей используется характеристика сопротивления связи.

4. Механизмы формирования помех в кабеле при внешнем влиянии. При расчете и конструировании экранированных кабелей изготовители добиваются требуемой величины экранного затухания, в то же время потребителей интересует, какие наводки кабели будут вводить в систему. Чтобы грамотно увеличить эффективность экранирования кабеля, необходимо понимать механизмы проникновения поля. Для кабеля коаксиальной конструкции можно сформулировать три механизма формирования помех.

Механизм 1. (Обусловлен протеканием, тока в оболочке).

Помехонесущий ток в экране кабеля и соответствующее ему падение напряжения наводят в коаксиальном кабеле напряжение помехи. Падение напряжения в экране связано с помехонесущим током через сопротивление связи экрана.

В связи со сложностью расчета сопротивления связи оплеточных кабельных экранов, его значения оцениваются весьма грубо и на практике их всегда определяют экспериментально.

Механизм 2. (Обусловлен проникновением радиального электрического поля).

В случае, когда экран кабеля имеет отверстия, радиальное электрическое поле с увеличением частоты частично проникает внутрь кабеля. Данный процесс может характеризоваться источником тока.

Для многих коаксиальных кабелей этот механизм на частотах менее нескольких МГц не имеет значения, когда кабельная система работает на нагрузку 50 Ом.

Влияние радиального электрического поля в виде дополнительного эквивалентного генератора наводки определено через проводимость связи.

Полная проводимость связи обуславливает ток короткого замыкания, наведенный во внутреннем проводник (когда внутренний проводник накоротко соединен с экраном). Полная проводимость связи для несплошных экранов учитывает емкостную связь между внутренним проводником и землей.

В экранированных коаксиальных кабелях, имеющих эксцентриситет, возникает связь с поперечным магнитным полем. Напряжение наводки таково, как если бы центральный проводник был заземлен линией передачи, состоящей из параллельных проводов, находящихся на расстоянии, равном эксцентриситету.

Для коаксиальных кабелей нельзя достаточно точно определить эксцентриситет. Обычно он зависит от технологии изготовления, условий эксплуатации и т.п.

Таким образом, анализируя все рассмотренные механизмы формирования помехи в коаксиальном радиочастотном кабеле, можно сделать следующие выводы:

1. Помеха за счет влияния поперечного магнитного поля обусловлена в основном технологическими отклонениями при производстве кабеля и процессами старения во время эксплуатации.
2. Помеха за счет влияния радиального электрического поля обусловлена условиями эксплуатации кабеля (зависит от окружающей среды).

В то же время обусловлено, что обе эти помехи связаны с некоторыми свойствами и экрана.

3. Помеха за счет влияния тока в оболочке обусловлена в основном конструкцией и свойствами собственно экрана (однако и она тоже зависит, как это будет показано ниже, от свойств других элементов конструкции кабеля).

5. Заключение. В результате проделанной работы была изучена теория экранирования, включающая в себя описание электрического и магнитного полей, процессов происходящих при экранировании, материалов из которых изготавливаются экраны для защиты от магнитных и электрических полей. Также были изучены характеристики экранирования и механизма формирования помех в кабеле при внешнем влиянии.

Список литературы

1. Михайлов М.И., Разумов Л.Д.; Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей; Издательство «Связь» Москва 1967.;
2. Говорков В.А.; Электрические и магнитные поля, 3-е изд. перераб., «Энергия» Москва 1968.;
3. Гроднев И.И., Сергейчук К.Я.: Экранирование аппаратуры и кабелей связи. Связьиздат, 1960.
4. Особенности проектирования энергосберегающих

АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Терновская С.А.

Научный руководитель: Муравлева О. О., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mmst@mail2000.ru

В мировой практике с конца 70-х годов совместно с использованием частотно-регулируемого электропривода сложилось направление решения проблемы энергосбережения за счет проектирования и изготовления энергоэффективных асинхронных двигателей. Выпуском таких двигателей занимаются фирмы Toshiba, Siemens. В настоящее время Siemens выпускает энергоэффективные асинхронные двигатели увеличенного объема мощностью 5,5 кВт, в которых потери снижены на 42%. Годовой экономический эффект от применения такого двигателя составляет 378 марок – во много раз больше, чем увеличении стоимости двигателя по сравнению со стандартным [1].

Таким образом, непрерывный рост потребности в энергоэффективных асинхронных двигателях и необходимость периодической смены серий ставят актуальную задачу создания новых серий, адаптированных под современные требования потребителей. Асинхронные двигатели [2] мощностью до 100 кВт составляют до 90% по количеству и до 60% по мощности от их суммарного производства, поэтому создание новых серий высокоэкономичных и надежных асинхронных двигателей таких мощностей является важной и актуальной народнохозяйственной задачей в современных социально-экономических условиях развития России.

Цель данной работы: рассмотреть особенность проектирования энергосберегающих асинхронных двигателей.

Энергоэффективные двигатели – двигатели, производящие больше работы на единицу энергии, чем стандартные двигатели, обладающие более высоким показателем по КПД, повышенной надежностью, более низкими значениями по шуму и вибрации. Высокий КПД это, соответственно, более низкое энергопотребление. Отсюда складывается и второе смысловое название – энергосберегающие двигатели. Как известно, понятие энергоэффективного двигателя появилось в октябре 1997 года в США, когда Американский конгресс (NEMA) принял «Акт об энергетической политике» [3], определявший критерии классификации энергоэффективных электродвигателей.

Одно из направлений совершенствования асинхронных двигателей – это повышение энергоэффективности. Энергоэффективность электродвигателей характеризуется уровнем КПД (η) и коэффициентом мощности (cosφ). В Европейском сообществе и Российской Федерации в 2000 г. были приняты нормы на КПД асинхронных двигателей. Евронормы CEMEP для двух- и четырехполюсных АД мощностью от 1,1 до 90 кВт предусматривают три уровня КПД: нормальный – EFF3, повышенный – EFF2 и высокий – EFF1 (рис. 1). Нормы на КПД в Российской Федерации согласно с ГОСТ Р 51677-2000 предусматривают два уровня КПД: нормальный, практически совпадающий с уровнем EFF2 Евронорм CEMEP и повышенный, практически совпадающий уровнем EFF1 и при этом охватывают двигатели всех полюсностей в диапазоне мощности от 1,1 до 400 кВт [4].

На рис. 1 представлены уровни энергоэффективности согласно спецификации CEMEP.

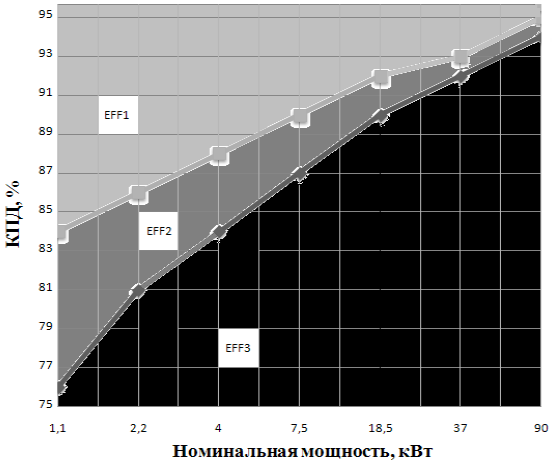


Рис. 1. Значения КПД при различных уровнях энергоэффективности

Рассмотрим особенность проектирования энергоэффективного асинхронного двигателя на примере стандартного двигателя 4А160S4У3 мощностью 15 кВт. В ходе работы была изменена геометрия поперечного сечения за счет изменения формы паза статора [5] и увеличен наружный диаметр статора. При изменении формы паза должно быть соблюдено следующее:

- площадь паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нем проводников обмотки с учетом всей изоляции;
- значения индукции в зубцах находились в определенных пределах, зависящих от типа, мощ-

ности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника;

• коэффициент заполнения паза составлял строго определенное значение, находящееся в указанных пределах.

Наружный диаметр статора должен так же соответствовать определенным условиям, налагаемым требованием раскроя листов электротехнической стали с наименьшими отходами при штамповке. В процессе проектирования новых двигателей наружный диаметр может быть изменен, однако изменение наружного диаметра в меньшую сторону нецелесообразно, так как при этом возрастают электромагнитные нагрузки, а увеличение нуждается в проработке, доказывающей возможность изменения.

Результат увеличения диаметра виден в табл. 1, наружный диаметр увеличен на 5% от базовой длины, происходит увеличение КПД на 1,24%.

Таблица 1

Номинальные данные и показатели энергоэффективности базового двигателя и энергосберегающего двигателя

	Двигатель 4А160S4У3	Энергосберегающий двигатель
$P_{2н}$, кВт	15	15
w_1	112	112
B_δ, Тл	0,75	0,75
D, мм	185	185
Da, мм	272	286
u_p	28	28
B_a, Тл	1,6	1,65
B_z, Тл	1,9	1,95
$d_{из}$, мм	1.33	1,585
$S_п$, мм	132	198
$K_{зап}$	0.75	0,71
$P_{э1}$, Вт	0,991	0,726
$P_{э2}$, Вт	0,41	0,416
η, о.е.	0.884	0,895

В итоге, увеличение КПД более чем на 1%, позволяет спроектированному двигателю попасть в класс высокой эффективности EFF1, что дает следующие преимущества:

• экологичность – благодаря своему высокому КПД электродвигатели EFF1 позволяют экономить электроэнергию и тем самым способствуют снижению выбросов электростанциями вредных веществ в атмосферу;

• сокращение расходов на техобслуживание, двигатель класса EFF1 позволяет не только сэкономить электроэнергию, но и снизить дополнительные эксплуатационные расходы;

• низкий уровень шума, благодаря высокому КПД электродвигателям класса EFF1 для охлаждения требуется меньшее количество воздуха, а, кроме того, так что они чаще всего обходятся менее мощными и потому более тихими вентиляторами;

• повышение срока службы подшипников двигателя. Низкая эксплуатационная температура благоприятно сказывается также и на подшипниках электродвигателя, срок службы которых с падением температуры соответственно повышается;

• изоляция служит дольше, снижается количество отказов. Низкая температура обмотки электродвигателей класса EFF1 одновременно продлевает и срок службы изоляции; повышается срок службы энергоэффективного асинхронного двигателя.

Таким образом, особенность проектирования энергосберегающих асинхронных двигателей заключается в увеличении наружного диаметра и изменении формы паза статора. Улучшение энергетических показателей происходит за счет уменьшения электрических потерь и является одним из главных направлений повышения энергоэффективности асинхронных двигателей. В результате исследования для 4А160S4У3 КПД удалось увеличить на 1,24%. Отработанная методика проектирования энергосберегающих асинхронных двигателей будет распространена и на другие асинхронные двигатели серии 4А.

Список литературы

1. Безрученко В.А. Энергосберегающий электропривод // Электро. – 2001. – № 1. – С. 43-46.
2. Ахунов Т.А., Макаров Л.Н., Попов В. И. Основные результаты разработки и освоения на ЯЭМЗ новой российской серии RA асинхронных машин мощностью до 100 кВт // Электротехника. – 1996. – № 2. – С. 32-34.
3. Электродвигатели EFF1. Преимущества высокого КПД // Энергоэффективность. – 2005. – № 1. – С. 20-21.
4. Кравчик А.Э., Кругликов О.В. Перспективы разработки и производства стандартных асинхронных электродвигателей на предприятиях группы компаний «ВЭМЗ» // Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 3-8.
5. Терновская С.А. Анализ влияния формы паза статора на энергетические характеристики асинхронного двигателя // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: Труды X Региональной научно-практической студенческой конференции. – 2010. – Томск: ТПУ, 2010. – С. 97-100.

ОЧИСТКА ОТ ШУМА СИГНАЛОВ В 4ИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ И КАНАЛАХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ ЭЛЕКТПРИВОДА

Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доц.

Томский Политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30
e-mail: timvv@sibmail.com

Введение

Как показывает практика, в природе встречаются сигналы, в которых присутствуют помехи в виде высокочастотных гармоник. В электроприводе чаще всего они проявляются в каналах связи датчиков тока, скорости, потокосцепления, но также наблюдаются в силовой цепи. Из выше сказанного следует, что шумы дают ложную информацию, тем самым, приводя в заблуждение систему управления. Для подавления шумов в каннеле обратной связи электропривода или в диагностической системе нужны фильтры, которые смогли бы подавлять высокочастотные помехи без искажения полезного сигнала.

Цель работы

Основной задачей данной работы являлось исследование возможностей Вейвлет- и Фурье-преобразований для очистки полезных сигналов в электротехнических комплексах от шума.

Математический аппарат

Одним из мощных инструментов для спектрального анализа и подавления помех является преобразование Фурье (ПФ). Рядом Фурье для функции, является ряд:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{N} a_k \sin(2\pi k f_1 t) + b_k \cos(2\pi k f t),$$

где коэффициенты, которого находятся по формулам:

$$a_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} y(x)\cos(kx)dx,$$

$$b_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} y(x)\cos(kx)dx.$$

Основное условие ПФ гласит о том, что любую периодическую функцию можно разложить в ряд Фурье. Но если встречается нестационарный сигнал, т.е. частота основной гармоники изменяется во времени, то возникают определенные трудности.

Оконное преобразование Фурье (ОПФ) позволяет решить данную проблему.

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)\omega(t-b)e^{-i\omega t}dx$$

где $\omega(t-b)$ оконная функция.

Идея данного метода заключается в том, что любой нестационарный сигнал можно разбить на окна или промежутки, где он будет стационарным. Основные недостатки ПФ данный метод полностью не решает, так как возникает новая проблема, которая упирается в принцип неопределенности Гейзенберга. Этот принцип гласит, что при сильном сужении окна улучшается временное разрешение, но ухудшается частотное и наоборот при увеличении окна сужается временной спектр, но расширяется частотный. При разложении функции с помощью ОПФ ширина окна выбирается один раз и навсегда и поэтому данное противоречие неразрешимо.

Для исследования нестационарных сигналов и фильтрации нашло широкое применение непрерывное вейвлет-преобразование (НВП)[1].

$$CWT^{\psi}{}_{x}(\tau,s) = \psi^{\psi}{}_{x}(\tau,s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}}\int x(t)\psi^{*}\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$$

НВП имеет некие схожие черты с ОПФ, там также функция сигнала перемножается с вейвлетом как с оконной функцией и преобразование выполняется для каждого участка времени.

Но и есть существенные различия между ОПФ и НВП:

1. Ширина окна при НПВ изменяется в зависимости от спектральной компоненты.

2. В качестве базисных функций при ОПФ используются только тригонометрические функции косинуса и синуса. Это существенно сужает спектр возможностей данного преобразования.

Экспериментальная часть

Исследования проводились с использованием математического пакета Mathcad 14 и дополнительных пакетов Signal Processing, а также Wavelet Extension.

На рис. 1,2 представлен зашумленный сигнал вида: $y(x) = 4\sin(2\pi 50x) + \sin(2\pi 10x) + \mathrm{rnd}(1) - 0.5$ и очищенный с помощью ПФ с разными коэффициентами очистки.

При коэффициенте очистки k=1(рис. 1) функция на выходе фильтра ifft(g) практические полностью повторяет входной сигнал y(x). Изменяя данный коэффициент можно получать разную степень очистки сигнала. На рис. 2 представлен очищенный сигнал, где спектр частот был сужен до одной гармоники.

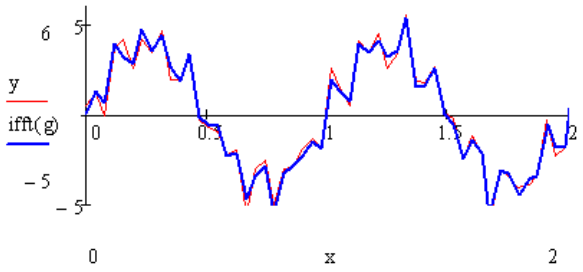


Рис. 1. Зашумленный и очищенный сигнал с помощью ПФ при коэффициенте очистки k=1

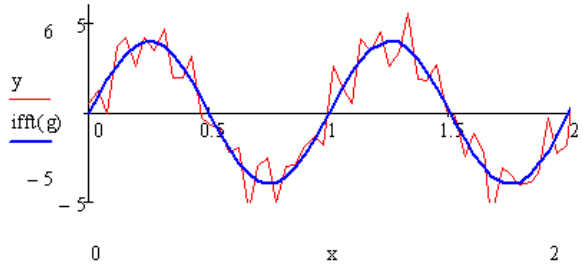


Рис. 2. Зашумленный и очищенный сигнал с помощью ПФ при коэффициенте очистки k=9

На практике часто встречаются нестационарные сигналы, где основная частота изменяется во времени и их тоже необходимо фильтровать и анализировать. Один из примеров такого сигнала с шумом

$$nd(x) = \sqrt{x(x-1)}\sin\left(\frac{2.1\pi}{x+0.15}\right)$$

представлен на рис. 3:

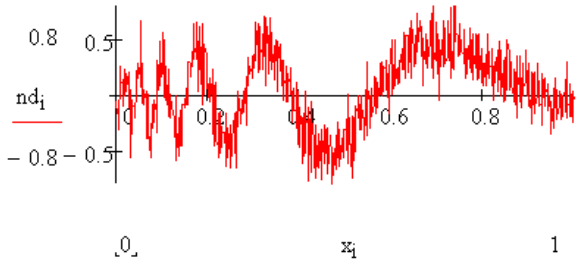


Рис. 3. Зашумленный нестационарный сигнал

Вначале была произведена очистка сигнала с помощью ПФ (рис.4), где видно, что данный фильтр срезал высокие частоты полезного сигнала, т.е. часть полезного сигнала потеряла свою информативную часть.

Затем был использован фильтр для этого же зашумленного сигнала на основе НВП преобразования (рис. 5). Данное преобразование так же и ПФ позволяет получить сигнал с разной степенью очистки от шума. В основу фильтра НВП положена аппроксимация с помощью кратномасштабного анализа. Суть этого анализа заключается в разложение сигнала на ортогональные $S_J(t)$ и $D_J(t)$ сигнальные компоненты в различны масштабах j.

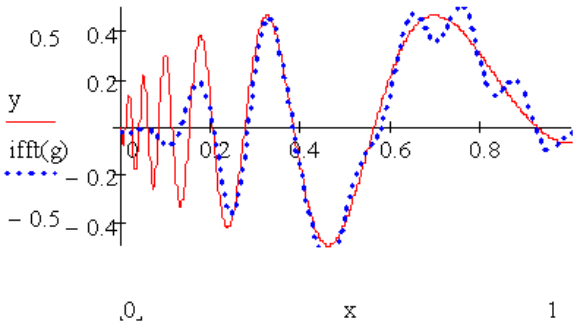


Рис. 4. Идеальный и очищенный нестационарный сигнал с помощью ПФ

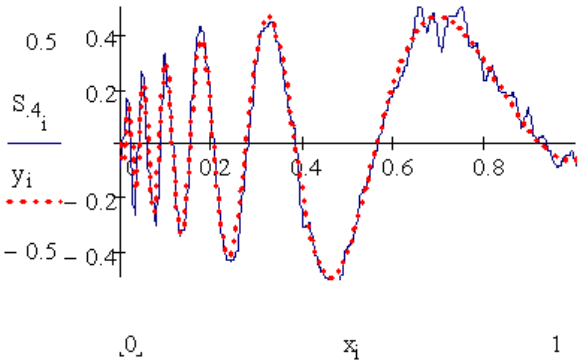


Рис. 5. Идеальный и очищенный нестационарный сигнал с помощью НВП

При сравнении рис.4 и рис.5 видно, что при фильтрации нестационарного сигнала с помощью НВП выходная функция практически полностью повторяет форму идеального сигнала.

Заключение

1. Использовать преобразование Фурье для фильтрации и анализа нестационарных сигналов нецелесообразно.
2. Вейвлет-анализ позволяет анализировать сигнал сразу в трех плоскостях - время, частота и амплитуда.
3. Существенное преимущество вейвлетов над Фурье-преобразованием заключается в большом наборе базисных вейвлет-функций, из которого можно выбрать для каждой задачи свой вейвлет.

Список литературы

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты от теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002.– 448 с.
2. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.Г. Грибунин.– Санкт Петербург: Вус, 1999 . – 204 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОЭМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЕМЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКОВ

Ткачук Р.Ю.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: uat@sibmail.com

Введение

Применение искусственных нейронных сетей (ИНС) в решении задач управления рассматривается в [1].

Благодаря своим универсальным аппроксимирующим свойствам, искусственные нейронные сети представляют собой мощный инструмент для решения задачи идентификации нелинейных статических и динамических объектов управления. Основанные на ИНС дискретные идентификационные модели называются нейроэмуляторами или предикторами.

Различают одношаговые и краткосрочные предикторы (эмуляторы). Одношаговый предиктор осуществляет предсказание выходного вектора объекта по его предыстории на один шаг вперед. Такие модели объектов не является полными.

Краткосрочные предикторы или просто нейроэмуляторы являются полной моделью объекта в том смысле, что они могут использоваться независимо от самого объекта. С их помощью можно строить прогноз на несколько шагов вперед, отталкиваясь от сделанных ранее предсказаний. Тем не менее, глубина их предсказания является ограниченной. Нарастание ошибок, вызванных неточностью аппроксимации, со временем приводит к полному расхождению объекта и модели.

Рассмотрим примеры нейроэмуляторов динамических объектов управления, описываемых дифференциальными уравнениями первого и второго порядков.

RL-цепь

В качестве примера модели, описываемой дифференциальным уравнением первого порядка, рассмотрим RL-цепь с параметрами: R = 1,1 Ом; L = 0,005 Гн.

Процессы, протекающие при коммутации RL-цепи на источник постоянного напряжения, описываются дифференциальным уравнением, составленным по второму закону Кирхгофа:

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{E(t) - i(t)R}{L},$$

где i(t) – ток, протекающий через RL-цепь; $E(t)$ – напряжение источника.

Для составления обучающей выборки нейронной сети рассчитываются переходные процессы для разных напряжений $E(t)$ по методу Эйлера:

$$i_{j+1} = (E_j - i_j R)\frac{\Delta t}{L} + i_j.$$

Так как моделируется динамический процесс, то на вход сети подается выходной сигнал на текущем i_j и предыдущем i_{j-1} шагах. В выборку включаются токи, рассчитанные по методу Эйлера, для каждого 20-го интервала времени.

Для нейроэмулятора выбрана сеть вида 3-15-1, функция активации – гиперболический тангенс. Сеть обучается алгоритмом обратного распространения ошибки. Число циклов обучения: 1000. Сеть формируется и обучается с использованием набора инструментов Neural Network Toolbox программного пакета Matlab. Для имитационного моделирования используется приложение Simulink пакета Matlab.

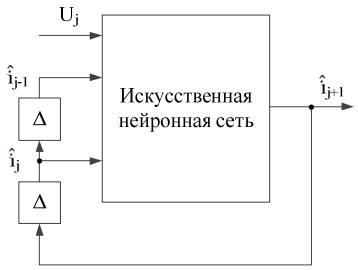


Рис. 1. Нейроэмулятор RL-цепи

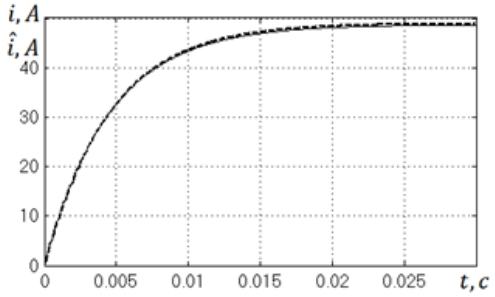


Рис. 2. График переходного процесса при замыкании ключа

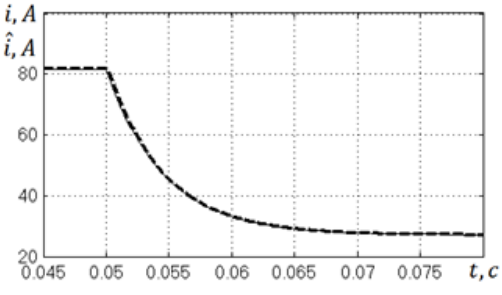


Рис. 3. График переходного процесса при мгновенном изменении напряжения источника

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения

В качестве модели, описываемой дифференциальным уравнением второго порядка, выбрана модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) 2ПФ160МГУХЛ4.

Математическая модель ДПТ НВ в форме системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{di_я(t)}{dt} = \dfrac{U_я(t)1(t) - i_я(t)R_я - c\omega(t)}{L_я} \\ \dfrac{d\omega(t)}{dt} = \dfrac{ci_я(t) - M_C(t)}{J}, \end{cases}$$

где $i_я$(t) – ток якорной цепи; $U_я(t)1(t)$ – напряжение, приложенное к якорной цепи; Rя – суммарное активное сопротивление последовательно включенных обмотки якоря и добавочных полюсов в горячем состоянии (при t=75°C); c – коэффициент ЭДС и момента ДПТ НВ; ω(t) – скорость двигателя; $M_C(t)$ – момент сопротивления нагрузки; J – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя.

Для составления обучающей выборки искусственной нейронной сети рассчитываются переходные процессы для разных $U_я$ и M_C по методу Эйлера:

$$\begin{cases} i_{j+1} = i_j + \Delta t \dfrac{U_я - i_j R_я - \omega_j c}{L_я} \\ \omega_{j+1} = \omega_j + \Delta t \dfrac{ci_j - M_c}{J}. \end{cases}$$

Для нейроэмулятора выбрана сеть вида 5-15-1, функция активации – гиперболический тангенс. Сеть обучается алгоритмом обратного распространения ошибки. Число циклов обучения: 5000. Оценивается скорость ДПТ. Синтез и обучение нейроэмулятора и имитационное моделирование ДПТ выполняется с использованием Matlab.

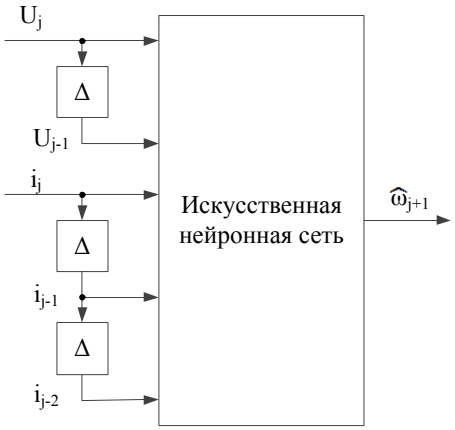


Рис. 4. Нейроэмулятор ДПТ НВ

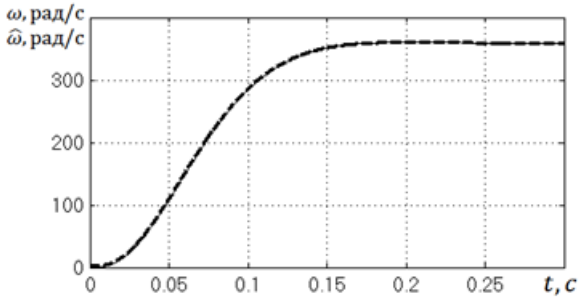


Рис. 5. График переходного процесса при пуске ДПТ «вхолостую»

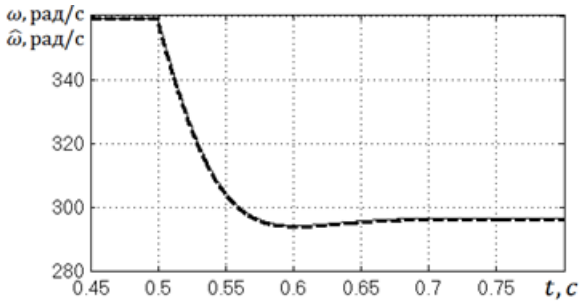


Рис. 6. График переходного процесса при набросе нагрузки

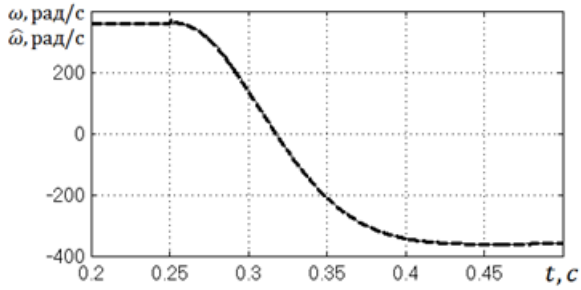


Рис. 7. Реверс с положительной скорости на отрицательную

Вывод

В результате выполнения работы были синтезированы нейроэмуляторы *RL*-цепи и ДПТ НВ. ИНС позволяют моделировать динамические процессы, описываемые дифференциальными уравнениями первого и второго порядков. Полученные результаты могут быть использованы для создания нейроэмуляторов более сложных динамических объектов.

Список литературы

1. Махотило К. В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления: Дис. … канд. техн. наук. – Харьков, 1998. – 179 с.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
3. Математического моделирования электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие / А.С. Глазырин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 204 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Трухан Д.А.

Научный руководитель: Трухан Д.А., к.т.н., доцент
Армавирский механико-технологический институт (филиал)
Кубанского государственного технологического университета
352905, Краснодарский край, г. Армавир, ул. Кирова, 127
E-mail: neozavkaf@gmail.com

Продукция кабельного производства во многом определяет качество и надежность изделий электротехнической промышленности, а тем самым развитие всех отраслей народного хозяйства. Отсюда следует важность работ по автоматизации кабельного производства, внедрению новых технологий, повышению эффективности кабельного оборудования.

В нашей стране производство кабельного оборудования развито незначительно. Предприятиям отрасли приходиться либо закупать зарубежное оборудование, либо производить модернизацию существующего.

Предполагается разрешить некоторые вопросы, связанные с разработкой и модернизацией машин кабельного производства, на примере крутильных машин кабельного производства.

Существующие САУ линии обеспечивают достаточно стабильную их работу в установившихся режимах. Однако пусковые и тормозные режимы характеризуются значительными динамическими нагрузками и обрывностью проволоки. Причинами этого возникновение различных возмущений, действующих на крутильных машинах, которые не компенсируются существующими САУ.

Возмущения, действующие на линии, можно разбить на следующие группы:

- технологические возмущения, вызываемые неоднородностью проволоки по длине (различие масс катушек), ее неравномерным поступлением в место бронирования либо скрутки (в зависимости от линии) и др.;
- динамические возмущения, связанные с режимами пуска и торможения отдающего и приемного устройств линий;
- динамические возмущения, связанные с конструкцией линий, вызываемые упругими связями, кинематическими погрешностями, различием приведенных моментов инерции и др.

Анализ качества показывает, что автоматическая система имеет невысокий запас устойчивости, что отражается на качестве управления, при увеличении скорости скрутки и бронирования.

Одна из эффективных возможностей повысить производительность линий бронирования и улучшить качество управления – применение микропроцессорной системы управления, которая позволит в зависимости от складывающихся производственных условий корректировать технологический процесс в автоматическом режиме.

Перевод группового электропривода постоянного тока кабельных линий на индивидуальный асинхронный электропривод отдельных технологических узлов требует обеспечения возможности электрического согласования скоростей вращения отдельных электродвигателей.

При построении систем взаимосвязанных электроприводов, реализующих электрическое согласование скоростей вращения двигателей, использована схема, представленная на рис. 1. Подобная структура реализует одностороннюю связь электроприводов и в наибольшей степени подходит по принципу построения для приводов механизмов участков обработки изделия крутильной машины, включающих тяговый узел и технологические органы. Здесь поддержание заданного соотношения скоростей электродвигателей тяги и технологического органа необходимо для обеспечения нормального хода технологического процесса и требуемой величины шага обработки. В такой системе скорость тягового узла является «ведущей», определяющей рабочую скорость каждого из технологических органов. Эта схема отличается простотой и минимальным количеством дополнительных связей.

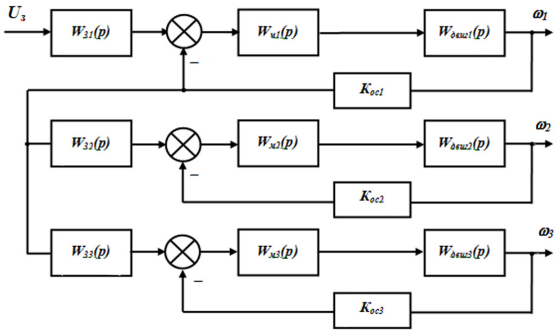


Рис. 1. Структурная схема взаимосвязанных электроприводов с ведущим электроприводом

Однако моделирование показало, что частотная характеристика имеет ярко выраженный резонансный пик при частоте $\omega_p \approx 300$ рад/сек, равный *1,2*. Это значение коэффициента достигает верхний допустимый предел, при котором наблюдается неустойчивая и несогласованная работа электроприводов, максимальное рассогласование ско-

ростей ведущего и ведомого электропривода составляет *20%* (рис. 2).

Таким образом, подтверждается предположение о значительных трудностях согласования скоростей по структурной схеме, показанной на рис. 1. По этому необходимо предпринять дополнительные технические решения для обеспечения условий согласования скоростей.

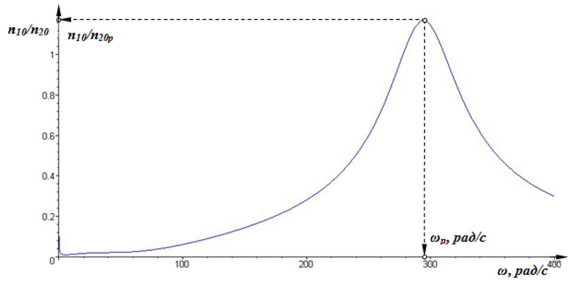


Рис. 2. Зависимость соотношения скоростей от частоты колебаний системы: ω_p – максимальное значение частоты колебаний в рабочем диапазоне частот системы электропривода, рад/сек; n_{10}/n_{20p} – коэф. обратный заданному соотношению скоростей при значении ω_p

Наибольшее распространение имеют в настоящее время системы регулирования, построенные по принципу подчиненного регулирования координат.

В процессе управления электроприводом регулируемая координата должна наилучшим образом воспроизводить изменения предписанного значения. Однако при этом часто оказывается необходимым ограничить пределы изменений одной или нескольких промежуточных координат (например, ток двигателя, его скорость при отработке перемещения и т. п.). С этой целью одноконтурная система дополняется обратными связями по этим координатам, вступающими в работу, когда контролируемая координата стремится превысить предельно допустимое значение.

Далее был применен синтез регуляторов, задачей которого является по заданным показателям качества системы управления придать замкнутой системе желаемые свойства.

Решение этой задачи можно рассмотреть как совокупность частных задач:

а) стабилизация объекта управления и повышение запаса устойчивости;

б) обеспечение необходимой точности воспроизведения воздействий в установившемся режиме;

в) обеспечение заданного качества в установившемся режиме.

Одним из основных принципов, на которых базируется большинство методов синтеза регуляторов, является метод динамической компенсации.

Метод приводит формально к точному решению поставленной задачи. Метод решения задачи синтеза регуляторов используют аппроксимацию основной зависимости во временной или частотных областях. Такой подход позволит получить методы, дающие, хотя и приближенное, но физически реализуемое решение, обеспечивающее качество работы САУ, близкое к заданному.

На основе вышеизложенных принципов, разработана структурная схема взаимосвязанных электроприводов технологической линии (рис. 3), которая обеспечивает следующее:

а) стабилизацию угловой скорости вращения технологического органа тянущего устройства и дискокрутильной машины;

б) взаимосвязь электроприводов ведущего и ведомого электропривода в заданном соотношении скоростей для обеспечения оптимальной работы технологической линии;

в) управление главным технологическим параметром – шагом скрутки.

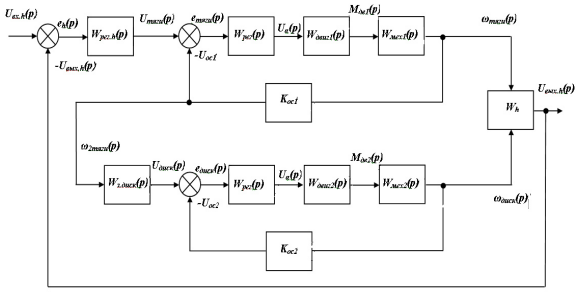


Рис. 3. Технологическая линия скрутки и бронирования кабеля с взаимосвязанными электроприводами и задатчиком главного технологического параметра – шага скрутки

По полученным передаточным функциям

$$W_{Здиск}(p)=\frac{\omega_{2диск}(p)}{U_{диск}(p)}=\frac{W_{рег}(p)\cdot W_{двиг}(p)\cdot W_{мех}(p)}{1+W_{рег}(p)\cdot W_{двиг}(p)\cdot W_{мех}(p)},$$

$$\omega_{2диск}(p)=\frac{W_{рег}(p)\cdot W_{двиг}(p)\cdot W_{мех}(p)}{1+W_{рег}(p)\cdot W_{двиг}(p)\cdot W_{мех}(p)}\cdot U_{диск}(p)\cdot$$

была построена зависимость, аналогичная показанной на рис. 2.

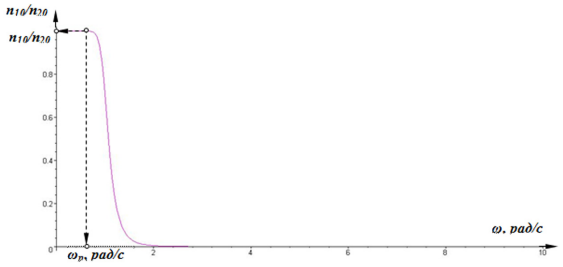


Рис. 4. Зависимость соотношения скоростей от частоты колебаний системы с оптимальным регулятором

Пик частотной характеристики равен 1, что меньше пика в системе управления без регулятора.

Предложена и рассмотрена микропроцессорная система с прямым цифровым управлением, которая исключает аналоговые преобразователи.

В ПЧ применена наиболее распространенная для управления короткозамкнутым АД схема ПЧ с АИН и ШИМ напряжения на выходе, неуправляемым выпрямителем на входе силовой части схемы и микропроцессорным управлением.

Список литературы

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2000. – 607 с.
2. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Системы координирующего управления взаимосвязанными электроприводами / Ивановский гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2000. – 212 с., ил.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШЕЙ ВЫСОТЫ ОСИ ВРАЩЕНИЯ

Тютева П.В., Бейерлейн Е.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: TyutevaPV@tpu.ru

Направления развития электрических машин обусловлены глобальными мировыми процессами: ростом цен на энергоносители, истощением мировых запасов жидких углеводородов. Эти процессы обуславливают, с одной стороны, ужесточение энергетических требований к промышленному оборудованию, а, с другой стороны поиск энергосберегающих технологий и разработку энергосберегающих электрических машин предназначенных для эксплуатации в составе регулируемого электропривода. При проектировании энергоэффективных асинхронных двигателей (АД), может быть реализовано следующее направления – это проектирование АД с большими по сравнению с базовыми машинами массогабаритными показателями. Для создания энергоэффективных АД для работы в системе регулируемого электропривода возможны следующие пути их проектирования: без изменения поперечной геометрии при изменении длины сердечников статора и ротора, а также при изменении обмоточных данных машины; использование АД большей высоты оси вращения.

В данной работе представлено направление проектирования энергоэффективных асинхронных двигателей при увеличении расхода активных материалов за счет использования АД большей высоты оси вращения. При этом за счет увеличения использования материалов повышается уровень энергоэффективности АД [1].

Целью данной работы является экспериментальное подтверждение адекватности данных компьютерного моделирования при проектировании энергоэффективных АД на основе геометрии базовых машин.

Для подтверждения расчетных данных полученных при реализации данного способа проектирования энергоэффективных машин проведены экспериментальные исследования при использовании машин с большей высотой оси вращения для получения энергоэффективного АД и определение его энергетических показателей, что позволит судить об адекватности данных, полученных при помощи компьютерной модели проектирования энергоэффективных АД. Экспериментальные исследования произведены в виде исследовательских испытаний, преследующих цель установления возможности повышения энергоэффективности за счет изменения габарита АД. Расчет проводился на основе ПВК «Программа расчета энергоэффективных асинхронных двигателей средней мощности», разработанного для проектирования энергоэффективных машин на основе геометрии базовых машин.

Для проведения экспериментальных исследований по определению энергетических показателей АД требуется выбор типа и вида установки. В общем случае в установку по определению экспериментальных данных входит: испытуемый АД, нагрузочная машина, измерительная аппаратура.

В качестве измерительной аппаратуры использованы датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), схема их подключения в цепь статора испытуемого АД изображена на рис. 1. В качестве системы обработки данных, получаемых датчиками тока и напряжения, использован анализатор количества и качества электроэнергии CIRCUTOR AR.5.

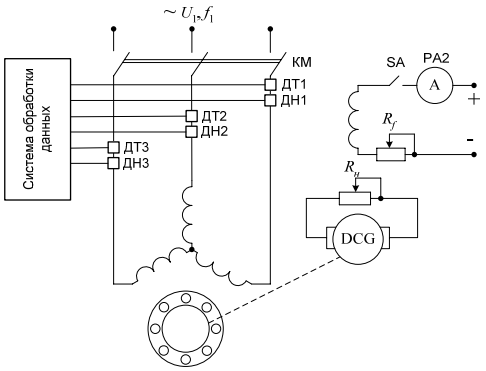


Рис. 1. Схема для определения экспериментальных данных

Для определения энергетических показателей испытуемого АД проведены следующие опыты: измерение активного сопротивления фазы обмотки статора (R_1); холостого хода; непосредственной нагрузки.

Снятие рабочих характеристик произведено посредством поочередного осуществления различных нагрузок в пределах от нагрузки не менее чем 10 % сверх от номинальной мощности до холостого хода, снятие идет путем понижения нагрузки. Перед началом экспериментального исследования следует прогреть АД при нагрузке около номинальной с тем, чтобы температура обмоток статора и ротора.

В процессе проведения опытов определяются следующие параметры: значения напряжений в каждой фазе и среднее; значения токов в каждой фазе и среднее; частота сети; коэффициент мощ-

ности cosφ в каждой фазе; частота вращения ротора АД.

Результаты измерений подвергаются следующей обработке. За действительное приложенное линейное напряжение принимается среднее арифметическое из трех измеренных значений. За действительный потребляемый линейный ток принимается среднее арифметическое из трех измеренных значений. Для измерения частоты вращения АД использовался тахогенератор постоянного тока, установленный на валу нагрузочного генератора. Пользуясь полученными в ходе эксперимента данными, согласно общепринятой методике определения потерь и КПД в АД косвенным методом, произведен расчет основных значений.

По результатам проведенных экспериментальных исследований происходит вычисление абсолютной и относительной ошибки по расчетным данным, которые получены на основе компьютерной модели проектирования энергоэффективных.

Абсолютная погрешность ΔX, величина этой погрешности определяется распределением расчетной величины $x_{расч}$. При этом она рассчитывается:

$$\Delta X = x_{эксп} - x_{расч},$$

где $x_{эксп}$ – значение величины полученное экспериментальным путем, а $x_{расч}$ – расчетное значение. Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к значению величины определенной экспериментальным путем:

$$\delta_x = \left|\frac{\Delta X}{x_{эксп}}\right| \cdot 100\% \cdot$$

Проведение экспериментального исследования позволит подтвердить адекватность данных, полученных при математическом моделировании энергоэффективных двигателей. Эксперимент проводится при непосредственной нагрузке, нагружение осуществляется генератором постоянного тока. Расчет КПД и потерь в АД осуществляется косвенным методом. Эксперимент проводится для случая получения энергоэффективного АД за счет использования АД большей высоты оси вращения.

Расчет и экспериментальные исследования при получении энергоэффективного АД на основе АД большей высоты оси вращения произведен на базе общепромышленных АД АД80А4, АД80В4, АД90L4. Двигатель АД80А4 является базовым при проведении расчетов и экспериментального исследования. На основе проведенных экспериментальных исследований и расчетов энергоэффективного АД составлена табл. 1, где представлены данные по энергетическим характеристикам АД в номинальном режиме (АД80А4 базовая машина), так же проведен расчет относительной ошибки.

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования (АД80А4 базовая машина)

	АД80А4			АД80В4			АД90L4		
	Расч.	Эксп.	δ_x, %	Расч.	Эксп.	δ_x, %	Расч.	Эксп.	δ_x, %
P_2, кВт	1,1	1,1	0,0	1,1	1,1	0,0	1,1	1,1	0,0
I_1, А	2,56	2,62	2,3	2,71	2,80	3,2	3,85	3,95	2,5
I_0, А	1,36	1,66	17,7	1,75	1,94	10,0	2,80	2,99	6,4
P_1, Вт	1381	1386	0,4	1346	1349	0,2	1313	1318	0,4
R_1, Ом	8,36	8,20	2,0	6,04	6,20	2,6	2,60	2,58	0,9
$P_{э1}$, Вт	164	167	1,8	133	146	9,1	115	121	4,8
$P_{э2}$, Вт	61	69	11,6	43	44	2,8	22	23	3,7
$P_{ст}$, Вт	41	44	7,5	52	53	2,3	75	78	4,0
cosφ	0,818	0,800	2,2	0,753	0,693	8,7	0,517	0,510	1,4
η	0,797	0,794	0,4	0,818	0,815	0,4	0,838	0,834	0,5

Анализ данных экспериментального исследования и расчета позволяет сделать вывод об адекватности результатов, полученных на основе расчета. Относительная ошибка при определении таких энергетических показателей как КПД и коэффициент мощности не превышает 4,5 %. При определении потерь в АД относительная ошибка в среднем не превышает 5,0 %. Проведенное экспериментальное исследование подтверждает возможность реализации способа проектирования энергоэффективных АД, связанного с использованием АД большей высоты оси вращения.

Предлагаемый способ проектирования энергоэффективных АД, связанный с использованием АД большей высоты оси вращения, позволяет спроектировать машину, обладающую уровнем энергоэффективности EFF1 согласно спецификации СЕМЕР. Экспериментально доказана адекватность данных моделирования на основе ПВК «Программа расчета энергоэффективных асинхронных двигателей средней мощности», средняя ошибка при определении КПД и коэффициента мощности не превышает 4,5 %.

Список литературы

1. Тютева П.В., Муравлева О.О. Особенности проектирования асинхронных двигателей в современных условиях // Проблемы энергетики, Казань, 2008. №7-8/1. – с. 173–183.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – ОСНОВА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Уварова Т.С.

Научный руководитель: Муравлева О.О., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-Mail: tusra_uwa@mail.ru

Повышение энергоемкости производства, количества техники, задействованной в производственных процессах, а также постоянный рост цен на энергоносители является серьёзным фактором, увеличивающим важность вопроса об экономии электроэнергии. Универсальных способов экономить электроэнергию на данный момент не существует, но разработаны методики, технологии и устройства, помогающие вывести энергосбережение на качественно новый уровень**.**

Актуальность проблемы в настоящее время обусловлена неэффективным использованием природных и материальных ресурсов, значительным удорожанием производства тепловой и электрической энергии. С возрастанием цен на электроэнергию проблема энергосбережения приобретает особую актуальность. Затраты на мероприятия по экономии 1 кВт мощности в 4-5 раз дешевле стоимости вновь вводимого 1 кВт мощности.

Цель работы рассмотреть асинхронный двигатель, как основу энергосберегающих технологий для народного хозяйства.

Асинхронные двигатели (АД) преобразовывают до 40% всей вырабатываемой в России электроэнергии – около 400 ТВтч в год [1]. Асинхронные двигатели – наиболее распространенный вид электрических машин, потребляющих в настоящее время около 40% всей вырабатываемой электроэнергии. Их установленная мощность постоянно возрастает.

Статистика использования электроэнергии в мире демонстрирует ускорение темпов ее потребления. Среди потребителей электроэнергии бесспорным лидером является электропривод. Этим объясняется быстрорастущий интерес к электроприводу для индустриальной техники, в том числе к разработке и внедрению регулируемого электропривода в системах холодного и горячего водоснабжения и теплоснабжения коммунальных хозяйств. Анализ рынка автоматизированного электропривода указывает на то, что наибольшим спросом пользуется регулируемый электропривод на базе асинхронных электродвигателей. Реальное энергосбережение можно обеспечить при замене нерегулируемого электропривода с АД, который повсеместно применяется, регулируемым электроприводом. На рис.1 показаны доли потребления электроэнергии наиболее массовыми потребителями по данным экспертов Европейского союза, а на рис. 2 – распределение электроприводов по мощности двигателей.



Рис. 1. Потребление электроэнергии

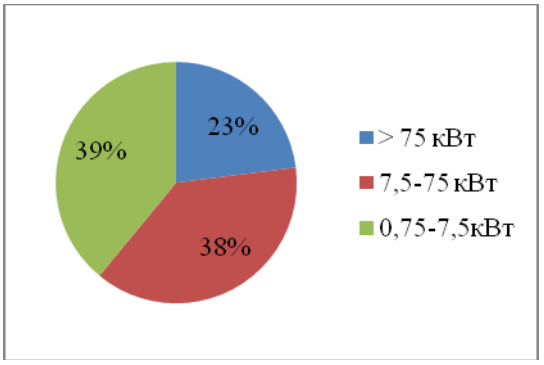


Рис. 2. Распределение электроприводов по мощности двигателей

Мощные двигатели (> 75 кВт), чаще других оборудованные средствами регулирования, составляют лишь 23%. Основная же масса (77%)-это электроприводы малой (0,75-7,5 кВт) и средней (7,5-75 кВт) мощности – как правило, нерегулируемые, снабженные асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Мы считаем, что начинать работу целесообразно с насосных установок, которых большое количество, и потребляют они значительную часть энергоресурсов. Переход применение регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей может обеспечить до 60 % экономии электроэнергии, существенное увеличение ресурса работы и недостижимые ранее функциональные возможности [2].

Потребности народного хозяйства удовлетворяются главным образом двигателями основного

исполнения единых серий общего назначения, т.е. применяемых для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению, энергетическим показателям, шуму и т.п. Вместе с тем в единых сериях предусматривают также электрические и конструктивные модификации двигателей, модификации для разных условий окружающей среды, предназначенные для удовлетворения дополнительных специфических требований отдельных видов приводов и условий их эксплуатации. Модификации создаются на базе основного исполнения серий с максимально возможным использованием узлов и деталей этого исполнения.

В некоторых приводах возникают требования, которые не могут быть удовлетворены двигателями единых серий. Для таких приводов созданы специализированные двигатели, например энергосберегающие, электробуровые, крановометаллургические и др.

Использованием энергоэффективных двигателей и эксплуатацией АД в режимах с минимальным потреблением энергии можно сэкономить в России до 6 ТВтч в год или более 12 млрд. руб, поэтому повышение эффективности работы АД и эксплуатация их в энергосберегающих режимах очень актуальна [3].

АД при полной загрузке в течение года преобразовывает такое количество электроэнергии, стоимость которой в 6-8 раз выше стоимости самого электродвигателя. При КПД АД 90 % за год в АД выделяются потери энергии стоимостью до 60-80 % стоимости АД. Созданием, выпуском и внедрением высокоэффективных АД с повышенным КПД классов EFF1, EFF2, EFF3, Premium занимаются ведущие фирмы развитых стран мира.

Применение АД непрерывно растет и по прогнозу специалистов, в ближайшие 10-15 лет, их доля в электроприводе может достичь 85-90%. В настоящее время асинхронные электрические двигатели потребляют почти половину всей вырабатываемой в мире электроэнергии и применяются в качестве преобразователя электрической энергии в механическую. Распределение асинхронных двигателей в наиболее распространенных механизмах процентах от общего количества двигателей составляет: вентиляторы – 37,7; транспортеры – 19,9; насосы -17,0; станки обрабатывающие – 7,0; смесители – 5,5; механизмы перемещения – 4,9; затворы, задвижки – 3,7; компрессоры – 2,8; дробилки и другие – 2,4.

В Российской Федерации и странах СНГ установленная мощность асинхронных двигателей напряжением до 1000 В составляет около 300 млн. кВт. Распределение двигателей по мощности и потреблению ими электроэнергии представлено в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что двигатели мощностью от 1 до 100 кВт потребляют свыше 90% от всей электроэнергии, потребляемой асинхронными двигателями [4].

Важное значение для экономии электроэнергии имеют вопросы правильной технической эксплуатации, своевременной профилактики и ремонта АД. Отклонения параметров и характеристик АД, возникающие в процессе эксплуатации, обычно приводят к необходимости снижать нагрузку машины. Кроме того, в эксплуатации находится множество АД с превышенным сроком службы и/или имеющих ряд отклонений, вызванных эксплуатационными факторами и проведенными ремонтами. Ремонт АД может быть выполнен в неспециализированных предприятиях, которые зачастую не имеют необходимого оборудования, комплектующих изделий, квалифицированного персонала. В этих случаях технология ремонта АД может отступать от заводской технологии, что будет сказываться на энергетических показателях и характеристиках АД. Эксплуатация АД после такого ремонта приводит к изменению режима их работы и энергоэффективности. Оценка влияния операций ремонта при разных их сочетаниях с разной степенью отступления от образцовой технологии ремонта на показатели АД разных мощностей представляется актуальной.

Таблица 1

Мощность, кВт	% от общего количества двигателей	% к общему потреблению ими электроэнергии
до 1	10	5
1-5	60	40
5-20	20	30
20-100	9	20
свыше 100	1	5

Энергосбережение является частью энергоэффективности, поэтому дальнейшие усилия будут направлены на увеличение энергоэффективности использования асинхронных двигателей.

Решение проблемы энергосбережения возможно при совершенствовании регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей, которые должны быть спроектированы и изготовлены специально для энергосберегающих технологий.

Список литературы

1. Хрестоматия энергосбережения: Справочник в 2-х кн.: Кн.1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; Под ред. В.Г. Лисиенко. – М: Теплоэнергетик, 2003. – 688 с.
2. Муравлева О.О. Концепция и пути развития энергоэффективных асинхронных двигателей // электричество. – 2007. – № 6 – с. 50- 52
3. Н.И., Щелоков Я.М. Данилов Энергосбережение для всех. – М.: Издательство Мэи, 2004г.
4. Сидельников Б.В. Перспективы развития и применения бесконтактных регулируемых электродвигателей // Энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 14–20.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО СЛУЧАЙНО ЦЕНЗУРИРОВАННЫМ ВЫБОРКАМ

Углянюк В.В.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sever_o_vostok@mail.ru

Проблема обеспечения надежности промышленной продукции существует уже много лет. Применение средств и способов диагностирования взрывозащищенных асинхронных двигателей (далее АД), в том числе и способа определения надежности по случайно цензурированным выборкам есть средство обеспечения экономической эффективности электрификации предприятий горнодобывающей отрасли.

За длительный период наблюдений технические устройства могут иметь ограниченное количество отказов. Наработки отказавших объектов за этот же период являются дополнительной информацией о надежности всей контролируемой совокупности объектов. Эти наработки называются цензурирующими.

Выборки чисел о наработке объектов, в которых имеются как наработки до отказа, так и до случайной приостановки наблюдения, называют случайно цензурированными выработками.

В распоряжении специалиста имеется выборка чисел, образующая вариационный ряд t(N) наработок объектов. Анализируемые объекты идентичны по устройству, назначению и эксплуатируются примерно в одинаковых условиях. Вариационный ряд размещают в первый столбец матрицы T(I,j), I = 1,2; j = 1,…,N, а второй столбец заполняется индикаторным массивом чисел, состоящим из нулей и единиц [1].

450 470 540 580 592 601 603 651 752 900
1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 [1]

Числа индикационного массива означают следующее: единица ставится в случае, если соответствующая наработка в верхней строчки является наработкой до отказа. В противном случае в индикационном массиве ставится нуль.

Цель работы: определение закона распределения для оценки надежности АД по случайно цензурированным выборкам.

В основе метода расчета параметров закона распределения по случайно цензурированным выборкам лежит вычисление выборочного значения накопленной интенсивности отказов [2]:

$$\hat{\Lambda}(t_j) = \sum_{i=1}^{j} \frac{a_i}{N \quad \sum_{m=0}^{i-1}(a_m \mid b_m)} \quad [2]$$

Результаты вычисления выборочного значения накопленной интенсивности для матрицы (1) показаны в табл. 1.

Таблица 1

J	1	2	3	4	5	6	7
t_i	450	470	540	480	592	601	603
$\hat{\Lambda}$	0.1	0.1	0.225	0.368	0.368	0.568	0.568
J	8	9	10				
t_i	450	470	540				
$\hat{\Lambda}$	0.901	1.401	2.401				

Следующим шагом в программе вычисляется выборочный коэффициент корреляции:

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \psi_j g_j - \frac{1}{N-k_0}\sum_{i=1}^{N}\psi_j \sum_{i=1}^{N} g_j}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N}\psi_j^2 - \frac{1}{N-k_0}\left(\sum_{i=1}^{N}\psi_j\right)^2\right)\left(\sum_{i=1}^{N} g_j^2 - \frac{1}{N-k_0}\left(\sum_{i=1}^{N} g_j\right)^2\right)}} \quad [3]$$

Вспомогательные функции ψ_j, g_j, в выражении (3) вычисляются как для определенных законов распределения случайных величин, как указано в табл. 2

Таблица 2

Закон распределения	Функция	
	ψ_j	g_j
Экспонец-ый	t_j	$\hat{\rho}(t_j)$
Вейбулла	$\ln(\lvert t_j \rvert)$	$\ln(\hat{\rho})$
Нормальный	$U_{qj}(F_N)$	$\lvert t_j \rvert$
Логнормальный	$U_{qj}(F_N)$	$\ln(\lvert t_j \rvert)$

Выборочны коэффициент корреляции определяется по уравнению (3), для каждого из указанных в табл. 2 законов распределения. Результаты для наработок из матрицы (1) показаны в табл. (3)

Таблица 3

Коэффициент корреляции	Закон распределения			
	Экспоне.	Вейб.	Норм.	лог
$\hat{\rho}$	0.9759	0.9781	0.9828	0.99

По максимальному значению выборочного коэффициента корреляции ρ из табл. 3 принимают решение о виде закона распределения случайных величин, затем рассчитывают приближенные оценки параметров распределения. В данном случае получено, что закон надежности – логнормальный, т.к. значение ρ=0.99 является максимальным. Расчет выполняется по следующим зависимостям:

- для экспоненциального закона

$$\hat{\lambda} = \frac{d}{\sum_{j=1}^{N} |t_j|} \quad [4]$$

- для распределения Вейбулла

$$\beta = \frac{(N - k_0)\sum_{j=c}^{N} \psi_j g_j - \sum_{j=c}^{N} \psi_j \sum_{j=c}^{N} g_j}{(N - k_0)\sum_{j=c}^{N} \psi_j^2 - \left(\sum_{j=c}^{N} \psi_j\right)}, \quad [5]$$

- для нормального закона

$$a = \frac{1}{N-1}\left(\sum_{j=c}^{N} g_j - \hat{\sigma}\sum_{j=c}^{N} \psi_j\right) \quad [6]$$

Известно, что среднюю наработку до отказа часто вычисляют следующим образом:

$$t_{ср} = \frac{1}{d}\sum_{i=1}^{N} t_i \quad [7]$$

где d – количество отказавших объектов; t_j – наработка каждого из множества N объектов.

В качестве критерия при анализе использовалось отношение среднестатистической оценки средней наработки до отказа (7) к средней наработке до отказа, вычисленной по созданной программе

$$T = \frac{t_{ср}}{t_{ист}}$$

Отклонение величины T от единицы означает смещение оценок, получаемых по уравнению (7), которое может быть вызвано глубиной или вариантом цензурирования, а также законом распределения случайных величин в исходной выборке. Результаты исследования приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4 с увеличением глубины h при большинстве вариантов цензурирования наблюдается завышение среднестатистической оценки наработки до отказа в три и даже в 4 раза (вариант 2, h=8, нормальный закон). Минимальное искажение истинной оценки при экспоненциальном законе и законе Вейбулла (при параметре формы $\beta = 1 - 1.5$) в случаях 3 и 4 вариантов цензурирования. При малой глубине цензурирования (h=0.2-0.4) риск получить искаженную оценку показателей надежности по зависимости (7) существенно меньше при любом из указанных выше законов распределения.

Таблица 4

Вариант и глубина цензурирования $\bar{h} = h/N$		Значение $\bar{T}$ при определенных законах распределения чисел в анализируемых выбборках		
		Норм.	Экспон.	Вейбулла $\beta = 1.5$
1	0.8	2.820	2.920	0.161
	0.6	2.056	1.270	0.680
	0.4	1.515	1.590	0.930
	0.2	0.960	0.803	0.990
	0	1.000	1.000	1.000
2	0.8	4.679	1.963	2.760
	0.6	2.324	1.309	1.640
	0.4	1.594	1.097	1.283
	0.2	1.227	1.039	1.094
	0	1.000	1.000	1.000
3	0.8	1.037	1.013	1.003
	0.6	2.195	1.000	1.000
	0.4	1.571	1.001	1.203
	0.2	1.000	1.000	1.083
	0	1.001	1.000	1.000
4	0.8	1.188	1.016	1.097
	0.6	1.105	1.012	1.027
	0.4	1.105	1.006	1.003
	0.2	1.080	1.004	1.003
	0	1.001	1.000	1.000

Т.о. целесообразно применять закон Вейбулла, т.к. оценка показателей надежности при его использовании наиболее достоверная.

Список литературы

1. Эккерт К.А. Особенности расчета надежности асинхронных двигателей взрывозащищенного исполнения // материалы всероссийской науно-технической конференции. – Томск, – Т.1. – С. 11-23
2. Обеспечение надежности асинхронных двигателей/ под ред. Захарченко П.И., Ширшин И.Г. и др. – Д.: УкрНИИВЭ, 1998. – 246 с.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Фахретдинов К.Г.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: morphis@sibmail.com

Опыт эксплуатации показывает, что надежность работы электрооборудования зависит от многочисленных и разнообразных факторов, которые условно могут быть разделены на четыре группы; конструктивные, производственные, монтажные, эксплуатационные.

Конструктивные факторы обусловлены установкой в устройство малонадежных элементов; недостатками схемных и конструктивных решений, принятых при проектировании; применением комплектующих элементов, не соответствующих условиям окружающей среды.

Производственные факторы обусловлены нарушениями технологических процессов, загрязненностью окружающего воздуха, рабочих мест и приспособлений, слабым контролем качества из-

готовления и монтажа и др. В процессе монтажа электротехнических устройств их надежность может быть снижена при несоблюдении требований технологии.

Условия эксплуатации оказывают наибольшее влияние на надежность электротехнических устройств. Удары, вибрация, перегрузки, температура, влажность, солнечная радиация, песок, пыль, плесень, коррозирующие жидкости и газы, электрические и магнитные поля – все влияет на работу устройств. Различные условия эксплуатации по-разному могут сказываться на сроке службы и надежности работы электроустановок.

Ударно-вибрационные нагрузки значительно снижают надежность электротехнических устройств. Воздействие ударно-вибрационных нагрузок может в ряде случае быть значительнее воздействия других механических, а также электрических и тепловых нагрузок. В результате длительного знакопеременного воздействия даже небольших ударно-вибрационных нагрузок происходит накопление усталости в элементах, что приводит обычно к внезапным отказам. Под воздействием вибраций и ударов возникают многочисленные механические повреждения элементов конструкции, ослабляются их крепления и нарушаются контакты электрических соединений.

Нагрузки при циклических режимах работы, связанных с частыми включениями и выключениями электротехнического устройства, так же как и ударно-вибрационные нагрузки, способствуют возникновению и развитию признаков усталости элементов. Физическая природа повышения опасности отказов устройств при их включении и выключении заключается в том, что во время переходных процессов в их элементах возникают сверхтоки и перенапряжения, значение которых часто намного превосходит (хотя и кратковременно) значения, допустимые техническими условиями.

Электрические и механические перегрузки происходят в результате неисправности механизмов, значительных изменений частоты или напряжения питающей сети, загустения смазки механизмов в холодную погоду, превышения номинальной расчетной температуры окружающей среды в отдельные периоды года и дня и т. д. Перегрузки приводят к повышению температуры нагрева изоляции электротехнических устройств выше допустимой и резкому снижению срока ее службы.

Климатические воздействия, более всего температура и влажность, влияют на надежность и долговечность любого электротехнического устройства. При низких температурах снижается ударная вязкость металлических деталей электротехнических устройств: меняются значения технических параметров полупроводниковых элементов; происходит «залипание» контактов реле; разрушается резина. Вследствие замерзания или загустения смазочных материалов затрудняется работа переключателей, ручек управления и других элементов.

Высокие температуры также вызывают механические и электрические повреждения элементов электротехнического устройства, ускоряя его износ и старение. Влияние повышенной температуры на надежность работы электротехнических устройств проявляется в самых разнообразных формах: образуются трещины в изоляционных материалах, уменьшается сопротивление изоляции, а значит, увеличивается опасность электрических пробоев, нарушается герметичность (начинают вытекать заливочные и пропиточные компаунды. В результате нарушения изоляции в обмотках электромагнитов, электродвигателей и трансформаторов возникают повреждения.

Заметное влияние оказывает повышенная температура на работу механических элементов электротехнических устройств. Под влиянием влаги происходит очень быстрая коррозия металлических деталей электротехнических устройств, уменьшается поверхностное и объемное сопротивление изоляционных материалов, появляются различные утечки, резко увеличивается опасность поверхностных пробоев, образуется грибковая плесень, под воздействием которой поверхность материалов разъедается и электрические свойства устройств ухудшаются. Пыль, попадая в смазку, оседает на частях и механизмах электротехнических устройств и вызывает быстрый износ трущихся частей и загрязнение изоляции.

Пыль наиболее опасна для электродвигателей, в которые она попадает с засасываемым для вентиляции воздухом. Однако и в других элементах электротехнических устройств износ намного ускоряется, если пыль проникает сквозь уплотнения к поверхности трения. Поэтому при большой запыленности особое значение приобретает качество уплотнений элементов электрических устройств и уход за ними. Качество эксплуатации электротехнических устройств зависит от степени научной обоснованности применяемых методов эксплуатации и квалификации обслуживающего персонала (знание материальной части, теории и практики надежности, умение быстро находить и устранять неисправности и т.п.). Применение профилактических мероприятий (регламентные работы, осмотры, испытания), ремонта, использование опыта эксплуатации электротехнических устройств обеспечивают их более высокую эксплуатационную надежность.

Отметим основные пути повышения надежности электрических машин:

• улучшение теплового состояния машины путем перехода на более высокий класс нагревостойкости изоляции, выравнивая температуры отдельных частей машины за счет выбора нагрузок, разработки систем охлаждения, применения защиты от перегрузок;

• разработка и внедрение мероприятий по снижению вибраций как электрической машины, так и электромеханической системы в целом;

• повышение качества комплектующих изделий и материалов, в том числе: применение повышенных классов, внедрение пропиточных лаков, обладающих высокой нагревостойкостью, влагонепроницаемостью, пропитывающей и цементирующей способностью, применение специальных проводов с прочной и эластичной изоляцией, сжижение жесткости обмоточных проводов, применение электрощеток повышенной износостойкости, высококачественной миканитовой изоляции, кадмиевой меди и др.;

• планомерное изучение условий эксплуатации и эксплуатационной надежности электрических машин, определение характера, причин и законов распределения отказов;

• наладка и правильная эксплуатация систем защиты электрических машин, предусмотренных при проектировании;

• разработка и совершенствование методов расчетной оценки надежности электрических машин, а также оценки надежности путем испытания на надежность;

• разработка и совершенствование методов расчетной и экспериментальной оценки надежности при хранении и транспортировке;

• разработка методов определения экономически оптимальных показателей надежности.

Обычно повышение надежности электрической машины связано с материальными затратами, поэтому проблема повышения надежности должна решаться на базе технико-экономического расчета. Для каждого типа электрической машины могут быть разработаны экономически оптимальные показатели надежности с учетом условий применения, физического и морального износа, расходов на обслуживание и ремонт и других показателей.

Для неремонтируемых машин увеличение срока службы экономически целесообразно. Исключение составляют случаи, когда требуется применение особо дорогих и дефицитных материалов или трудоемкой технологии, когда чрезмерно растут масса и габарит или когда долговечность машины превышает долговечность системы, в которой эта машина используется.

Для ремонтируемых машин проблема надежности выглядит по-иному: по мере старения узлов электрической машины резко возрастают затраты на ремонт и убытки от простоев и дальнейшее восстановление становится нецелесообразным.

Ниже приведу статистику отказов на примере одного из местных предприятий, занимающегося производством электродвигателей.



Рис. 1. Статистика принятых претензий по изделиям и дефектам за 2008–2010 гг.

Список литературы

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учебное пособие для вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.-432 с.
2. Надежность асинхронных электродвигателей / под ред. Б.Н. Ванеева. – Киев: Техника, 1983. – 143 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛАВНОГО КОНТАКТА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕГАЗОВОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Фомин А.В.

Научный руководитель: Сипайлова Н.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fominandrey@sibmail.com

Одним из перспективных направлений для напряжения 110 кВ и выше является развитие элегазовых выключателей. Выпускаемые на сегодняшний день высоковольтные выключатели в основном соответствуют требованиям, которые предъявляются к данному оборудованию со стороны потребителей. Тем не менее, поиск более продуктивных решений не прекращается. Компании, работающие на рынке высоковольтных выключателей, проводят исследования с целью создания новых поколений выключателей, обладающих более высокими показателями надежности и ресурсоёмкости и меньшими размерами.

Например, на заводе “Уралэлектротяжмаш” (г. Екатеринбург) разработана новая модель контактной системы выключателя. Ранее главный контакт представлял собой сборный узел из медного цилиндра, прижимных пружинок и посереб-

ренных ламелей. Новая модель главного контакта является одной деталью, выполненной из бронзы фирмы “Modison” (Индия). Это позволяет уменьшить массу выключателя, упрощает конструкцию и сокращает время сборки выключателя.

При разработке нового узла возникает необходимость расчёта. Расчёт контакта производится в два этапа – первый этап по методике Г.А. Кукекова [1], которая сводится к определению требуемого контактного нажатия на одну ламель при заданных размерах контакта. При этом сначала производится расчет контактного нажатия по номинальному току, а затем выполняется расчет по сквозному току короткого замыкания с учетом электродинамических усилий в контактном соединении. Второй этап – поверочный расчёт контакта в CAE-системе ANSYS – необходим для проверки контакта на механическую прочность и жесткость при воздействии на ламель контактного нажатия, рассчитанного по методике Г.А. Кукекова.

Рассмотрим алгоритм решения задачи более подробно.

I этап.

1. Расчёт прижимного усилия ламели главного контакта.

В розеточном контакте ламели расположены симметрично по отношения к магнитному полю, и неравномерное распределение тока по ламелям может вызываться только разбросом контактного сопротивления. Из опытных данных [1] коэффициент неравномерности распределения тока по ламелям принимается равным $К_н$=1,3.

После расчёта контактное нажатие на одну ламель было принято равным $Р_к$=55 Н.

2. Расчёт электродинамической стойкости главного контакта.

При протекании токов короткого замыкания на ламели действует сила, представляющая собой сумму сил контактного нажатия, электродинамической силы и силы, обусловленной сужением линий тока в месте контактирования.

Электродинамическая сила получилась равной $Р_{эд}$=236 Н , а сила, обусловленная сужением линий тока в месте контактирования – $Р_{отт}$=12,4 Н.

Так как электродинамическая сила приложена к середине ламели, то в месте контактирования будет действовать сила равная половине её значения. Таким образом, фактическая результирующая сила, действующая на одну ламель при протекании через неё токов короткого замыкания:

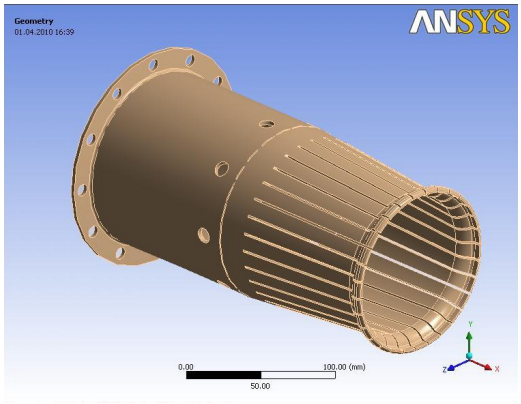
$$Р_ф = Р_к + 0.5Р_{эд} – Р_{отт} = 160,6 \text{ Н}.$$

II этап.

В CAE-системе ANSYS проводятся расчеты деформации и механического напряжения главного контакта высоковольтного элегазового выключателя серии ВГТ-110. Расчёт происходит в несколько шагов.

Шаг 1. Задание геометрии главного контакта.

Геометрия контакта задаётся путём импорта 3D-модели, созданной в CAD-системы Unigraphics NX4.

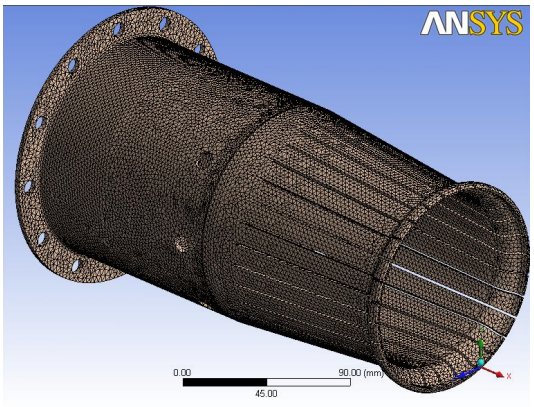


Шаг 2. Задание свойства материала.

После трансляции геометрической модели в CAE программу следует выбрать тип анализа – Stress Branch (расчёт напряжений). По умолчанию всем деталям присваиваются свойства конструкционной стали “Structural Steel”, которые можно изменить. Задаются такие свойства материала как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность, теплопроводность, удельная теплоёмкость и удельное сопротивление.

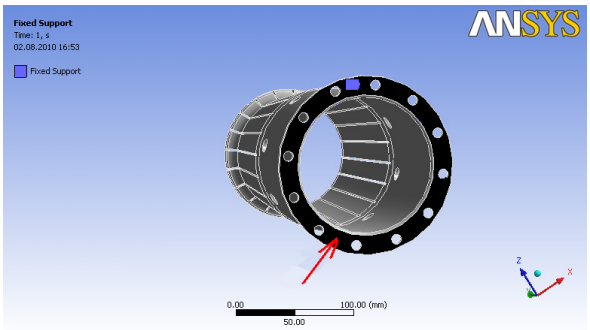
Шаг 3. Задание конечно-элементной сетки.

Выбрав раздел “Mesh” (сетка) в дереве проекта можно изменить или задать плотность сетки. Более плотная сетка позволяет находить более точные решения, но увеличивает расчётное время и объём памяти.



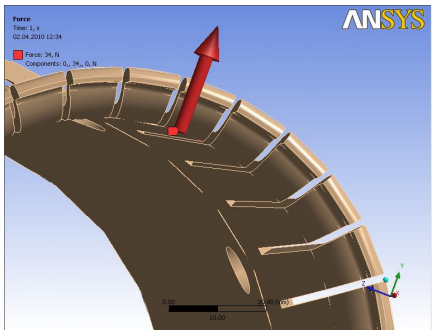
Шаг 4. Закрепление модели.

После назначения материалов в мастере расчётов следует выбрать позицию “Insert Supports” (задать закрепление).



Шаг 5. Задание нагрузки.

Нагрузка и закрепление применяются к геометрическим моделям. После выбора места приложения силы нужно ввести дополнительные данные в окне настроек.



Шаг 6. Выбор параметров решателя.

После начального выбора в мастере расчётов шаблона Stress Branch (расчёт напряжений) в дерево проекта помещаются некоторые расчётные параметры по умолчанию. Пользователь может изменить и добавить расчётные параметры.

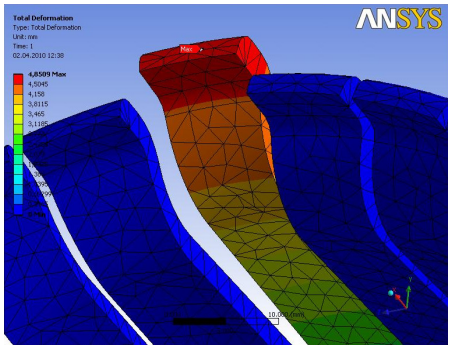
Шаг 7. Проведение расчётов.

После назначения материалов, закрепления модели, её нагружения и выбора расчётных параметров задача готова к вычислению. Следует выбрать позицию “Solve” (решить) в мастере расчётов.

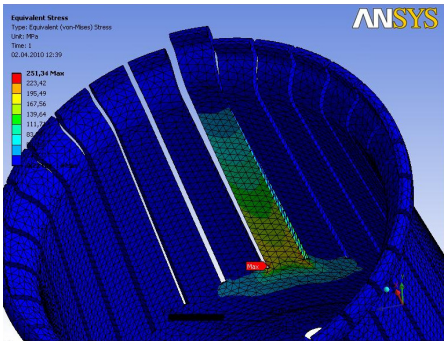
Шаг 8. Просмотр результатов.

По окончании расчётов можно посмотреть расчётные результаты. Расчётные результаты зависят от типа решаемой задачи. Результаты можно вывести контурами или векторами, а также анимировать (см. рисунки).

Представленная модель главного контакта является достаточно точной. Достоинством модели также является возможность наглядно представить результаты, что позволяет не прибегать к изготовлению контакта и проведению испытаний. Такая модель существенно экономит время и средства, затраченные на разработку главного контакта.



Деформация ламели



Механическое напряжение контакта

Список литературы

1. Кукеков Г.А. Выключатели переменного тока высокого напряжения. Л.: Энергия, 1972.
2. Официальный сайт компании “Modison”. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.modison.com/mcpl/mcpl_p1.htm, свободный.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИНДУКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ДРОБНЫМИ ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ

Честюнина Т.В.

Научный руководитель: Шевченко А. Ф., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: chestunina@ngs.ru

В последнее время большую популярность завоевывают синхронные машины с возбуждением от постоянных магнитов (СМПМ). Они обладают рядом преимуществ, таких как: отсутствие скользящих контактов, простота конструкции, отсутствие потерь на возбуждение. Особую группу среди машин данного типа составляют синхронные машины дробными зубцовыми обмотками с $q<1$ [1]. Применение этого типа обмоток позволяет при тех же габаритах повысить удельные показатели машины по сравнению с классическими обмотками. За счет простой конструкции обмотки упрощается технология изготовления машины, за счет малых лобовых частей уменьшается расход меди.

Индуктивные параметры электрической машины оказывают значительное влияние на её работу как в установившихся, так и в переходных режимах.

СМПМ с дробными зубцовыми обмотками имеют ряд отличительных особенностей, которые необходимо учитывать при расчете их параметров. К ним следует отнести особенности магнитодвижущей силы (м.д.с.), создаваемых такими обмотками [2], а также особенности конструкции индуктора генератора и наличия в его магнитной цепи постоянных магнитов.

Дробные зубцовые обмотки создают широкий спектр пространственных гармоник магнитного поля в воздушном зазоре рис.1. Гармоники поля отличные от основной, наводят в якорной обмотке э.д.с. основной частоты и не участвуют в передаче энергии от статора к ротору. Потокосцепление этих гармоник поля с якорной обмоткой относят к потокосцеплению рассеяния, а индуктивность относят к индуктивности дифференциального рассеяния. Таким образом, доля дифференциального рассеяния в полной индуктивности в машинах с дробными зубцовыми обмотками весьма существенна и может достигать 50% от полного индуктивного сопротивления. Неточное её определение приводит к значительной погрешности при расчетах.

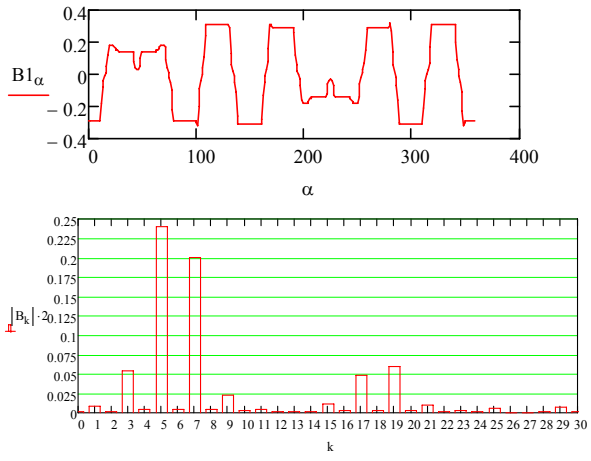


Рис. 1 Форма поля в воздушном зазоре создаваемая трехфазной обмоткой якоря с q=2/5 и его гармонический состав

Индуктивные сопротивления реакции якоря по продольной и поперечной осям x_{ad} и x_{aq} помимо величины и конфигурации воздушного зазора определяются конструкцией ротора синхронного генератора. Для ротора коллекторного типа индуктивное сопротивление по оси *d* определяется не только магнитным сопротивлением воздушного зазора, но и магнитным сопротивлением собственно магнита (в магнитах с высокой магнитно энергией $\mu_м \approx \mu_0$) (рис. 2-а).

Индуктивное сопротивление по оси *q* определяется величиной воздушного зазора и конструкцией поверхностей ограничивающих его (рис.2-б), при этом $x_{aq} > x_{ad}$ и эта разница может достигать значений 2÷4. Значительная разница магнитных сопротивлений по осям *d* и *q* обуславливает разный характер распределения поля и, следовательно, разную величину индуктивного сопротивления от гармоник поля отличающихся от основной.

С учетом вышеизложенного предлагается следующий расчет индуктивных сопротивлений СМПМ с ротором коллекторного типа и дробной зубцовой обмоткой.

Теория и вопросы расчета синхронных машин базируются на теории двух реакций (метод Блонделя). Полные синхронные индуктивности по осям *d* и *q* определяются соотношениями:

$$x_d = x_1 + x_{ad},$$

$$x_q = x_1 + x_{aq},$$

где x_1 – индуктивность рассеяния обмотки статора, x_{ad} и x_{aq} индуктивность реакции якоря по продольной и поперечной осям соответственно.

Расчетные соотношения для индуктивности реакции якоря с ротором коллекторного типа и дробной зубцовой обмоткой на статоре получаются с использованием схем замещения для магнитной цепи по осям *d* и *q* (рис. 2).

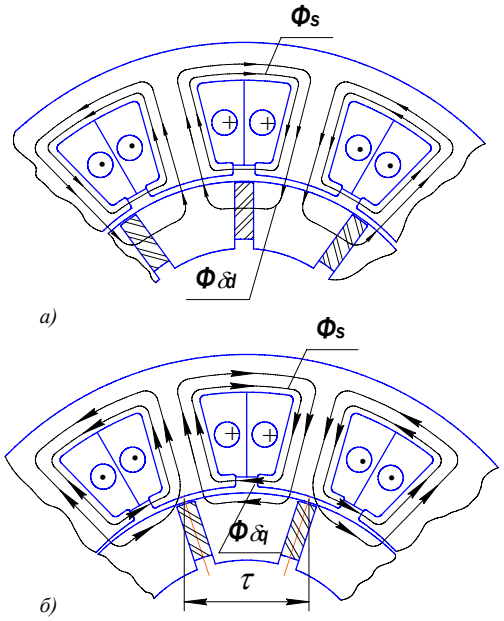


Рис. 2. Распределение потоков реакции якоря а) – по оси q , б) – по оси d

Индуктивные сопротивления реакции якоря определяются соотношениями :

- по продольной оси $x_{ad} = \dfrac{4 f (W_1 k_{p.об})^2 k_q}{p} \lambda_{ad}$;
- по поперечной оси $x_{aq} = \dfrac{4 f (W_1 k_{p.об})^2 k_q}{p} \lambda_{aq}$.

В этих соотношениях: $k_{p.об}$ – обмоточный коэффициент рабочей гармоники, W_1 – число витков фазы обмотки, k_d k_q – коэффициенты формы поля по продольной и поперечной осям соответственно, λ_{ad}, λ_{aq} результирующие проводимости по осям *d* и *q*.

Расчет результирующей проводимости по осям *d* и *q* проводятся исходя из схем замещения для магнитной цепи по следующим соотношениям:

проводимость воздушного зазора

$$\lambda_{\delta d} = \mu_0 \frac{\tau l_\delta}{k_\mu \delta},$$

проводимость магнита:

$$\lambda_{\text{м}d} = \mu_{\text{м}} \frac{2 b_{\text{м}} l_{\text{м}}}{h_{\text{м}}}.$$

результирующая проводимость по оси *d*

$$\lambda_{ad} = \frac{2 \cdot \lambda_{\delta d} \cdot \lambda_{\text{м}d}}{\lambda_{\delta d} + \lambda_{\text{м}d}}.$$

результирующая проводимость по оси *q*

$$\lambda_{aq} = \mu_0 \frac{\tau l_\delta}{k_\mu \delta}.$$

Здесь: μ_0 и $\mu_{\text{м}}$ – магнитные проводимости воздушного зазора и магнита соответственно, τ – полюсное деление, $b_{\text{м}}$, $h_{\text{м}}$, $l_{\text{м}}$ – ширина, высота и длина магнита соответственно, l_δ – длина воздушного зазора.

Индуктивные сопротивления рассеяния обмотки статора определяется как сумма пазового $x_{\text{п}}$, лобового $x_{\text{л}}$ и дифференциального $x_{\text{д}}$ рассеяния : $x_1 = x_{\text{п}} + x_{\text{л}} + x_{\text{д}}$.

Индуктивности пазового и лобового рассеяния якорной обмотки определяются общеизвестными методами [3].

Индуктивности дифференциального рассеяния $x_{\text{д}}$, обусловленные гармониками магнитного поля отличными от рабочей и вращающиеся не синхронно с ротором для осей *d* и *q* являются одинаковыми [4] и определяются соотношением:

$$x_{\text{д}} = \tau_{\text{д}} \frac{x_{ad} + x_{aq}}{2},$$

где $\tau_{\text{д}}$ - коэффициент дифференциального рассеяния, рассчитанный при равномерном зазоре и бесконечно малых открытиях пазов статора [3]:

$$\tau_{\text{д}} = \left(\frac{p}{k_{o.p}} \right)^2 \sum_\nu \left(\frac{k_{o.\nu}}{\nu} \right)^2 - 1,$$

где $k_{o.\nu}$ – обмоточный коэффициент для ν-й пространственной гармоники МДС статора, *p* – число пар полюсов машины, $k_{o.p}$ – обмоточный коэффициент для рабочей гармоники.

Индуктивные сопротивления, полученные при расчете предложенным методом хорошо сочетаются с результатами численного моделирования и экспериментальными данными, давая погрешность не выше 15%. И могут успешно применятся для проектных и поверочных расчетов.

Список литературы

1. Шевченко А. Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными q<1 зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов// Электротехника. – 2007. – №9. – С. 3-8.
2. Шевченко, А. Ф. Дробные обмотки с q<1 в многополюсных электрических машинах // Проблемы электротехники: сб.ст. – Новосибирск : Изд-во НЭТИ, 1993.
3. Туровский Я. Электромагнитные расчеты элементов электрических машин/ Перевод с польск.- М.: Электроатомиздат, 1986.-200 с.
4. Вольдек А. И. Дифференциальное рассеяние обмотки статора явнополюсной синхронной машины// Электричество, 1953, №7, с. 46-51 с ил.

ПИД-РЕГУЛЯТОР ТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Чумачев Д.А.

Научный руководитель: Аносов В.Н., д.т.н.

Новосибирский государственный технический университет, 630092, Россия
г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail:dchumachev@yandex.ru

На машиностроительных заводах и предприятиях других отраслей во внутри- и межцеховом транспорте деталей, полуфабрикатов, материалов широко используются электротележки с неподъемной платформой (электрокары). Электротележки не могут быть рационально заменены электро- или автопогрузчиками, которые выгодны лишь при работе на коротких плечах, когда решающее влияние на производительность оказывают механизированный захват и укладка груза. Электротележки являются не погрузо-разгрузочными, а транспортными машинами; они решают задачу транспортирования грузов в портах и аэропортах, в гостиницах, спортивных, туристических и торговых комплексах и эффективны при работе на больших плечах порядка 400 – 800м [1, 2].

В [3] была рассмотрена система прямого цифрового управления с векторной широтно-импульсной модуляцией синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ), которая обеспечивает гибкость в управлении электрической машиной за счет использования микроконтроллера. При этом в зависимости от области применения, характеристики привода могут быть настрое-

ны путем изменения алгоритма управления. Появляется возможность не только настроить алгоритм управления преобразователя с точки зрения потребительских свойств, но и учесть ограниченность запаса электроэнергии и особенность применяемого химического источника тока (ХИТ), то есть достичь максимально возможного пробега при заданном заряде аккумуляторной батареи, равно как и увеличить срок ее службы.

После появления «дешевых» микропроцессоров и аналого-цифровых преобразователей в промышленных ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, нейронные сети, генетические алгоритмы, методы нечеткой логики. Также усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной связью, со встроенной моделью процесса. Кроме функции регулирования в ПИД-контроллер были введены функции аварийной сигнализации, контроля разрыва контура регулирования и др.

В докладе приводятся результаты разработанной методики по расчету и настройке коэффициентов ПИД-регулятора тока в среде Mathcad, которая включает в себя: идентификацию, расчет параметров регулятора, настройку коэффициентов регулятора с целью обеспечения необходимой робастности системы и создания на этой основе – цифрового регулятора с требуемыми параметрами. Для идентификации объекта управления измеряется сигнал на его входе и реакция на его выходе. В системе с ПИД-регулятором реальный ток двигателя измеряется при помощи АЦП контроллера, а на вход системы поступают значения в виде массива задатчика тока. Сигнал ошибки поступает на пропорциональное, интегральное и дифференциальное звено ПИД-регулятора. Синтез регулятора заключается в определении значений коэффициентов по заданным требованиям к качеству системы. В табл.1 приведена малая часть значений тока в двух фазах двигателя, интегральной и дифференциальной ошибки. Соответственно, в строках [0,1] приведены оцифрованные значения токов в двух фазах двигателя, а в строках [2, 3] приведена величина интегральной ошибки и в строках [4, 5] величина дифференциальной ошибки. На рис.1 показана работа ПИД-регулятора за шесть фиксированных положений пространственного вектора выходного напряжения, где t – период дискретизации, а ток представлен в единицах микроконтроллера (8-битное значение тока).

Таблица 1

Массив значений тока, интегральной и дифференциальной составляющей для шести секторов векторной широтно-импульсной модуляции

№	0	1	2	3	4	5	6
0	138.625	138.821	139.081	139.4	139.662	140.015	140.3
1	138.625	138.011	137.541	136.912	136.497	135.989	135.688
2	0	-0.112	-0.173	-0.189	-0.214	-0.195	-0.202
3	0	-0.412	-0.668	-0.888	-0.945	-0.993	-0.938
4	0	0.09	0.085	0.046	0.038	$256\cdot10^{-4}$	$117\cdot10^{-3}$
5	0	0.33	0.336	0.311	0.169	0.106	...

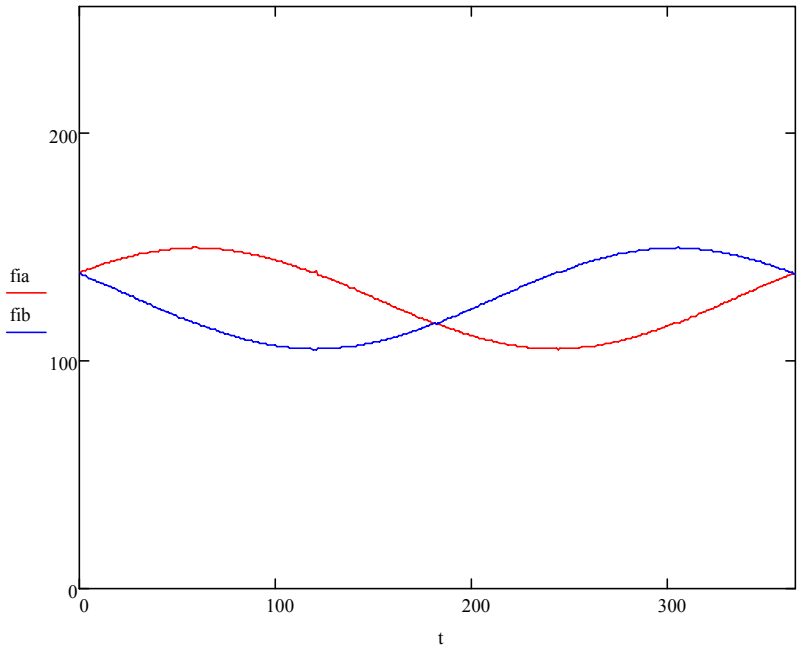


Рис. 1. Оптимальная работа ПИД-регулятора с коэффициентами $k_p = 0,25; k_i = 0,5; k_d = 0,4$



а) б)

Рис. 2. Осциллограммы тока СДПМ при цифровой реализации на макетном образце: а) ток в фазе «a»: б) ток в фазе «b»

Список литературы

1. Мачульский И.И., Алепин Е.А. Машины напольного безрельсового транспорта. – М.: Машиностроение, 1982. – 232с., ил.
2. Погрузчики: Справочник / Г.П. Ефимов, Е.А. Алепин, М.А. Зискинд, Я.Г. Коковский, И.И. Мачульский; Под ред. Г.П. Ефимова. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 240с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 238.
3. Чумачев Д.А. Система прямого цифрового управления с векторной широтно-импульсной модуляцией синхронным двигателем с постоянными магнитами // Транспорт: наука, техника, управление. Научно-информационный сборник, РАН ВИНИТИ. – 2010. – №8. С. 46 – 48.

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MATHCAD

Шабунько В.В., Букрина И.И.

Научный руководитель: В.А. Тюков, д.т.н., проф.

Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: nika_nsk@ngs.ru

В этой работе проводится расчет и построение механических характеристик асинхронного двигателя с частотным регулированием с помощью программы MathCAD по заданному алгоритму и их последующий анализ, оценка возможности использования частотно-регулируемого асинхронного двигателя для тяговых электроприводов.

Выбор асинхронного двигателя осуществляется на основе анализа его характеристик – рабочих и механической. Наибольшее значение для оценки свойств двигателя имеет механическая характеристика, которая непосредственно влияет на производительность агрегатов, плавность протекания технологических процессов. Характеристика представляет собой графическую зависимость частоты вращения ротора ω_2 от момента М.

Для большинства приводов разгон осуществляется при постоянном моменте, т.е. до некоторого значения частоты вращения осуществляют регулирование частоты f_1 и U_1, затем регулирование частоты вращения производят только частотой f_1 (при этом электромагнитная мощность и напряжение U_2 постоянны). Поддержание постоянства мощности при регулировании частоты вращения обеспечивает система управления, задающая частоту f_1 с заданным превышением над частотой ротора f_2, т.е. $\frac{f_1 - f_2}{f_1} = const$.

Алгоритм построения механических характеристик.

Расчет начинают с характеристики $U_1 = U_{1н} \in P_{эн}$.

Для получения первой точки характеристики определяют электромагнитную мощность

$$P_{эмн} = P_1 - \Delta P_{э1н} - \Delta P_{сн},$$

где $P_1 = 3U_1 I_1 \cos\varphi_1$, $\Delta P_{э1н}$ – номинальные потери в обмотке статора, $P_{сн}$ – номинальные потери в стали статора.

Далее определяется электромагнитный момент $M_{эн} = \frac{P_{эн}}{\omega_{1н}}; \omega_{1н} = 2\pi f_{1н} / p;$

магнитный поток

$$\Phi_н = \frac{0.96U_{1н}}{4.44 f_{1н} w_1 k_{об1}};$$

частота тока

$$f_{2н} = \frac{\sqrt{2} r_2 M_{эн}}{p K_в \Phi_н^2};,$$

частота вращения ротора

$$\omega_{2н} = \frac{2\pi(f_{1н} - f_{2н})}{p}$$

и момент на валу

$$M_{2н} = M_э - \frac{\Delta P_{э2н} + \Delta P_{мехн} + \Delta P_{допн}}{\omega_{2н}},$$

где $\Delta P_{э2н}$ – номинальные потери в обмотке ротора; $\Delta P_{мехн}$ – номинальные механические потери; $\Delta P_{допн}$ – номинальные добавочные потери [1]. Далее, задаваясь значениями тока статора f_1 не равными его номинальному значению $f_{1ном}$, получают следующие точки механической характеристики. На рисунке 1 приведен пример расчета механической характеристики.

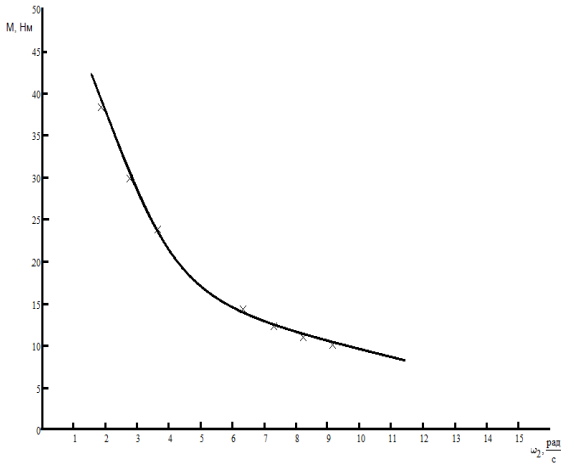


Рис. 1. Механическая характеристика асинхронного частотно-регулируемого двигателя при изменении частоты регулирования при $U_1 = U_{1н} \in P_{эн}$

Чтобы определить влияние изменения параметров сети, а именно, напряжения и частоты питающей сети строят новые характеристики. Для этого задаются значением электромагнитной мощности, отличной от номинальной, т.е. $P_э \neq P_{эн}$. Рассчитывают новые значения частоты f_1, а затем напряжения U_1. Полученные характеристики 2,3 и 4 получены при уменьшении напряжения соответственно на 10, 20 и 30 В (рис. 2).

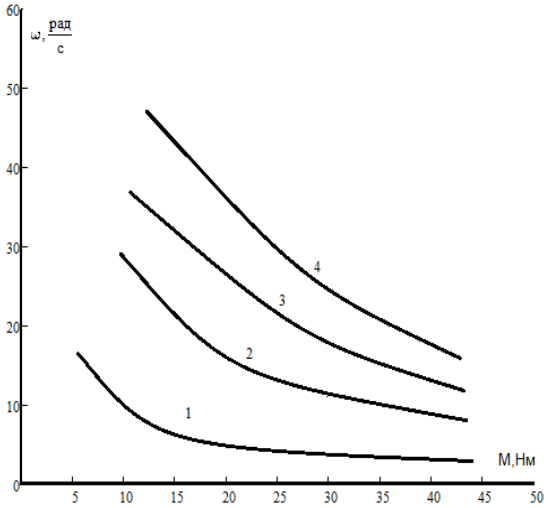


Рис. 2. Механические характеристики асинхронного частотно-регулируемого двигателя

Данные характеристики позволяют сделать вывод об успешной возможности использования частотно-регулируемых асинхронных двигателей для тягового электропривода. К тому же ЧРАД на основе преобразователя частоты обеспечивают точность отработки технологического процесса и плавность регулирования.

Список литературы

1. Тюков В.А. Электромеханические системы: учеб. пособие / В.А.Тюков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 180 с.
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин/И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:Высш. шк.,2005. – 767 с.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ГОРНОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА АМ-75

Шевчук В.П.

Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета
678170, Россия, РС (Я), г. Мирный, ул. Тихонова, 5/1
E-mail: SheVP@rambler.ru

При решении задачи по обеспечению и контролю показателей надежности электрических машин (ЭМ) на стадиях изготовления и эксплуатации необходима информация о виде закона распределения, времени безотказной работы и о влиянии условий эксплуатации на показатели надежности электродвигателей. Имеющаяся в настоящее время информация недостаточна и, учитывая, что развитие горнодобывающих предприятий характеризуется существенными количественными и качественными изменениями (постоянно увеличивается энерговооружённость рудников, усложняются энергетические системы, повышается степень их автоматизации), вследствие чего возрастает интенсивность отказов электрооборудования, то рассмотрение данной темы является актуальной.

Целью работы является исследование и анализ показателей эксплуатационной надежности электрических машин и элементов электротехнического оборудования горнопроходческого комбайна АМ-75.

Характер технологических операций, выполняемых горнопроходческим комбайном АМ-75, позволяет рассматривать его работу как состоящую из нескольких совмещенных во времени функций. Поэтому, с точки зрения информационного анализа, горнопроходческий комбайн рассматривался как совокупность более простых объектов.

В соответствии с принятой системой формирования эксплуатационных данных по оценке надежности ЭМ [1] была рассмотрена информация о наработках до цензуирования и до отказа технологического оборудования, эксплуатирующегося в подземных рудниках. Цензурирование значений наработок позволило избежать погрешностей, связанных с выходом ЭМ из эксплуатации по причинам, не связанным с надежностью этих объектов.

Обработка массивов статистической информации производилась с помощью разработанного программно-вычислительного комплекса «Оценка надежности электрических машин по эксплуатационным данным». По результатам эксплуатации рассчитаны эмпирические кривые вероятности безотказной работы P(t) и интенсивности отказа $\lambda(t)$ для периода эксплуатации t = 0 – 16500 ч.

Характер технологических операций, выполняемых горнопроходческим комбайном АМ-75, позволил рассмотреть его работу как состоящую из нескольких не совмещенных во времени функций. Поэтому с точки зрения информационного анализа горнопроходческий комбайн рассматривался как совокупность более простых объектов. Исходя из этого, детализировалась работа следующих структурных элементов комбайна: электродвигатель режущего органа с водяным охлаждением d2PRWX250/31-4KL, P=200 кВт; электродвигатель гидравлического привода с воздушным охлаждением SP2225L-4, P=70 кВт; электродвигатель привода погрузочного устройства и конвейера с водяным охлаждением 2SG4225S-4 (по 2 шт.), P=36 кВт; электродвигатель станции водяных насосов с воздушным охлаждение dAM132SX4AX (по 3 шт.), P=5,5 кВт; магнитная станция комбайна, включающая элементы системы автоматики и релейной защиты.

При использовании ретроспективной информации были проанализированы отказы по 12 горнопроходческим комбайнам подземных рудников. Причины потери способности элементов электротехнического оборудования выполнять заданные функции классифицировались по организационным признакам следующим образом (см. рисунок).

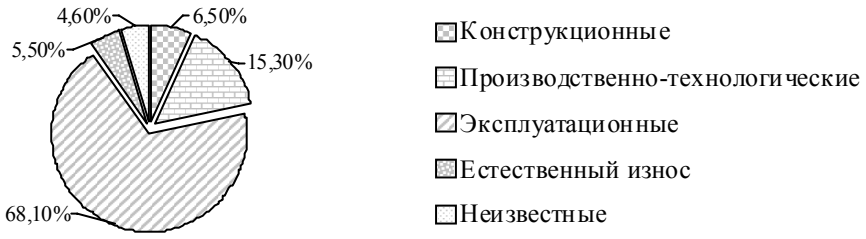


Рис. Процентное соотношение отказов по АМ-75

Результаты наблюдений показали, что если рассматривать надежность с позиции эксплуатационных отказов, то для электродвигателей и всех активных механических элементов электропривода горнопроходческих комбайнов характерен случайный резкопеременный циклический режим нагружения, приводящий в результате к поломкам механических элементов из-за интенсивного накопления усталостных повреждений, а также тепловому и вибромеханическому износу изоляции обмоток, выплавлению стержней короткозамкнутого ротора и другим неисправностям. Отражением эксплуатационных причин явились также действующая система технологической культуры эксплуатации. Из числа ошибок персонала следует отметить следующее:

1. Нередко отключаются датчики дифференциально-температурной защиты, что приводит к эксплуатации электродвигателя при недопустимо высокой нагрузке и чрезмерной частоте пусков. Следствием этого является быстрый вывод обмотки статора из строя. В основу данных случаев положено выполнение производственного плана, несмотря на действительное технического состояния оборудования;

2. Применяются несовместимые марки консистентных смазок, следовательно, перемешиваясь в подшипнике они, разлагаются, превращаясь в жидкую массу, и тем самым вызывают дефект подшипников.

Конструкционные причины явились следствием ряда факторов:

1. Неудачная конструкция соединительной проставки между электродвигателем и редуктором. При работе происходило нагнетание смазки с подшипникового узла электродвигателя по приводному концу вала внутрь полости статора и на ротор, что приводило к увлажнению обмоток и к снижению сопротивления изоляции;

2. Недостаточно эффективная система водяного охлаждения электродвигателя режущего органа.

Производственно-технологические причины были обусловлены следующими моментами: пакованная электротехническая сталь статора состояла из нецельных штампованных элементов, было отмечено наличие посторонних предметов в электродвигателе, нарушение герметичности охлаждающей рубашки и т.д.

При детальном анализе функционирования элементов электротехнического оборудования горнопроходческого комбайна АМ-75 получены кривые зависимости интенсивности отказов λ от времени эксплуатации.

Характеристики интенсивности отказа электродвигателя режущего органа и электропривода погрузочного устройства и конвейера имеют явно выраженный период приработки первые 1,5 года и нормальной эксплуатации последующие периоды. Это свидетельствует о наличии не выявленных при испытаниях дефектов, связанных с отсутствием на заводе-изготовителе наиболее эффективных методов контроля, что приводит к перерастанию дефектов в отказ. Гистограмма и характеристика отказов магнитной станции комбайна не имеет явно выраженной приработки и может быть принятой постоянной.

Полученные показатели надежности, определенные на срезе эксплуатационной информации по заданным критериям оценки технического состояния, позволяют учитывать вклад каждого элемента электротехнического оборудования в общую вероятность безотказной работы горнопроходческого комбайна АМ-75. Для удобства пользования полученные результаты представлены в виде карты надежности.

Для электроприводов горно-шахтного оборудования, работающих в забоях рудников, характерна высокая динамика нагрузки, сформированная сложными стохастическими колебаниями на частотах менее 0,5 Гц и периодическими на частотах 0,5-15 Гц. Периодические колебания вызываются в большинстве случаев режущими органами горно-шахтного оборудования из-за малых коэффициентов инерции и стохастическими воздействиями, являющимися следствием внешних факторов. Внешние факторы обусловлены в основном неоднородностью разрушаемого массива, воздействием горного давления, изменением скорости подачи исполнительного органа, действием оперативного персонала и др. Кроме того, к этому добавляется неблагоприятное влияние таких факторов как высокая влажность, запыленность, агрессивность среды [2].

Исходя из наиболее вероятной физической картины отказов в каждой из рассмотренных групп, а также на основе визуального анализа формы эмпирических-кривых $P(t)$, $\lambda(t)$ приняты гипотезы о виде закона распределения времени безотказной работы для каждой группы отказов.

На основе полученных вероятностей безотказной работы элементов электротехнического оборудования разработана информационная карта надежности по горнопроходческому комбайну АМ-75. Систематизация информационных данных позволяет повысить точность эксплуатационных показателей надежности. Расчетные значения являются основой для прогнозирования сроков предупредительных текущих ремонтов электродвигателей и электротехнических элементов горно-шахтного оборудования.

Список литературы

1. Муравлев О.П., Шевчук В.П., Гусев В.В. Информационное обеспечение для оценки надежности электрических машин // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – №7-8/1. – С. 183-191.
2. Разгильдеев Г.И., Серов В.И. Безопасность и надежность взрывозащищенного электрооборудования. – М.: Недра, 1992- – 207 с.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЯМ ДЛЯ ЛИФТОВ

Шпет Н.А.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shpet_Nataly@sibmail.com

Лифты являются важнейшим средством современного пассажирского транспорта: в России ежедневно лифтами пользуются свыше 100 миллионов пассажиров.

Приводы, применяемые в лифтовых системах, должны соответствовать ряду требований:

- удобство передвижения – движение кабины лифта должно быть плавным, с ограничениями по ускорению и рывкам;
- точность остановки – при остановке лифта на лестничной площадке требуется высокая точность (например, для больничных лифтов до 2 мм);
- обратная связь – в современных системах применяется обратная связь с целью контроля скорости и положения, достижения удобства передвижения и точности остановки;
- разгон и замедление – для лифтовых систем характерно большое число пусков и остановок (некоторые системы рассчитаны на 240 пусков в час) [2].

Приводы лифтов состоят из электрической управляющей схемы, двигателя и механически соединяются с нагрузкой, они не требуют непрерывного регулирования частоты и поэтому оборудованы асинхронными двухскоростными двигателями с короткозамкнутым ротором серий 4АН и 5А. Надежность привода в значительной степени определяется надежностью двигателей. И, как следствие, всякие отказы электрических машин наносят ощутимый материальный ущерб.

Проблема обеспечения надежности связана со всеми этапами создания электрических машин и периодом их практического использования.

При проектировании для обеспечения заданной надежности необходимо предусматривать:

- использование качественных активных и конструктивных материалов (особенно теплостойкой корпусной изоляции и обмоточных проводов);
- применение эффективных средств охлаждения для снижения рабочей температуры машины;
- рациональный выбор электрических и магнитных нагрузок с учетом требований получения, как заданной надежности, так и обеспечения минимальных массогабаритных показателей (эти требования обычно противоречивы);
- использование конструкций отдельных узлов и элементов машины с учетом требований эксплуатации;
- применение более простых конструкций машины в целом и отдельных ее узлов;
- специальных защитных устройств, предотвращающих развитие аварийной ситуации, встраиваемых датчиков для диагностики состояния различных узлов и элементов в процессе работы.

При производстве электрических машин для обеспечения заданной надежности должны выполняться требования, связанные с поддержанием технологической дисциплины, основные из которых следующие: периодическая проверка качества и надежности готовых изделий; должный контроль по операциям и при выпуске готовых изделий; строгое соблюдение режимов в технологическом процессе и технологии сборки и монтажа; отбраковка материалов и узлов, пострадавших при транспортировке или хранении; повышение культуры производства; недопущение замены сортности материалов и комплектующих изделий; если такая замена произведена, то она не должна; снижать качества (качество должно всегда соответствовать нормативно-технической документации); контроль физических свойств, параметров и характеристик материалов и комплектующих изделий (например, обмоточных проводов, подшипников), поступающих от предприятий-поставщиков; введение контрольных карт.

При эксплуатации электрических машин для обеспечения заданной надежности предъявляются требования к системе технического обслуживания и ремонта, средствам ее материально-технического оснащения, формированию состава запасных частей, инструментов и принадлежностей, квалификации обслуживающего персонала, соблюдению правил консервации, хранения и транспортировки [3, 4].

В ряде случаев к отказам приводит несоответствие параметров (мощности, частоты вращения, пусковых и тормозных моментов) электродвигателей и условий эксплуатации, так как превышение допустимых уровней параметров воздействующих на работу элементов электрооборудования ускоряет их износ, а при критических значениях вызывает их отказ, который требует внепланового ремонта.

Надежная работа двигателя может быть гарантирована лишь при условии правильного его выбора и применения.

При практическом выборе двигателей для привода лифтов сложно установить строго определенную последовательность этапов выбора и по этой причине пока не удается автоматизировать процесс даже с помощью имеющихся в настоящее время средств машинной обработки данных. Усложняет выбор и то, что по количеству типоразмеров серия асинхронных двигателей для лифтов насчитывает около двух десятков типоразмеров и применяется для привода лифтов грузоподъемностью от 240 до 5000 кг со скоростью перемещения от 0,25 до 1,6 м/с.

Главным участником процесса выбора двигателей является, как и прежде, человек. Он интуитивно связывает между собой отдельные этапы работы по выбору двигателей и находит рациональное решение чаще всего интерактивным путем.

Выбор двигателя производится с учетом тех процессов движения привода, которые необходимо реализовать с учетом условий их работы. Электромеханические и тепловые характеристики выбранного двигателя используются в дальнейшем для нахождения параметров привода лифта.

Необходимо проверить, удовлетворяет ли моментная характеристика двигателя требованиям привода:

- является ли точка пересечения характеристик двигателя и исполнительного механизма устойчивой рабочей точкой;
- гарантировано ли превышение начального пускового момента двигателя $M_п$ над максимальным моментом сопротивления нагрузки $M_с$ в состоянии покоя;
- обеспечивается ли превышение максимального вращающего момента двигателя $M_м$ над максимальным требуемым от двигателя моментом;
- обеспечивается ли требуемая динамика процесса перемещения груза при работе лифта.

Необходимо проверить, удовлетворяет ли конструкция двигателя требованиям привода к функционированию в заданном режиме работы:

- обеспечивает ли система охлаждения эффективный отвод тепла, выделяемого в активных частях двигателя;
- обеспечивает ли применяемая защита сохранность двигателей в аварийных режимах;
- удовлетворяет ли выбранная степень защиты и климатическое исполнение условиям работы привода.

Перечисленные задачи решаются путем грамотного выбора полезной мощности $P_н$, номинального вращающего момента $M_н$ и номинальной частоты вращения $n_н$ двигателя, которые можно определить исходя из ниже приведенных формул [1].

Момент сопротивления на валу [Н·м]:

$$M_с = M_н = 5{,}22 \cdot \frac{(1-\varphi)}{\eta_i \cdot \eta_ш} \cdot Q_н \cdot D_ш \cdot i_р \cdot i_П ,$$

где φ – коэффициент уравновешивания груза; η_i, $\eta_ш$ – КПД привода (редуктора) и шахты; $Q_н$ – номинальная нагрузка, кг; $D_ш$ – диаметр канатоведущего шкива, м; $i_р$ – передаточное число редуктора; $i_П$ – кратность полиспаста.

Синхронная частота вращения рабочей обмотки [1/мин]:

$$n_{с.б} = \frac{60 \cdot \nu_s}{\pi \cdot D_ш \cdot i_р} ,$$

где ν_s – скорость перемещения лебедки.

Тогда требуемая мощность двигателя [Вт] на обмотке рабочей (большей) скорости определяется по:

$$P = 0{,}1047 \cdot M_н \cdot n_{с.б} .$$

Представленные формулы для оценки вращающего момента и требуемой мощности двигателя интересны в том отношении, что в них отсутствуют параметры двигателя, а расчет проводится только по данным об исполнительном механизме.

Конструкция элементов активных частей лифтового двигателя определяется требованиями к его пусковым и тормозным характеристикам.

Необходимые значения пусковых и тормозных моментов [Н·м] находятся по формулам:

- для большой скорости

$$M_{п.б} = 6{,}9 \cdot \frac{(1{,}3-\varphi)}{\eta_П} \cdot Q_н \cdot D_ш \cdot i_р \cdot i_П ,$$

- для малой скорости

$$M_{п.м} = 6{,}9 \cdot \frac{(1{,}2-\varphi)}{\eta_i} \cdot Q_н \cdot D_ш \cdot i_р \cdot i_П ,$$

- тормозной момент

$$M_Т = 6{,}9 \cdot \left[\frac{(1{,}3-\varphi)}{\eta_П^2} - 2 \cdot (1-\varphi) \right] \cdot Q_н \cdot D_ш \cdot i_р \cdot i_П .$$

Решение проблемы повышения эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов требует четкого представления о предъявляемых требованиях к их техническому состоянию и условиях эксплуатации. Поэтому в техническом задании на проектирование и технических условиях на эксплуатацию должны указываться технико-экономические характеристики, регламентирующие работу асинхронных двигателей для лифтов в пределах заданных параметров.

Список литературы

1. Афонин В.И. Предварительный выбор двигателей для привода редукторных лебедок лифтов // Электротехника. 2008. №11. С. 53-57.
2. Афонин В.И., Балабанов И.Н. Регулируемый электропривод лифтов с асинхронными электродвигателями // Электротехника. 2006. №5. С. 37-42.
3. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.: ил.
4. Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Надежность электрических машин / Л., «Энергия», 1976. – 248 с.: ил.

МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ ДВИЖЕНИЯ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Плотникова А.С., Леонов С.В., Полунин Д.В.

Научный руководитель: Леонов С.В., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30
E-mail: aktyna@sibmail.com

Введение

В современном мире каждый человек старается по возможности более рационально использовать свое свободное время. Однако, как мы тратим попусту время, стоя в автомобильной пробке. Проблему можно решить, купив себе двухколесное средство передвижения, оставив автомобиль лишь для семейных поездок. Под описание двухколесного средства передвижения подходят мотоцикл и мотороллер. Но такие средства передвижения имеют, как правило, двигатель внутреннего сгорания и занимают чуть больше места, чем мы можем выделить для них в своих домах, а оставлять на улице дорогие модели рискнет не каждый.

На помощь приходит самокат, оборудованный двумя колесами по бокам корпуса и электрическим двигателем. Название столь изящного изобретения – Segway, что означает «плавный переход из одного состояния в другое». Фактически, являясь водителем Segway, вы остаетесь пешеходом, просто заметно модернизируете способ своего передвижения. Но есть и недостаток этого самоката – это цена. В наше время не каждый человек может позволить себе потратить более трёхсот тысяч рублей на двухколёсную машинку.



Рис. 1. Segway

Краткий обзор

Мехатронные модули находят все более широкое применение в различных транспортных системах. К этой новой для отечественной промышленности группе транспортных средств относятся электровелосипеды, роллеры, инвалидные коляски, электромобили с автономными источниками питания, сигвеи. Сигвей (англ. Segway) – электрический самокат (скутер) с двумя колёсами, расположенными слева и справа от водителя.

Название скутера – «Segway» – происходит от музыкального термина «segue», что в переводе означает «следовать, идти за, плавно переходить». Скутер Segway превращает своего владельца из обычного пешехода в более «продвинутого» участника дорожного движения, позволяя ему передвигаться быстрее, дальше и с меньшей затратой сил.

Разработку таких мехатронных систем ведет Научно-инженерный центр "Мехатроника" в кооперации с рядом организаций.

Легкие транспортные средства (ЛТС) являются альтернативой транспорту с двигателями внутреннего сгорания и используются в настоящее время в экологически чистых зонах (лечебно-оздоровительных, туристических, выставочных, парковых комплексах), а также в торговых и складских помещениях.

Задачи по реализации проекта

1. Проектирование и оптимизация мехатронного модуля движения с целью повышения эффективности электромеханического преобразователя энергии с позиции минимизации энергетических (массогабаритных) характеристик;
2. Расчет и проектирование методом расчёта магнитных цепей;
3. Оптимизация двигателя.

Назначение и цели создания модуля

Необходимо разработать ММД колеса предназначенный для дальнейшей реализации данного модуля в двухколесном транспортном средстве для пожилых людей, имеющих проблемы с передвижением. Также данное средство можно будет использовать:

в личных целях – для передвижения по тротуарам, аллеям, а также удачно маневрировать в местах скопления велосипедистов, людей и машин.

в коммерческих целях – можно применять на больших производственных фабриках и складах. Также подходит как для использования в туризме, так и для доставки корреспонденции, небольших посылок, товаров.

Характеристика ММД колеса

Модуль состоит из следующих элементов: колесо, аккумулятор, двигатель.

Технические характеристики ММД колеса:

- Скорость – 25 км/ч
- Масса – около 40 кг
- Максимальная нагрузка на платформу – 140 кг
- Масса двигателя 4,7 кг,
- Аккумуляторная батарея 24В, 15 А*ч,
- Размер колеса 0.25 м.

Новый скутер i2 оснащен литиево-ионными аккумуляторами Saphion®. Эти аккумуляторы продолжительного использования позволяют преодолевать до 38 км на одном заряде (расстояние зависит от типа почвы, стиля вождения и загрузки скутера). Литиево-ионные аккумуляторы Saphion не требуют практически никого ухода, отличаются длительным сроком службы и могут работать в условиях низких температур (до -10°C). Рулевой столб LeanSteer и отделка скутеров Segway i2 доступна в двух цветовых решениях: глянцевый белый и анодированный черный.

В дополнение к принципу избыточности, лежащему в основе всех электроскутеров Segway, модель i2 оснащена стандартными функциями, среди которых беспроводной контроллер InfoKey, позволяющий пользователю следить за скоростью, пройденным расстоянием, уровнем заряда аккумуляторов и активировать противоугонную сигнализацию. Для удобства пользователя высота рулевого столба LeanSteer легко регулируется, что также позволяет поместить скутер в багажник практически любого автомобиля.

Для выбора двигателя необходимо рассчитать необходимые значения

Для правильной работы ММД необходимо чтобы:

1. Мощность выбранного двигателя должна быть больше или равна требуемой мощности:

$$P_{двиг.} \geq P_{треб.}$$

2. Максимальный крутящий момент выбранного двигателя должен быть больше или равен требуемому моменту:

$$M_{\max} \geq M_{треб.}$$

3. Требуемая сила тяги больше или равна расчетной силе тяги:

$$F_{треб} \geq F_{расч.}$$

В процессе решения задачи была создана компьютерная модель синхронного двигателя, позволяющая получить все интересующие нас характеристики объекта, такие как крутящий момент, электромагнитные потери в экране и др.

Расчёт выполнен на основе электромагнитной схемы замещения магнитной системы (рис.2). Расчетная система нелинейных алгебраических уравнений выводится по схеме замещения и решается с учетом нелинейности характеристик сред методом простых итераций.

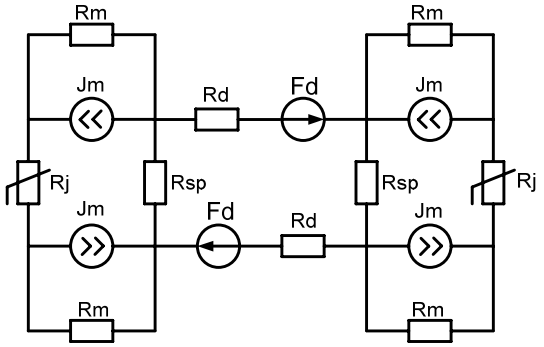


Рис. 2. Схема замещения

На схеме приведены следующие обозначения: Fd – МДС обусловленная действием наведенных в экране электромагнитных токов; Jm – источник магнитного потока, создаваемого высококоэрцитивным постоянным магнитом; Rd – магнитное сопротивление воздушного зазора; Rsp – магнитное сопротивление потоку рассеяния полюсов; Rm – внутреннее сопротивление магнита; Rj – магнитное сопротивление ярма.

Для расчета статических характеристик двигателя был использован прикладной пакет Matlab.

Для нахождения наилучших соотношений геометрических характеристик исследуемой машины необходимо использование метода оптимизации, позволяющего снизить массогабаритные показатели и определить минимальные габариты постоянных магнитов с заданными механическими характеристиками.

Проанализировав наиболее распространенные алгоритмы и методы оптимизации был выбран метод Монте-Карло для поиска наилучших геометрических характеристик двигателя.

Данный метод оптимизации направлен на максимизацию заданного параметра за счет подбора произвольных комбинаций. По своей сути, метод Монте-Карло ищет методом, основанным на генерации случайных чисел, поэтому не всегда этот метод найдет значения, которые действительно максимизируют заданный показатель, например, магнитный поток. Тем не менее, метод Монте-Карло сможет быстрее найти лучшие параметры при очень большом количестве оптимизационных параметров, чем метод полного перебора. По сравнению с другими методами одно из важных преимуществ метода Монте-Карло это то, что число независимых переменных может быть неравно числу ограничений.

Список литературы

1. Егоров О.Д. Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Рассчет и конструирование. Учебное пособие. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004. – 304 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНОЙ МАГНИТНОЙ МУФТЫ ДИСКОВОГО ТИПА

Полунин Д.В., Леонов С.В.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: polynin@sibmail.com

В ряде областей промышленности существует потребность в использовании герметичных электромеханических систем. Ранее были рассмотрены основные направления развития, конструктивное исполнение и принципы проектирования данного класса машин.

Согласно нормам технической эксплуатации, подтяжка сальников должна производиться через 4-5 часов работы, а замена набивки – через 5-8 суток. Торцевые уплотнения более долговечны (срок службы колеблется от 20 до 60 дней), но и это не исключает необходимости постоянного наблюдения за их работой. Учитывая агрессивность веществ, применяемых в технологиях ядерной энергетики, наилучшим решением задачи герметизации может быть установка немагнитного экрана в воздушном зазоре магнитной муфты.

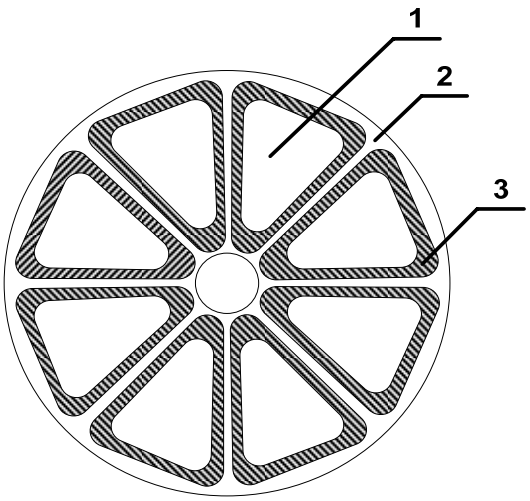


Рис. 1. Герметичная магнитная муфта дискового типа: 1 – полумуфта; 2 – ярмо; 3 – магнит

Вопрос “абсолютной” герметизации оборудования можно решить путем применения специально спроектированных герметичных электромеханических устройств. К ним можно отнести магнитные муфты и электрические машины, имеющие в конструкции немагнитный экран установленный непосредственно в воздушном зазоре.

В герметичной муфте (рис.1) синхронное вращение выходному валу передается через сплошную стенку (экран) с помощью системы постоянных магнитов.

Достоинством магнитных муфт считается использование в их составе редкоземельных постоянных магнитов, позволяющих создавать в единице объема высокий магнитный момент недостижимый электромагнитным способом. Разработка и использование магнитных герметичных муфт позволяет максимально упростить и выполнить более надежной конструкцию электромеханических устройств, так как основная часть муфты находится вне рабочей зоны.

В процессе решения задачи была создана компьютерная модель магнитной муфты, позволяющая получить все интересующие нас характеристики объекта, такие как крутящий момент, электромагнитные потери в экране и др.

Расчёт выполнен на основе электромагнитной схемы замещения магнитной системы синхронной муфты (рис.2). Расчетная система нелинейных алгебраических уравнений выводится по схеме замещения и решается с учетом нелинейности характеристик сред методом простых итераций.

Для расчета статических характеристик магнитной муфты был использован прикладной пакет Matlab.

По итогам расчета определены зависимости максимального момента передаваемого муфтой при изменении воздушного зазора и внешнихгабаритных размеров, а также определены геометрические характеристики которые могут быть выбраны за независимые переменные.

На рис. 2 приведена схема замещения магнитной муфты, где: λ_δ – магнитная проводимость воздушного зазора, λ_ρ – магнитная проводимость полюса, λ_{ps} – магнитная проводимость рассеяния полюсной системы, λ_a – магнитная, λ_b – магнитная, λ_c - магнитная проводимость магнита, λ_{jb} – магнитная проводимость ярма, λ_{jc} – магнитная проводимость ярма, F_a – МДС магнита, $2F_b$ – ДС постоянного магнита, $2F_c$ – МДС

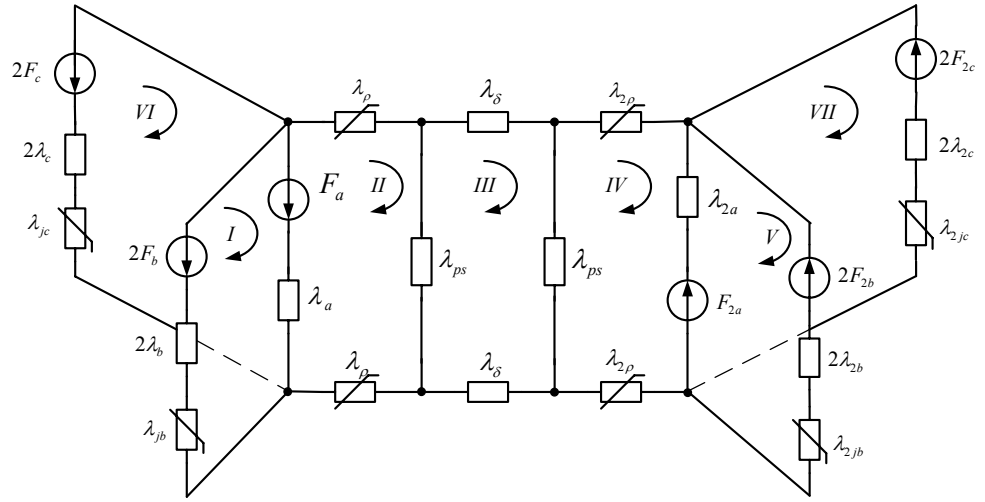


Рис. 2. Схема замещения магнитной системы муфты

Для нахождения наилучших соотношений геометрических характеристик исследуемой магнитной муфты необходимо использование метода оптимизации, позволяющего снизить массогабаритные показатели и определить минимальные габариты постоянных магнитов с заданными механическими характеристиками.

В методе Монте-Карло используется генератор случайных чисел. Обычно современная ЭВМ имеет стандартную программу, генерирующую случайные числа, равномерно распределенные в интервале от нуля до единицы, т.е. «разыгрывающую» значения непрерывной случайной величины, принимающей с равной вероятностью все значения в интервале (0, 1). Каждое обращение к этой программе дает одно такое число с определенным числом знаков после запятой, зависящим от класса ЭВМ.

Для правильной постановки задачи оптимизации необходимо:

- наличие объекта оптимизации и цели оптимизации. При этом формулировка каждой задачи оптимизации должна требовать экстремального значения лишь одной величины, т.е. одновременно системе не должно приписываться два и более критерия оптимизации, т.к. практически всегда экстремум одного критерия не соответствует экстремуму другого;
- наличие ресурсов оптимизации, под которыми понимают возможность выбора значений некоторых параметров оптимизируемого объекта. Объект должен обладать определенными степенями свободы – **управляющими воздействиями**;
- возможность количественной оценки оптимизируемой величины, поскольку только в этом случае можно сравнивать эффекты от выбора тех или иных управляющих воздействий;
- учет ограничений.

За независимые переменные были приняты такие геометрические размеры как:

- ширина паза между полюсами;
- толщина ярма;
- размеры полюса;
- число пар полюсов;
- В качестве ограничений будут выбраны такие параметры муфты как:
- диаметр полумуфты;
- внутренний диаметр полумуфты;
- величина воздушного зазора.

А целевой функцией при оптимизации выбран максимальный момент, при котором муфта гарантированно не выйдет из синхронизма.

Обычно оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта (аппарат, цех, завод).

При использовании указанного метода необходимо большое количество раз моделировать случайный процесс и определить путем статической обработки значение нужной характеристики.

Список литературы

1 Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты: учебное пособие. – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
2 Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины: учебное пособие. – М.: Высш. Шк., 1990. – 416 с.
3 Леонов С.В., Фокин В.В., Муравлев О.П. Расчёт статических характеристик низкоскоростного синхронного двигателя с концентрацией магнитного потока // Известия вузов электромеханика, 2009. – №6.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК РАЗМЕЩЕНИЯ И МОЩНОСТИ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ "КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ" ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ И УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ ВЕЛИЧИНЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
Акимжанов Т.Б. 7

ТРАНСФОРМАТОРЫ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ
Александров Н.В., Манусов В.З. 9

АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФАЗ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ
Анохин Б.А 11

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ
Артемьев А.Ю. 13

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РЭС 0,4-10 кВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Ахметшин А.Р. 15

ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
Баранов В.А. 17

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ
Бардаков О.А. 19

СРАВНЕНИЕ ОТКЛИКОВ НА ИМПУЛЬСНОЕ И ГАРМОНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУКТУРЫ ИЗ МОДАЛЬНЫХ АНТИПОДОВ ЛОСКОГО ТРЕХЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ
Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М. 21

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
Бедретдинов Р.Ш., Соснина Е.Н. 23

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА АДАПТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ И ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Беляев Н.А. 25

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАПРАВЛЕННЫХ ГРАФОВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ
Бутина Ю.А. 27

ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КОАКСИАЛЬНОМ МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ
Васильева О.В., Исаев Ю.Н. 29

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ОТКЛЮЧЕНИЯ
Верещагин Д.М., Герасимов Д.Ю. 31

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ
Верещагин Д.М., Герасимов Д.Ю. 33

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ "ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА"
Волков А.В., Петров Б.И. 35

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ ПО ОДНОМУ ПРОВОДУ
Глушков Е.Н., Ильин П.А. 37

НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
Дамдинова Д.Ч. 39

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК
Дербенёв А.М., Темербаев С.А. 41

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ УСТАНОВКИ
Долиновская Р.В., Сапрыкин Ф.Е. 43

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БЕЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА
Дударев А.В. 45

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С МОДЕЛЬЮ
Егорычев А.В. 47

ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ПЛАЗМОДИНАМИКИ ПУЧКОВ
Деева В.С., Елгина Г.А. 49

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
Елесина Т.Д, Абрамочкина Л.В. 51

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ДОМА
Захаров А.А. 53

4-ЗОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ЛЕСТНИЧНОГО ТИПА
Зотова Е.В., Волкова О.Л., Крышков В.Ю. 55

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ RIP-ВВОД НА 500 кВ С ПОЛИМЕРНОЙ ПОКРЫШКОЙ
Иванюк Е.В., Куртенков Г.Е. 57

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
Избасаров Д.С., Пушкарев А.И. 58

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НАГРУЗКИ
Василенко В.Н., Ионов И.В., Мамашаев Б.К. 61

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ДИАФРАГМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ
Какауров С.В., Юдин А.С. 63

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ
Карташов С.Н., Космынина Н.М. 65

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ В ТРАНСФОРМАТОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ
Кириллов А. А. 67

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
Китаева М.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. 68

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВМК РВ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕЛОВЫХ ИГР ПО УПРАВЛЕНИЮ НОРМАЛЬНЫМИ РЕЖИМАМИ ЭЭС
Кобзева Я.А. 70

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ
Компанеец Б.С. 72

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЗАЗОРНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДНИКА ТИПА FAST LTD
Кондратьев С.С., Алексеенко В.М., Ким А.А. 74

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Крепышев И.С. 76

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕТИ В ЗАДАЧАХ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ
Лавриненко В.Е. 78

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ ОЗЗ В СЕТЯХ 6-10 КВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВЫСШИХ ГАРМОНИК
Латипов А.Г. 80

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАВОК СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В НАПРАВЛЕННИИ УГЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛИНИИ
Ле Т.Х. 81

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕМНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ ТОКОМ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ
Лидовский Р.К., Сачков С.А., Горюнов А.Г. 83

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БАЛЛАСТ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП
Маморцев С.В. 85

НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Маров Д.Ю. 87

АВТОНОМАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОМА С НУЛЕВЫМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ
Мелешкин А.В. 89

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ РАСЧЕТНОЙ СТАТИСТИКИ
Моисеева Е.В. 91

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ НА РЕЖИМЫ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ СЕТЕЙ
Мурсалимов Т.И., Мастерова О.А. 93

ИССЛЕДОВАНИЕ О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ АЛЮМИНИЙ-СТАЛЬ
Назарова М.Е. 95

ВЛИЯНИЕ ГРИБКОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ТРЕКИНГОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРА
Нгуен Х.Х. 96

ТЕХНОЛОГИЯ PLC И НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА
Николенко К.В., Юрченко А.В. 98

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРУПП ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА "ЗВЕЗДА-ЗВЕЗДА" ПРИ НАЛИЧИИ ОБЩЕЙ НАГРУЗКИ
Осинцев А.А. 100

ОКИСЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ
Осокин Г.Е., Корнев Я.И. 102

РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ РЕЗЕРВНОЙ СТУПЕНИ ТОКОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
Прутик А.Ф. 104

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТК НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ SIMULINK
Сергеев Р.В., Мастерова О.А. 106

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОРМОЖЕНИЯ КАК МЕРЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ
Снегирева К.К. 108

ИНФОРМАЦИОННО - ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Темербаев С.А., Дербенев А.М. 110

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЕЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ
Токарев И.С. 112

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
Толубаев В.В. 114

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Федорова Е.А. 116

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОВМЕЩЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
Коржнева Т.Г., Дырдина А.В., Филимонова Ю.В. 118

УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ. ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАВОК СРАБАТЫВАНИЯ
Фролова Е.И. 120

ЗАВИСИМОСТЬ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ ОТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЭП
Фролова С.А 122

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Харитонова Г.В., Слюсарь Ю.С. 124

АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ СТУПЕНЕЙ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ
Чан Хоанг Куанг Минь 126

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ПОМОЩЬЮ ЯВЛЕНИЯ ВЗРЫВАЮЩЕЙСЯ ПРОВОЛОЧКИ
Чеботнягин Л.М. 128

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОДЕФИЦИТНЫХ РАЙОНОВ
Шакиров В.А. 130

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
Соснина Е.Н., Шалухо А.В. 132

УМЕНЬШЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА СТВОЛА КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ ПРИ МЕТАНИИ МАКРОТЕЛ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ШУНТИРОВАНИЯ РАЗРЯДА
Шаненков И.И., Колганова Ю.Л., Герасимов Д.Ю. 134

ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЕДИНИЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЭС ПРИ НЕИЗМЕННОЙ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ
Манусов В.З., Ядагаев Э.Г. 136

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА
Якименко Е.И., Федоров А.В. 138

Секция 2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧЕВОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НЕГАТОСКОПИИ КРУПНОФОРМАТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ
Айнгорин Е.Д., Александров А.В., Кабакова А.В. 143

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТОЛЩИНЫ НЕПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ
Алимов Д.В., Гольдштейн А.Е. 145

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ
Горлов М.И., Смирнов Д.Ю., Антонова Е.А. 147

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ КОНГЛОМЕРАТОВ НА МЕХАНИЗМ СВЕТОПЕРЕДАЧИ В ОБЪЕМЕ КРИСТАЛЛА
Бабиков С.А., Буллер А.И., Колмакова Н.Н. 148

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРЕДПОЖАРНОЙ СИТУАЦИИ В ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
Бадыкшанов А.В., Галейченко Ю.Н. 150

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ
Баранов П.Ф. 152

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СКВАЖИННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ
Барбин Е.С., Семкин И.М. 154

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ
Бедарева Е.В. 156

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ПЕРЕПРОГРАММИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ
Белоусов В.О. 158

ПРИЁМ РАДИОСИГНАЛОВ С МИКРОСПУТНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК
Бойко М.С. 160

УСТАНОВКА ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Бурцева Л.Б., Редько В.В. 162

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАВЕРНОМЕТРИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СКВАЖИНЫ ПО ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЕ
Бычков И.Н.; Волченко Ю.А., Нургалиев О.Т. 164

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ
Васильев А.С., Губарев Ф.А., Федоров В.Ф. 166

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО НАНОСПУТНИКА
Виноградов Н.И. 168

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА НА БАЗЕ СИЛОВОГО ГИРОСКОПА С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ РАМОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР
Воронова А.С. 170

ПОСТРОЕНИЕ ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЯ
Герасимов Д.В., Павлов А.Н. 172

АППАРАТНО-ПРОГРАМНЫЙ КОМПЛЕКС КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ
Гнитиёв В.П., Слобожанин А.Н. 174

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ЖИДКИХ СРЕДАХ
Гудков С.А. 175

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ НЕМАГНИТНЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
Гынгазова Г.С., Миляев Д.В. 178

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ В РАМКАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
Даренских А.В., Шестаков В.В 180

ПЬЕЗОКЕРАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ
Денисова А.А. 182

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АТТЕНЮАТОРАМИ
Добриков А.И. 184

ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫЙ ТВЕРДОМЕР ТШМ-1У
Донцов А.А., Прокопов Д.А., Сальников К.Н. 186

АНАЛОГОВЫЙ КОММУТАТОР КА-4-16
Ерёмин В.В., Меркулов С.В. 188

ЦЕНТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО ПАКЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА
Иванова А.Г. 190

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ
Исакова Ю.И., Вахрушев Д.В., Холодная Г.Е. 192

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ В СИСТЕМАХ УЧЕТА РАСХОДА ВОДЫ
Кадалова Е.В. 194

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
Камкин О.Ю. 196

МИНИМИЗАЦИЯ МАССЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
Классман Е.В. 198

ВЛИЯНИЕ ВЕКТОРНОГО ХАРАКТЕРА ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МАССЫ И СИЛЫ
Коллер А.А. 200

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ
Костромин А.К. 202

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА
Красников И.В., Торгаев С.Н., Ходько А.Ю. 204

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДУЛЯ
Краюхин А.С. 206

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ЭКСПРЕСС КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕРМО-ЭДС
Кривенок Е.А., Солдатов А.А. 208

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НАГРЕВ ИЗДЕЛИЙ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
Куликова И.В. 210

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 В
Лабаскин И.П., Коновалов Н.А. 212

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ СБОРКИ ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАСАДОК ДЛЯ МИКРОСКОПОВ
Лобастова О.В. 214

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЯЧЕЕК
Маканков М.В. 216

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ИНТЕРВАЛОВ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ И НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
Матюшев Р.А. 218

СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Мещеряков Я.Е. 220

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА UART
Мещеряков Я.Е. 222

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРХНЕЙ ПЛАТЫ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ
Микурова А.С., Гормаков А.Н. 223

ДВУХРЕЖИМНОЕ МОМЕНТНО-ДЕМПФИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, ПРИМЕНЯЕМОЕ В ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
Морозов Д.А. 225

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ФАЗОВЫЙ СПОСОБ ДЕФЕКТОСКОПИИ
Никонов В.А. 227

РЕАЛИЗАЦИЯ SAFT-АЛГОРИТМА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ
Носков Н.Н., Шестаков В.В. 229

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ УЗ ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСОРА
Носков Н.Н., Шестаков В.В. 231

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ
Овчинников П.Г., Силушкин С.В. 233

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Охорзина. А.В, Китаева М.В., Суматохина К.В., ... 235

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ БОЛЬШИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
Пустовойт А.В., Миляев Д.В. 237

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КОНТАКТА ЭЛЕКТРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ
Рябушкин А.П. 239

ИЗМЕРЕНИЕ СТЕНКИ ТРУБЫ В ИЗОЛЯЦИОННОМ ПОКРЫТИИ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ РАДИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОСФОРНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ ПЛАСТИН
Санникова Е.А. 241

ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ
Сейфи Н.А. 243

ИЗМЕРИТЕЛЬ СООТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ
Силантьев А.А. 245

РАЗВИТИЕ MEMS ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ДВИГАТЕЛЕ АВТОМОБИЛЯ
Скрипка О.А. 247

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНОЙ ДВУСТОРОННЕЙ ПЕЙДЖИНГОВОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДИОВЫЗОВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПАССИВНОЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ (RFID-ТЕХНОЛОГИИ)
Смуров А.А., Сорокин А.А. 249

СТАНЦИЯ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ
Суматохина К.В., Китаева М. В., Охорзина. А. В. 251

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ МИКРОВОЛНОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА
Тарасюк Е.А. 253

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОГО КАНАЛА НА ПАРАМЕТРЫ ДЕТЕКТОРА
Терехин И.В., Тимофеев В.Н., Сажнев С.В. 254

ИНТЕРФЕЙС СВЯЗИ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА С ЭВМ
Ткаченко И.Ю. 256

ЛАЗЕР НА ПАРАХ МЕДИ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ИОДИДА И ХЛОРИДА МЕДИ
Ткаченко Н.Ю., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. 258

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЯРКОСВЕТЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ
Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Губарев Ф.А. 260

ЛАЗЕРНЫЙ МОНИТОР НА ОСНОВЕ CuBr-ЛАЗЕРА С ПОКАДРОВОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ
Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Губарев Ф.А. 262

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ КОНТРОЛЕДОСТУПНОСТЬЮ
Тряпышко М.В. 264

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ НА РАННЕЙ СТАДИИ
Тупикина Н.Ю., Повернов Е.С., Герасимов Д.В. 266

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЙОНОВ СИБИРИ
Уманчук Ю. А., Гушляк А.Г. 268

К ВЫБОРУ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ
Уфимцева Е.О. 270

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА КАК ЭФФЕКТИВНАЯ АМЕНА ТРАДИЦИОННЫХ
Федченко Ю.В. 272

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗАТОРА ДОСТОВЕРНОСТИ ЦИФРОВОГО ПОТОКА ПРИ БЫСТРОМ ИЗМЕНЕНИИ ФАЗЫ БИИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА
Хохлов О.А. 273

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ И ВОДОРОД
Цыбенова Н.А. 275

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ
Чурилов М.М. 277

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ УСКОРЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ
Шестак А.П., Лаптев Р.С., Маликов Е.Л. 279

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В КАНАЛЕ GaAs ПТШ, ПОЛУЧЕННОМ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ
Шестаков А.К., Арыков В.С., Кагадей В.А. 281

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
Шкляр Е.И., Миляев Д.В. 283

СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ RS-485
Шушеначев А.Ю. , Игнатовский В.В. 285

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ И ДЛИНЫ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА
Юруткина Т.Ю., Кузьма А.А. 288

Секция 3. ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНИСТОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И РАЗМЕРА ЗЕРНА КАРБИДНОЙ ФАЗЫ НА РАДИУС ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ КРОМОК ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН
Бабаев А.С. 293

К МЕХАНИЗМУ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКЕ ТИТАНА
Балбеков Д.Н., Пешков В.В. 295

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
Батранин А.В. 297

КОНСТРУИРОВАНИЕ И СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ДОКУМЕНТАЦИИ
Вилипп К.А. 299

ПРОИЗВОДСТВО НАНОПОРОШКОВ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕЛЬНИЦАХ
Гурин С.Ю. 301

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ
Иванова А.В., Иванов Д.В., Микушев Н.Н. 303

УЧЁТ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ
Иванова А.В., Колычев С.А., Смирнова Ю.Д. 305

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ
Кабакова А.В. 307

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ
Каранаева О.В., Семёнов А.А., Филатов Н.Д. 309

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК
Каранаева О.В., Денискина Е.А., Сургутанов Н.А. 311

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР
Корчуганов М.А., Сырбаков А.П. 313

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЁМКИ ЛОКАЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА
Грузин А.В., Грузин В.В., Кучеренко М.В. 315

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ
Леоненко А.В., Баркалов И.В., Кузнецов М.С. 317

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛУГОВ
Лукашок М.А. 319

ПРИМЕНЕНИЕ ФИНИШНОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ БЕЗАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ РЕМОНТЕ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ
Малышев А.В. 321

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ РОТОРНОЙ ГОЛОВКИ ОЦИЛИНДРОВОЧНОГО СТАНКА
Маметова З.А., Ким А.Б. 323

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КАК СПОСОБ СБЕРЕЖЕНИЯ РЕСУРСОВ
Марагин К.А. 325

ВЫБОР ТИПА ПОДВЕСА ДЛЯ РОТОРОВ ТУРБОГРУППЫ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ
Машковский Р.А., Зотов И.В., Лисиенко В.Г. 327

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ
Мисайлова Л.В. 329

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНОЙ ПОРЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕПЛА В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ
Мишин М.А. 330

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО РАСЧЕТУ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА
Моисеенко М.О., Морозова О.О., Трепутнева Т.А. 332

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОРПУСА
Невзоров И.А., Резанов И.Ю., Кулешов А.Н. 334

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
Ойнонен А.А., Гришанов А.В. 336

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА АРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Орешков В.М. , Опарин А.В., Вальтер А.В. 338

АНАЛИЗ CAD-СИСТЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА СВЕТОДИОДОВ
Петухова Е.В., Яковлев А.Н. 340

АНАЛИЗ СИСТЕМ МЕТОДОВ МАРКИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
Провоторов А.В. 342

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕНОСНОГО ЭЛЕКТРОПЕРФОРАТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ШАХТОВЫХ УСЛОВИЯХ КУЗБАССА
Прохоренко Н.Э. 345

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМОЙ ЭКСКАВАТОРА И РАЦИОНАЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ КОВША
Пудов Е.Ю. 347

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ ПОСЛЕ ВЫГЛАЖИВАНИЯ МИНЕРАЛОКЕРАМИКОЙ
Романенко Е.Ф. 349

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОШИБКИ В ЗНАЧЕНИЯХ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ КУЛИСЫ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА МАНИПУЛЯТОРА
Середа Н.А. 351

ОБ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА ДАВЛЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ПАРЕ ТРЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА МАНИПУЛЯТОРА
Середа Н.А. 353

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ
Симонов Е.А., Шерстюк Н.Н. 355

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА МОДИФИЦИРОВАННОГО ЗУБА ЦИКЛОИДАЛЬНОГО КОЛЕСА НА ИЗГИБНУЮ ПРОЧНОСТЬ
Симуткин А.Г., Ефременков Е.А. 357

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ МОДЕЛИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С МАЛОЙ РАЗНОСТЬЮ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР СРЕДСТВ
Смирнов А.П., Елисеев Д.Б., Вавилов Д.В. 359

РАЗОГРЕВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТОПЛИВНОМ БАКЕ МЕТОДОМ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ
Соломатин П.А. 360

ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА НА ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ
Сотокина Ю.В., Князьков А.Ф. 362

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОИЗНОСОСТОЙКИХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8
Судницкий А.Г. 364

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЯ ПБК И РЕЗЦА 3Р4.80 ДЛЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА РКУ-10
Тихонов И.А. 366

ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ ДИНАМОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ
Туманов А.А. 368

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ
Филиппов А.А., Урлапкин А.В., Мамедов А.Ч. 370

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ
Филиппов А.В. 372

ВЛИЯНИЕ Полярности ТОКА НА СТРОЕНИЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ
Фомичев В.А., Дегтерев А.С. 374

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УБОРКИ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
Хананов В.В. 376

УСТРОЙСТВО ПОДАЧИ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛИРОВАНИЯ НА РАБОЧИЙ СТОЛ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
Цыганкова М.В. 378

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ПРИВОДА БЕЗОПОРНОГО БУГЕЛЬНОГО ПОДЪЕМНИКА
Цыганков Р.С., Шибинский К.Г., Ефременков Е.А. 379

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА МИ-8 ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. 381

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО У ПРОЧНЕНИЯ
Чирков А.В., Цапкова А.Б., Шкатов А.А. 383

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА ЭИ698ВД
Чирков А.В., Букатый А.С., Лунин В.В. 385

НЕМНОГО О ПЕРЕДАЧАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ
Чумакин Р.В., Черемнов А.В., Пашков Е.Н. 387

ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕДИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ МЕЗА
Шакан Я. 389

МОНТАЖНЫЙ ПИСТОЛЕТ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ
Шаталов Е.Е. 391

Секция 4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
Акимов С.Л. 395

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ БЛЮМИНГА
Аникин В.О. 397

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
Астафьев Д.С. 400

ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
Афанасьев К.С. 402

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА
Баженов М С. 404

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Балтынов Т.Т. 406

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУТАЦИОННОЙ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ НА ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
Берг А.Ю., Ларин А.О. 408

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ОБМОТКИ
Бесперстова А.П., Коробцов А.А., Леонов А.П. 410

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ИСПОЛНЕНИЯ
Бобриков А.Н., Оскеро Д.С., Колокольцов В.Н. 412

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА
Болгов И.С. 414

ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Валеева О.Р. 416

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК
Ван Бо, Усачева Т.В. 418

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КООРДИНАТ СОСТОЯНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАТОРА В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
Вдовин В.В. 420

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ
Воронина Н.А. 422

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ПУТЕМ РАСЧЕТА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ
Вяльцев Г.Б. 424

УСКОРЕННОЕ ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
Тумаева Е. В., Ахметгалиева Р. М., Гаврилов Е. Н. 426

ЧАСТОТНО-ТОКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСТРУДЕРА НА ОСНОВЕ ЗАПИРАЕМЫХ ВЕНТИЛЕЙ
Ганиев Р.Н., Афлятунов И.Ф. 427

ФОРМА КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ МИКРОГЭС С ФАЗОРЕГУЛИРУЕМОЙ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКОЙ
Гогатишвили Е.Ю. Сопыряева В.А. 429

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
Голещихин А.С. 431

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
Гончаров В.И. 433

ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕЛЕФОННОГО КАБЕЛЯ TEL-60
Гопалова Н.А. 435

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАВНОГО РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ
Горюнов Е.С. 437

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ С ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ, ОСНОВАННЫМ НА ЭЛЕКТРЕТНОМ ЭФФЕКТЕ
Грабов С.В. 439

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ
Гречушников Д.В. 441

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОНВЕЙЕРОВ В ТРАКТЕ ШИХТОПОДАЧИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
Губин Д.А., Краснов И.Ю. 443

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА
Десятов А.В., Терехин В.Б., Вильнин А.Д. 445

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА
Десятов А.В., Терехин В.Б., Вильнин А.Д. 447

НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ
Дмитриева Е.М. 449

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ ДВИЖЕНИЯ УДАРНИКА
Дозоров А.А. 451

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ IGBT-МОДУЛЕЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
Доманов С.С. 453

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ
Дорохина Е.С., Хорошко А.А. 455

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АДАПТАЦИЕЙ К ИЗМЕНЕНИЮ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
Дроздов В.С. 457

ВЫБОР ВАРИАНТА САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
Егоров А.А. 459

АДАПТИВНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ДОЗАТОР ЖИДКОСТИ
Емельянова О.В., Яцун С.Ф. 461

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЭЛЕТКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
Жидков А.П., Ляпунов Д.Ю. 462

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ
Займукова Е.А., Шеболтаева Е.В. 464

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПУСКА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В COMSOL MULTIPHYSICS
Замчалкин А.С. 466

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ
Калинкин Д.Ю, Чайка Ю.Г. 468

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ
Касымбаева М.М., Шуликин И.Н. 470

УМЕНЬШЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАЗМЕРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
Ким Ю.В., Киселев А.В., Цукублин А.Б. 472

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОИНЕРЦОННЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ МАШИН И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ
Клабуков Р.П. 474

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАЗОРЕ КОЛЛЕКТОРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ И НА ПОЛОЖЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИ
Клыжко Е.Н. 476

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУСТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
Козлова Л.Е., Глазырин А.С. 478

НАКОПИТЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
Коновалова А.А. 480

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАЗОВОЙ ЧАСТИ СТЕРЖНЯ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
Корнеев К.В. 482

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
Коротков М. Ф., Пахомов А. Н. 484

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Крышков В.Ю. 486

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Кузнецов С.А. 488

ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ИСКРЕНИЯ
Ларин А.О., Берг А.Ю. 490

СИНХРОННЫЙ ГИБРИДНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ
Мартынов Л.Н. 492

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЧЕРНОВОЙ КЛЕТИ ПРОКАТНОГО СТАНА
Мигунов Д.В. 493

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ Т-ОБРАЗНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Михайлов И.Ю., Гирник А.С. 495

ОТКАЗЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Музер К.Г. 497

НЕИСПРАВНОСТИ ПОДШИПНИКОВГО УЗЛА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 кВ
Мукантаев А.К. 499

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ
Мукушева А.Б. 501

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КООРДИНАТ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ АСИМПТОТИЧЕСКОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА
Мязин К.Н. 503

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТАРИРОВОЧНОЙ УСТАНОВКИ
Одиков А.О. 505

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
Паюк Л.А. 507

УСТРОЙСТВО ЮСТИРОВКИ ФОРМЫ ЗЕРКАЛА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА
Пестерников А.А., Комаров С.А., Бойко С.О. 509

СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ
Плиска И.Н. 510

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ УСТРОЙСТВА КАБЕЛЬНОЙ СКРУТКИ
Радченко В.В. 512

О ПРИМЕНЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЫТОВОМ КОМПРЕССОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ
Рогова О. В., Бевз С.А. 514

СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ
Родионов Г.В. 516

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА
Рожков А.Ю. 518

ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЗУБЦАМИ-РОЛИКАМИ РОТОРА
Рыжов И.А. 520

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПУЛЬСАЦИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ
Абдель Максуд С.С.А. 522

ЭЛЕКТРОПРИВОД ШАХТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ
Сахаров М.С. 524

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКАТУШЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ
Скотников А.А., Литвинов И.И. 526

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СИНХРОННЫХ ОДНОКАТУШЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ
Скотников А.А., Койнов С.А. 528

МОДЕЛЬ ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА
Слободян М.С., Деева В.С. 530

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Смирнов А.О. 532

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
Сопыряева В..А. Гогатишвили Е.Ю. 534

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОННОГО ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
Суворкова Е.Е. 536

СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С СИНУСОИДАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ТОКОМ
Суворков Д.И. 538

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ
Султанкеримова И.Б., Марьин С.С 540

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Терновская С.А. 542

ОЧИСТКА ОТ ШУМА СИГНАЛОВ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ И КАНАЛАХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ ЭЛЕКТПРИВОДА
Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А. 544

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОЭМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЕМЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКОВ
Ткачук Р.Ю. 546

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Трухан Д.А. 548

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШЕЙ ВЫСОТЫ ОСИ ВРАЩЕНИЯ
Тютева П.В., Бейерлейн Е.В. 550

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – ОСНОВА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
Уварова Т.С. 552

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО СЛУЧАЙНО ЦЕНЗУРИРОВАННЫМ ВЫБОРКАМ
Углянюк В.В. 554

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
Фахретдинов К.Г. 555

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛАВНОГО КОНТАКТА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕГАЗОВОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
Фомин А.В. 557

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИНДУКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ДРОБНЫМИ ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ
Честюнина Т.В. 559

ПИД-РЕГУЛЯТОР ТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ Т ЯГОВЫМ ПРИВОДОМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
Чумачев Д.А. 561

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MATHCAD
Шабунько В.В., Букрина И.И. 563

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ГОРНОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА АМ-75
Шевчук В.П. 565

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЯМ ДЛЯ ЛИФТОВ
Шпет Н.А. 567

МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ ДВИЖЕНИЯ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
Плотникова А.С., Леонов С.В., Полунин Д.В. 569

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНОЙ МАГНИТНОЙ МУФТЫ ДИСКОВОГО ТИПА
Полунин Д.В., Леонов С.В. 571

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ
XVII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 1

Компьютерная верстка *В.П. Аршинова*

Дизайн обложки *А.М. Петелин*

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.06.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 67,58. Уч.-изд. л. 61.12.
Заказ 000-11. Тираж 250 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru