УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

Томский политехнический университет»

_____

М. С. Юсубов

«8» 10 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМ УПРАВЛЕНИЕМ» выполнена в отделении электротехники Отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

В период подготовки диссертации соискатель Абуэлсауд Раиф Сиам Сайед Ахмед обучался в очной аспирантуре и в настоящий момент является ассистентом Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Год окончания аспирантуры – 2020 год.

В 2013 г. окончил Университет города Заказик, Египет, Инженерный факультет, получил диплом магистра по специальности «Силовые машины и

электротехника». Диплом об окончании аспирантуры выдан в 2020 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Гарганеев Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Во время обсуждения диссертационной работы были заданы следующие вопросы:

1. Дайте определение термину «инвертор с четвертой стойкой». Идея использовать такой автономный инвертор в автономной системе электроснабжения принадлежит Вам или она известна?
2. Каково время задержки измерения сигнала в Вашей системе? Каково время принятия решения в Вашей системе после проведения измерений?
3. Поясните, как учитывались параметры источника первичного питания в Ваших исследованиях?
4. Как соотносится частота выборки и частота коммутации ключей автономного инвертора?
5. Какова была мощность системы электроснабжения в Ваших исследованиях? Какой тип процессора был применен Вами?
6. Какие использовались датчики тока в системе?
7. Как будет работать предложенный Вами алгоритм, если на выходе автономного инвертора поставить трансформатор?
8. Какой коэффициент мощности рассматривался в исследованиях?
9. Какой величины было сопротивление короткого замыкания?

10. Почему Вы считаете, что алгоритм прогнозного управления лучше, чем алгоритм ПИД-регулирования? Может быть Вы недостаточно хорошо настроили параметры ПИД-регулятора?
11. Почему Вы остановились на двухшаговом горизонте прогнозирования?
12. Не проще ли было организовать нейтраль, разделив аккумулятор или конденсатор на две части?
13. С чем связано изменение частоты коммутации?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Абуэлсауда Раифа Сиама Сайеда Ахмеда на тему «Исследование режимов автономной системы электроснабжения с прогнозирующим управлением» является законченной научно-квалификационной работой.

1. Актуальность темы исследования связана с поиском новых технических решений и алгоритмов в области электроэнергетики, а именно, в автономных системах электроснабжения (СЭС). В настоящее время силовые полупроводниковые преобразователи на основе автономных инверторов напряжения (АИН) играют важную роль в обеспечении качественной электроэнергией нагрузок в СЭС. Среди разновидностей СЭС можно выделить схему трехфазную схему с дополнительной (четвертой) стойкой АИН, обладающую способностью эффективно работать в условиях несимметричной нагрузки. В этом смысле трехфазный АИН с нулевым проводом является очень гибким преобразователем и широко востребован для различных приложений полупроводниковых устройств силовой электроники, таких как фильтры активной мощности, источники бесперебойного питания, военное и медицинское оборудование, распределенные генераторы и гибридные энергосистемы. В этом смысле тема диссертационного исследования представляется актуальной.

2. Личное участие и вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Автор диссертационной работы принимал непосредственное участие в теоретических исследованиях, разработке, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученных данных, написании текстов статей и докладов. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: математическая, имитационная модели и алгоритм прогнозирующего управления выходным напряжением АИН с нулевым проводом (четвертой стойкой), минимизирующий ошибку между выходным и опорным напряжениями; анализ электромагнитных процессов в СЭС при различных алгоритмах управления; оригинальный алгоритм на основе прогнозирующей модели (УПМ) для применения в аварийных режимах работы СЭС; анализ чувствительности управления и оценки влияния изменения нагрузки и параметров LC-фильтра на характеристики управления СЭС при УПМ- и ПИД-алгоритмах; разработка имитационных моделей СЭС.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов определяется корректным использованием научно-обоснованных методов исследований, сходимостью экспериментальных и расчетных данных. Результаты, полученные при проведении экспериментальных испытаний, подтверждают справедливость научных положений и применимость предложенных методов, технических решений и выводов.

4. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах. Результаты исследования достаточно полно изложены в 12 печатных работах, включая 5 статей в рецензируемых периодических изданиях из перечня ВАК РФ, 7 публикаций в журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus.

Статьи в рецензируемых периодических изданиях по перечню ВАК РФ, в которых изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Гарганеев А.Г. Система электроснабжения на основе управления автономным инвертором с прогнозирующей моделью / А.Г. Гарганеев, Р.С. Абуэлсауд // Доклады ТУСУР – 2018. – Т. 21, № 1 – С. 106-111.

2. Абуэлсауд Р. С. Управление выходным напряжением автономной системы электроснабжения на основе ПИД-регуляторов в условиях несбалансированных и нелинейных нагрузок / Р.С. Абуэлсауд, А.Г. Гарганеев // Электропитание – 2018. – № 3.

3. Абуэлсауд Р.С. Управление напряжением трёхфазного автономного инвертора напряжения с нулевым проводом на основе пропорционально-резонансных регуляторов / Р. С. Абуэлсауд, А. Г. Гарганеев // Практическая силовая электроника – 2019. – № 1.

4. Абуэлсауд Р.С. Устранение мёртвого времени для трёхфазных автономных инверторов напряжения / Р. С. Абуэлсауд, А. Г. Гарганеев // Электропитание – 2019. – № 1.

5. Абуэлсауд Р. С. Результаты экспериментов автономной системы электроснабжения на основе управления с прогнозирующей моделью / Р. С. Абуэлсауд, И. В. Александров, Г. С. Леус // Электропитание – 2019. – № 3.

Статьи в рецензируемых периодических изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, в которых изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Aboelsaud R. S. Review of three-phase inverters control for unbalanced load compensation / Raef Aboelsaud, A. Ibrahim, and A. G. Garganeev // Int. J. Power Electron. Drive Syst. – Vol. 10, No. 1– 2019 – C. 242–255.

2. Aboelsaud R. S. Assessment of Model Predictive Voltage Control for Autonomous Four-Leg Inverter / Raef Aboelsaud, Ameena Saad Al-Sumaiti,

Ahmed Ibrahim, Ivan V. Aleksandrov, Alexander G. Garganeev, Ahmed A. Zaki Diab // IEEE Access - 2020.

3. Aboelsaud R., Ibrahim A, Ivan V., Garganeev A.G., Aleksandrov I.V. Improved dead-time elimination method for three-phase power inverters//Inernational Journal of Power Electronics and Drive Systems/ 2020 – Vol.11- №4.- C.1759-1766.

Материалы конференций, в том числе статьи в сборниках конференций, входящих в базу данных Scopus, по теме диссертации:

1. Garganeev, A. G. A Novel Predictive Control Algorithm For Autonomous Power Supply Systems / A. G. Garganeev, Raef Aboelsaud, and A. Ibrahim // Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies (ICFET), 2018, C. 170–175.

2. Aboelsaud R. S. Comparative Study of Control Methods for Power Quality Improvement of Autonomous 4-Leg Inverters / Raef Aboelsaud, A. Ibrahim, and A. G. Garganeev // 2019 Proceedings of the International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering.

3. Aboelsaud R. S. Voltage Control of Autonomous Power Supply Systems Based on PID Controller Under Unbalanced and Nonlinear Load Conditions / Raef Aboelsaud, A. Ibrahim, and A. G. Garganeev // 2019 Proceedings of the International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering.

4. Garganeev, A. G. Voltage Control of Autonomous Three-Phase Four-Leg VSI Based on Scalar PR Controllers / A. G. Garganeev, R. Aboelsaud, and A. Ibrahim //20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM) – 2019–C. 558–564.

5. Апробация работы

Основные положения и результаты научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на конференциях международного уровня:

1. 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies - ICFET'18, 2018, Proceedings, г. Москва.

2. The first International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2019, Proceedings, г. Москва.

3. 20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2019, – Proceedings, г. Новосибирск.

Результаты диссертационной работы использованы в Институте силовой электроники Новосибирского государственного технического университета для проектирования автономных СЭС, а также в учебном процессе Инженерной школы энергетики НИ ТПУ при подготовке бакалавров по направлению 13.03.02 и магистров по направлению 13.04.02 (Электроэнергетика и электротехника) по профилям «Электрооборудование летательных аппаратов» и «Электротехнические комплексы автономных объектов».

6. Научная новизна работы

1. Предложена математическая модель СЭС для управления напряжением нагрузки АИН с нулевым проводом (четвёртой стойкой) на основе алгоритма с прогнозирующим управлением.
2. Предложены математические модели СЭС на базе автономного инвертора напряжений (АИН) с нулевым проводом (четвертой стойкой) и выходным фильтром при реализации алгоритма ее управления на основе ПИД-регулятора, ПР-регулятора, скалярной ШИМ и при компенсации взаимной связи между осями D и Q в системе координат DQ0.
3. Разработана имитационная модель СЭС при управлении автономным инвертором с нулевым проводом (четвёртой стойкой), способная реализовать три метода управления СЭС: с ПР-регулятором, ПИД-регулятором и с прогнозирующим управлением.
4. Разработаны алгоритмы прогнозирующего управления выходным

напряжением АИН с нулевым проводом (четвертой стойкой), позволяющие получить высокое качество выходного напряжения СЭС с функцией эффективной защиты по току.

5.Произведена оценка чувствительности управления и оценки влияния изменения нагрузки и параметров LC-фильтра на характеристики управления СЭС при УПМ- и ПИД-алгоритмах.

7. Практическая ценность работы

1.Разработанная имитационная модель полупроводниковой СЭС с нулевым проводом (четвертой стойкой) и прогнозирующим управлением позволяет исследовать и оптимизировать ее статические и динамические режимы в процессе проектирования.

2.Разработанный на основе прогнозирующего управления алгоритм защиты от короткого замыкания позволяет не только эффективно защищать автономный инвертор СЭС от аварийных режимов работы, но и формировать заданное значение выходного тока в аварийных режимах.

3.Полученные графические зависимости частоты коммутации ключей автономного инвертора СЭС с прогнозирующим управлением от коэффициента мощности и величины нагрузки позволяют проектировщику производить выбор частоты коммутации ключей инвертора с оценкой динамических потерь.

4.Результаты исследования чувствительности СЭС с прогнозирующим управлением к изменениям параметров выходного фильтра дают основу для его проектирования.

8. Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержит научные и практически важные результаты. В работе приведены новые технические решения, позволяющие проектировать автономные системы электроснабжения на основе автономного инвертора с четвертой стойкой при использовании алгоритма прогнозирующего управления. Диссертационная работа соответствует

требованиям порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Диссертация **«Исследование режимов автономной системы электроснабжения с прогнозирующим управлением»** Абуэлсауда Раифа Сиама Сайеда Ахмеда рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Заключение принято на заседании научного семинара Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Присутствовало на заседании 12 чел.

Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол № 4 от «25» сентября 2020 г.

Председатель научного семинара
Отделения электроэнергетики и электротехники
профессор Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
д.т.н., доцент Глазырин Александр Савельевич

Секретарь научного семинара
Отделения электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики Филимонова Светлана Владиславовна