

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИнЭО

_____ С.И. Качин
« ____ » _____ 2014 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Составитель С.И. Качин

Семестр	7	8
Кредиты		6
Лекции, часов	2	6
Лабораторные занятия, часов		6
Практические занятия, часов		6
Индивидуальные задания		№ 1
Самостоятельная работа, часов		160
Формы контроля		экзамен

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 62-83(075.8)

ББК 31291я73

Электрический привод: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника»/ сост. С.И. Качин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 37 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электропривода и электрооборудования «___» _____ 2014 года, протокол № __.

Зав. кафедрой ЭПЭО,

доцент, кандидат техн. наук _____ Ю.Н. Дементьев

Аннотация

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Электрический привод» предназначены для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приведено содержание основных тем дисциплины, указаны темы практических занятий и перечень лабораторных работ. Приведены варианты индивидуального домашнего задания. Даны методические указания по выполнению индивидуального домашнего задания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	7
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	20
3.1. Тематика практических занятий.....	20
3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	20
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ.....	22
4.1. Общие методические указания	22
4.2. Методические указания и варианты ИДЗ.....	23
5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ	31
5.1. Вопросы для подготовки к экзамену.....	31
5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	33
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	35
6.1. Литература обязательная.....	35
6.2. Литература дополнительная	35
6.3. Учебно-методические пособия	35
6.4. Интернет-ресурсы	36

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Курс «Электрический привод» относится к профессиональному циклу дисциплин образовательной программы подготовке бакалавров по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника». Основная цель данной дисциплины – это изучение общих физических закономерностей электропривода, особенностей взаимодействия элементов электромеханической системы, характера статических и динамических процессов, как в разомкнутой, так и в замкнутой обратными связями по главным координатам системах, технической реализации автоматических устройств управления нормальными режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления на основе электромеханических преобразователей энергии.

В результате изучения дисциплины студенты **должны иметь представление:**

- о связи курса с другими дисциплинами и его место в ряду прочих курсов специальности;
- о роли в подготовке студентов данного профиля;
- о современном состоянии научных дисциплин, являющихся основой для учебного курса, и перспективах их развития в будущем;
- об основных сферах применения получаемых знаний;
- о существующих подходах к рассмотрению вопросов курса;
- о классификации электроприводов по ряду признаков, например, роду тока, назначению, физическим принципам преобразования электрической энергии в механическую и т.д.;
- о структуре электропривода и технической реализации электроприводов;
- о функционировании автоматизированного электропривода;
- о технических средствах, используемых для создания структур управления электроприводов энергохозяйства.

В результате изучения дисциплины студенты **должны знать:**

- терминологию, основные определения, законы механики электропривода;
- физические свойства механической части электропривода;
- закономерности электромеханического преобразования энергии;
- методы математического описания механической части электропривода и электромеханических преобразователей энергии;

- модели структурных схем механической части электропривода и электромеханических преобразователей энергии;
- общие свойства разомкнутых и замкнутых по основным координатам электромеханических систем;
- общие методы расчета мощности двигателей;
- принципы автоматического регулирования координат электропривода;
- общие методы анализа энергетических показателей регулируемых электроприводов;
- основные схемные решения автоматизации электроприводов, обеспечивающих технологические процессы электроснабжения промышленных предприятий.

В результате изучения дисциплины студенты **должны уметь:**

- формулировать требования к электроприводу как к основному элементу технологического процесса;
- рассчитывать параметры, электромеханические и механические характеристики, переходные процессы, нагрузочные диаграммы, энергетические показатели электропривода;
- анализировать и выбирать оптимальные базовые схемные решения автоматизированных электроприводов;
- интерпретировать экспериментальные данные и сопоставлять их с теоретическими положениями;
- контролировать правильность получаемых данных и выводов;
- объяснять характер процессов и зависимостей;
- описать математически статические и динамические процессы в электроприводе;
- анализировать влияние изменений параметров, настроек системы и внешних воздействий на работу электропривода и механизма.

В результате изучения дисциплины студенты **должны иметь опыт:**

- работы со справочной литературой и нормативно-техническими материалами;
- практической работы с основными система электроприводов и проведения их испытаний;
- выбора оптимальных вариантов электроприводов для различных типов механизмов на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов;
- расчета электромеханических режимов различных типов электроприводов систем электроснабжения.

Пререквизитами данной дисциплины являются: «Теоретические основы электротехники», «Электронная и микропроцессорная техника», «Силовая электроника», «Электрические машины».

Кореквизиты: «Основы электроснабжения».

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Основные понятия и определения

Определение понятия «электропривод». Назначение электропривода как средства обеспечения современных технологических процессов. Электропривод как система. Структурная схема электропривода, силовой и информационный каналы. Общие требования к электроприводу. Краткие сведения из истории развития электропривода. Современный автоматизированный электропривод и тенденции его развития.

Рекомендуемая литература: [1, введение, гл. 1], [2, гл. 1], [3, гл. 1], [4, введение, гл. 1], [5, введение].

Методические указания

Обратить внимание на понятия и определения «электрический привод», «электропривод как система», «схемы силового и информационного каналов электрического привода», «электрическая и механическая части электропривода».

Обратить внимание на современные проблемы автоматизированных электроприводов для промышленности и промышленных предприятий.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что понимается под «электроприводом»?
2. Какие элементы электропривода входят в электрическую и механическую части электропривода?
3. Какие важнейшие изобретения сделаны в области электропривода?
4. Произведите классификацию электроприводов.
5. Сформулируйте основные требования к электроприводу.
6. Покажите, как взаимодействует электропривод с системой электроснабжения.
7. Назовите основные направления в развитии современного электропривода.

Тема 2. Механика электропривода

Уравнения механического движения. Расчетные схемы механической части электропривода. Статические и динамические характеристики. Механические и электромеханические характеристики.

Приведение моментов, сил, масс, жесткостей. Одномассовые и многомассовые механические системы.

Установившееся движение электропривода. Устойчивость механического движения. Неустановившееся движение электропривода при постоянном динамическом моменте, при линейной и нелинейной зависимости динамического момента от скорости. Оптимизация передаточного числа редуктора.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 2], [2, гл. 2], [3, гл. 2, 3, 4], [4, гл. 2], [5, гл. 1].

Методические указания

Обратить внимание на расчетные схемы механической части электропривода и уравнения механического движения, на порядок приведения масс и моментов (сил) к валу электродвигателя, на понятия установившегося и неустановившегося движения электрического привода, на критерии определения устойчивости установившегося движения.

Обратить внимание на различие понятий физических установившихся значений координат и их расчетных (фиктивных) значений при линейной зависимости динамического момента.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Напишите основное уравнение движения электропривода.
2. Исходя из каких законов осуществляется приведение моментов нагрузки и моментов инерции к валу двигателя?
3. Каким образом запишется основное уравнение движения в различных энергетических режимах работы электропривода с учетом наличия момента потерь в электроприводе?
4. Определите приведенные к валу двигателя момент нагрузки и эквивалентный момент инерции на примере подъемного механизма.
5. Представьте структурные схемы механической части электропривода с жесткими механическими связями.
6. Что понимается под реактивной нагрузкой?
7. Что понимается под жесткостью механической характеристики?
8. Запишите условие устойчивого установившегося режима работы электропривода.

9. Определите время переходного процесса при пуске электропривода при активной нагрузке $M=\text{const}$ и $M_c=\text{const}$.

10. Определите время переходного процесса при переходе из двигательного режима работы в режим динамического торможения при линейной зависимости динамического момента от скорости и реактивной нагрузке.

Тема 3. Общие принципы построения автоматизированного электропривода

Понятие о регулировании координат электропривода. Регулирование скорости, тока и момента двигателей, положения координат электроприводов. Энергетические режимы работы электроприводов.

Принципы построения систем управления электроприводами. Классификация обратных связей. Типовая элементная база информационного канала. Автоматическое регулирование скорости при участии обратной связи по напряжению, току и скорости двигателя.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 6], [2, гл. 2], [3, гл. 10], [4, гл. 3], [5, гл. 6, 7, 8, 9].

Методические указания

Обратить внимание на определение и понятие о регулировании координат. Разобраться с режимами работы электроприводов при прямом и обратном направлении вращения и с регулированием скорости, тока и момента в установившихся режимах работы электропривода.

Обратить внимание на построение электроприводов с обратными связями и их преимущества перед разомкнутыми электроприводами.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что понимается под координатами электропривода?
2. Основные показатели регулирования скорости электроприводов.
3. По каким двум электрическим или механическим параметрам можно определить энергетический режим работы электропривода?
4. В каких квадрантах электропривод работает в двигательном режиме, а в каких в генераторном?
5. Какие генераторные режимы работы могут быть реализованы в электроприводе?
6. Поясните различия между разомкнутыми и замкнутыми системами управления электроприводами.

7. Принцип действия положительной и отрицательной обратных связей.
8. Поясните понятия жестких и гибких обратных связей.
9. Поясните принципы автоматического регулирования скорости с обратными связями по напряжению, току или скорости двигателя.
10. Поясните схему электропривода с подчиненным регулированием координат.

Тема 4. Физические процессы и регулирование координат в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения

Физические процессы, параметры, режимы работы в электроприводах постоянного тока независимого возбуждения.

Структурная схема двигателя постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения. Естественные и искусственные статические и динамические характеристики электроприводов в разомкнутых системах. Способы регулирования координат ДПТ независимого возбуждения. Торможение ДПТ независимого возбуждения.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 3, 4], [2, гл. 3], [3, гл. 5, 6], [4, гл. 4], [5, гл. 3, 6].

Методические указания

Обратить внимание на возможное наличие в конструкции машины постоянного тока обмоток дополнительных полюсов и компенсационной обмотки, входящих последовательно в цепь якоря.

Проанализировать как физические процессы, параметры, режимы работы в электродвигателях постоянного тока независимого возбуждения связаны с естественными и искусственными статическими и динамическими характеристиками электроприводов в разомкнутых системах.

Обратить внимание на достоинства и недостатки различных способов регулирования координат.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Принцип работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
2. Характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения и их математическое описание.

3. Определение основных параметров двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
4. Перечислите основные способы регулирования координат ДПТ независимого возбуждения.
5. Способы торможения ДПТ независимого возбуждения.
6. Какой способ регулирования координат является наиболее экономичным по затратам электрической энергии?
7. Что понимается под зоной прерывистых токов и каким образом можно снизить ее влияние на работу электропривода?
8. Каковы преимущества импульсных способов регулирования координат электропривода?

Тема 5. Физические процессы и регулирование координат в электроприводах с ДПТ последовательного возбуждения

Физические процессы, параметры, режимы работы в электроприводах с ДПТ последовательного возбуждения.

Структурная схема, динамические режимы ДПТ последовательного возбуждения. Регулирование координат ДПТ последовательного возбуждения. Торможение ДПТ последовательного возбуждения. Особенности электроприводов с двигателями смешанного возбуждения.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 3, 4], [2, гл. 3], [3, гл. 5, 6], [4, гл. 4], [5, гл. 3, 6].

Методические указания

Обратить внимание на особенности работы ДПТ последовательного возбуждения, в том числе при работе на переменном токе. Проанализировать, как физические процессы, параметры, режимы работы в электродвигателях постоянного тока последовательного возбуждения связаны с естественными и искусственными статическими и динамическими характеристиками электроприводов в разомкнутых системах.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Проведите анализ режимов работы ДПТ последовательного возбуждения.
2. Сравните механические и электромеханические характеристики ДПТ независимого и последовательного возбуждения.
3. Как рассчитать естественную и искусственную механические характеристики ДПТ последовательного возбуждения?

4. Проведите анализ способов регулирования скорости ДПТ последовательного возбуждения.

5. Проведите анализ способов электрического торможения ДПТ последовательного возбуждения.

6. Как технически реализовать реверс ДПТ последовательного возбуждения?

7. Как ограничить частоту вращения ДПТ последовательного возбуждения на холостом ходу?

8. Каким образом на основе универсальных характеристик ДПТ последовательного возбуждения определить частоту вращения при заданном моменте нагрузки на валу электродвигателя?

Тема 6. Физические процессы и регулирование координат в электроприводах с асинхронными двигателями

Физические процессы, параметры, схема замещения, режимы работы электроприводов с асинхронными машинами.

Структурная схема асинхронной машины в двигательном режиме. Естественные и искусственные статические характеристики. Расчет механических характеристик асинхронного двигателя (АД). Регулирование скорости АД резисторами в цепях ротора и статора, изменением числа пар полюсов, изменением напряжения. Каскадные схемы включения.

Регулирование координат электропривода в системе преобразователь частоты – двигатель. Принципы работы преобразователей частоты без звена постоянного тока и с промежуточным звеном постоянного тока.

Импульсный способ регулирования координат асинхронного двигателя. Способы торможения асинхронных двигателей.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 3, 5], [2, гл. 4], [3, гл. 7, 8], [4, гл. 5], [5, гл. 3, 6].

Методические указания

Обратить внимание на особенности физических процессов в асинхронных машинах и построение структурной схемы асинхронного двигателя (АД). Разобраться с расчетом механических характеристик и параметров АД. Обратить внимание на особенности регулирования координат электропривода с АД, технические варианты реализации динамического торможения АД.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Принцип действия асинхронного двигателя.
2. Уравнение электромеханической характеристики асинхронного двигателя.
3. Порядок расчета механической характеристики асинхронного двигателя в двигательном режиме работы и в режиме рекуперации.
4. Анализ режимов работы асинхронного двигателя.
5. Регулирование скорости, тока и момента асинхронного двигателя резисторами в цепях ротора и статора.
6. Расчет регулировочных сопротивлений ротора АД.
7. Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов.
8. Механические характеристики АД при изменении напряжения обмотки статора.
9. Каковы преимущества каскадных схем включения АД?
10. Каким образом влияет добавочное сопротивление фазного ротора на механическую характеристику динамического торможения?
11. Поясните принцип работы преобразователей частоты без звена постоянного тока и с промежуточным звеном постоянного тока.
12. В каких электроприводах с АД предпочтительно использовать импульсные способы регулирования координат?

Тема 7. Физические процессы в электроприводах с синхронными двигателями

Физические процессы, параметры, режимы работы электроприводов с синхронными машинами. Структурные схемы синхронного электропривода. Естественные и искусственные механические характеристики. Пуск, синхронизация и регулирование скорости синхронных двигателей. Автоматическое регулирование возбуждения.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 3, 5], [2, гл. 4], [3, гл. 7], [4, гл. 6], [5, гл. 3, 6].

Методические указания

Обратить внимание на особенности физических процессов в синхронных машинах и построение структурной схемы синхронного двигателя (СД). Обратить внимание на особенности пуска, синхронизации и регулирования скорости синхронных двигателей.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Каким образом осуществляется пуск синхронного двигателя?

2. От чего зависит максимальный момент синхронного двигателя?
3. Проведите анализ режимов работы синхронных двигателей.
4. Приведите механические характеристики явнополюсного синхронного двигателя.
5. Каким образом различаются механические характеристики явнополюсного и неявнополюсного СД?
6. Какие преимущества имеет синхронный электропривод по сравнению с асинхронным электроприводом?
7. Проведите анализ структурной схемы синхронного электропривода.
8. Какой генераторный режим работы СД практически не используется и по каким причинам?

Тема 8. Электроприводы с синхронными двигателями со специальными свойствами

Электропривод с шаговыми двигателями (ШД). Принцип действия и основные свойства ШД. Схемы управления дискретным электроприводом.

Электропривод с вентильными двигателями (ВД). Принцип действия и основные свойства ВД. Схемы ВД с естественной и искусственной коммутацией вентилей инвертора.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 5], [2, гл. 4], [4, гл. 6, 8], [5, гл. 3].

Методические указания

Обратить внимание на особенности принципа действия шаговых двигателей и схемы управления дискретным электроприводом.

Обратить внимание на конструктивные отличия вентильных двигателей от классических двигателей постоянного тока и преимущества ВД.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. За счет каких явлений магнитное поле ШД перемещается в воздушном зазоре дискретно?
2. Представьте основные конструкции ШД и проведите их анализ.
3. Какую роль играет синхронизирующий момент в ШД?
4. Каким образом производится регулирование скорости ШД?
5. Как произвести реверс ШД?
6. Как выглядят механические характеристики ВД?

7. Каковы основные достоинства ВД?
8. С помощью каких элементов может быть получена информация об угловом положении ротора ВД?
9. Какие ограничения существуют относительно числа фаз ВД?

Тема 9. Регулирование координат и формирование характеристик электропривода в замкнутых системах

Формирование статических характеристик электропривода в замкнутой системе на примере системы преобразователь напряжения-двигатель постоянного тока с обратными связями по скорости, напряжению и току. Регулирование координат электропривода в системе источник тока-двигатель. Замкнутые электропривода переменного тока.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 6], [2, гл. 3], [3, гл. 10, 11, 12, 13], [4, гл. 3, 4, 5, 6, 8], [5, гл. 7, 8, 9].

Методические указания

Обратить внимание на принципы регулирования координат и формирование требуемых характеристик в замкнутых системах.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие основные элементы содержит замкнутая система автоматического управления?
2. Преимущества замкнутой системы электропривода преобразователь – двигатель по сравнению с разомкнутой системой.
3. Использование какой обратной связи позволяет получать механические характеристики как отрицательной, так и положительной жесткости в электроприводе преобразователь – двигатель?
4. Приведите схемы замкнутых систем электроприводов: преобразователь частоты – асинхронный двигатель.
5. Поясните работу схем автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей.
6. Назовите основные задачи автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей.
7. В чем различие аналоговых и дискретных систем управления?

Тема 10. Переходные режимы в электроприводах

Общая характеристика и классификация переходных режимов. Переходные режимы в электроприводах с двигателями постоянного тока. Понятие и физический смысл электромеханической постоянной

времени. Особенности механических переходных режимов в электроприводах с асинхронными двигателями. Переходные режимы в электроприводах при механической и электромагнитной инерции. Понятие и физический смысл электромагнитной постоянной времени.

Переходные процессы в асинхронном электроприводе и их формирование. Особенности переходных процессов в синхронном электроприводе.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 2], [2, гл. 5], [4, гл. 4, 5, 6], [5, гл. 2, 4].

Методические указания

Обратить внимание на отличительные особенности протекания переходных процессов в ДПТ, в АД и СД. Уяснить физический смысл электромеханических и электромагнитных постоянных времени и разобраться в причинах возникновения переходных электромеханических процессов в электрических приводах.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите причины возникновения переходных процессов.
2. Поясните понятия электромеханической и электромагнитной постоянных времени.
3. Что понимается под механическими и электромеханическими переходными процессами в электроприводе?
4. Переходные процессы в электроприводах постоянного тока.
5. Переходные процессы в электроприводах переменного тока.
6. Способы ускорения переходных процессов в электроприводах.

Тема 11. Автоматическое управление электроприводами в разомкнутых системах

Принципы релейно-контакторного управления пуском электродвигателей в функции скорости, тока, времени, пути. Принципы релейно-контакторного управления торможением и реверсом электродвигателей. Типовые схемы разомкнутых систем управления двигателями постоянного тока, асинхронными, синхронными и специальными двигателями.

Рекомендуемая литература: [3, гл. 10], [4, гл. 4, 5, 6].

Методические указания

Обратить внимание на принципы релейно-контакторного управления пуском, торможением и реверсом электродвигателей. Разобраться с типовыми схемами систем управления электродвигателями.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие функции выполняют контакторы и магнитные пускатели?
2. Какие функции выполняют реле управления?
3. Поясните принципы управления двигателями в функции времени, скорости, тока.
4. Какие виды защит используются в схемах электроприводов?
5. Какие устройства используются в качестве датчиков скорости, тока, времени, пути в электроприводе?

Тема 12. Энергетика электропривода

Постоянные и переменные потери мощности при номинальном и других установившихся режимах, коэффициент потерь электродвигателя. Энергетические показатели регулируемого электропривода в установившемся режиме. Потери электроэнергии в переходных процессах электропривода и способы их снижения. Оценка энергетической эффективности электропривода. Оценка надежности электропривода. Экономические аспекты проектирования электроприводов.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 8], [2, гл. 6], [3, гл. 14], [4, гл. 9], [5, гл. 9].

Методические указания

Обратить внимание на понятия энергетические показатели и на основные особенности проектирования электроприводов с учетом их энергетической эффективности. Обратить внимание на зависимость потерь энергии в электроприводе от характера нагрузки и режима его работы.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Поясните физический смысл коэффициента мощности двигателей переменного тока и способы его повышения.
2. Основные количественные показатели надежности электроприводов.
3. Поясните физический смысл коэффициента полезного действия двигателей и способы его повышения.

4. Что можно предпринять для повышения коэффициента мощности АД?

5. Какие меры можно применить для повышения КПД электропривода в установившихся режимах работы?

6. Каковы основные способы снижения потерь энергии в переходных режимах работы электропривода?

Тема 13. Расчет мощности электродвигателей производственных механизмов

Общие положения о выборе типа электропривода и расчете мощности двигателя. Нагрузочные диаграммы и тахограммы механизмов и электроприводов.

Нагрев и охлаждение двигателей. Классификация режимов работы электродвигателей.

Расчет мощности двигателя при продолжительном режиме с постоянной и переменной нагрузкой. Расчет мощности двигателя при кратковременном, повторно-кратковременном и перемежающихся режимах

Проверка двигателей по нагреву, перегрузочной способности, условию пуска. Выбор двигателя для регулируемого электропривода.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 9], [2, гл. 7], [4, гл. 10], [5, гл. 5].

Методические указания

Обратить внимание на общие положения по расчету мощности и выбор электродвигателей постоянного и переменного тока и построения нагрузочных диаграмм и тахограмм механизмов и электроприводов.

Разобраться с особенностями расчета мощностей при кратковременном, повторно-кратковременном и перемежающихся режимах

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Каковы причины возникновения постоянных и переменных потерь мощности в электроприводе?

2. При каком соотношении постоянных и переменных потерь мощности обеспечивается максимальный коэффициент полезного действия электропривода?

3. Как определить мощность и КПД регулируемого и нерегулируемого электропривода? В чем их различие?

4. Как определить потери энергии в переходных режимах работы электропривода?

5. Проведите анализ нагрузочных диаграмм и тахограмм различных исполнительных механизмов.

6. Поясните порядок расчета мощности и выбора электродвигателя для электропривода.

7. В чем заключается различие между нагрузочной диаграммой двигателя и механизма.

8. Каким образом связано тепловое состояние электропривода с его энергетическими показателями?

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика практических занятий

В данном подразделе приведены темы практических занятий по дисциплине «Электрический привод».

Целью практических занятий является закрепление знаний по курсу, а также получение навыков решения инженерных задач по механике электропривода, расчетам электромеханических и механических характеристик двигателей постоянного и переменного тока, переходных процессов, выбору мощности электропривода и конструированию схем автоматизированного электропривода.

При проведении занятий преподаватель выбирает три темы на свое усмотрение.

Рекомендуемые темы практических занятий

1. Одномассовая и многомассовые механические системы. Приведение моментов инерций и нагрузок к валу электродвигателя (2 часа).

2. Динамика электромеханических систем (2 часа).

3. Регулирование координат электропривода с ДПТ независимого возбуждения. Расчет естественных и регулировочных характеристик, установившихся режимов работы (2 часа).

4. Регулирование координат в электроприводе с ДПТ последовательного возбуждения. Расчет естественных и регулировочных характеристик, установившихся режимов работы (2 часа).

5. Регулирование координат в электроприводе с асинхронным двигателем. Расчет естественных и регулировочных характеристик, установившихся режимов работы (2 часа).

6. Регулирование координат в замкнутых системах электропривода. Синтез параметров, расчет характеристик (2 часа).

7. Выбор, расчет мощности электродвигателя и проверка на нагрев (2 часа).

Рекомендуемая литература: [1, 2, 4, 19, 20]

3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

Лабораторный практикум является составной частью учебного процесса по данной дисциплине.

Целью лабораторных работ, является экспериментальное снятие статических и динамических характеристик электроприводов различных типов, получение навыков исследовательской работы с электромеханическими системами. Лабораторные работы призваны закрепить теоретические знания по изучаемому курсу.

В данном подразделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме (КЗФ).

Лабораторные работы проходят во время сессии и выполняются на специальных лабораторных стендах, которые имеют источники питания, комплекты электроприводов и нагрузочных устройств, а также соответствующие измерительные приборы.

Для каждой работы предусмотрены методические указания по ее выполнению, контрольные вопросы и требования к оформлению отчета.

Студенты выполняют 3 лабораторные работы из 8 по заданию преподавателя.

Рекомендуемая литература: [14, 15, 16].

Перечень лабораторных работ

1. Исследование статических характеристик и энергетических показателей асинхронного короткозамкнутого двигателя (2 часа).
2. Исследование статических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при частотном управлении (2 часа).
3. Исследование электропривода постоянного тока в системе «Реверсивный тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» (2 часа).
4. Исследование асинхронного электропривода по системе «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» (2 часа).
5. Исследование асинхронного электропривода по системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» (2 часа).
6. Исследование асинхронного электродвигателя с управлением от компьютера (2 часа).
7. Исследование синхронного электродвигателя с управлением от компьютера (2 часа).
8. Исследование замкнутого электропривода в системе «Реверсивный тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения» с управлением от компьютера (2 часа).

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания (ИДЗ) на тему «Расчет механических и электромеханических характеристик, установившихся режимов электроприводов с двигателями постоянного тока независимого возбуждения».

При выполнении индивидуального задания студентам необходимо:

- провести анализ технического задания;
- рассчитать и построить исходные механические и электромеханические характеристики электропривода;
- определить координаты установившегося режима работы электропривода в исходном состоянии;
- рассчитать и построить механические и электромеханические характеристики электропривода после изменения параметров работы в соответствии с заданием;
- определить начальный ток электропривода в момент изменения параметров работы в соответствии с заданием;
- рассчитать координаты установившегося режима работы электропривода после изменения параметров работы в соответствии с заданием.

Подробные методические указания по выполнению аналогичных заданий, а также примеры расчета приведены в [19, 20].

Номер варианта индивидуального задания определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки. Если образуемое ими число больше 30, то следует взять сумму этих цифр. Например, если номер зачетной книжки Д-5А10/11, то номер варианта задания равен 11. Если номер зачетной книжки 3-5А10/37, то номер варианта задания равен 10.

Требования к оформлению ИДЗ

При оформлении индивидуального домашнего задания необходимо соблюдать следующие требования.

1. Индивидуальное задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ [21]. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр.

Образец оформления и шаблон титульного листа размещены на сайте ИнЭО в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>).

2. Каждое индивидуальное задание оформляется отдельно.

Студенты, изучающие дисциплину **по классической заочной форме**, оформляют индивидуальные задания в отдельных тетрадях.

3. Текст индивидуального задания набирается в текстовом процессоре Microsoft Word. Шрифт – Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул Microsoft Equation или MathType.

4. Индивидуальное задание должно начинаться с условий технического задания, ниже краткая запись исходных данных к заданию.

5. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов и указанием использованных формул.

6. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.

7. В задание включается список использованной литературы.

Если работа не соответствует требованиям, студент получает оценку «не зачтено». В этом случае работа должна быть исправлена и повторно предоставлена преподавателю. При доработке необходимо включить в текст дополнительные вопросы, полученные после проверки работы преподавателем, и ответы на эти вопросы.

Студент, не получивший положительной аттестации по индивидуальному заданию, не допускается к сдаче экзамена по данной дисциплине.

4.2. Методические указания и варианты ИДЗ

Исходные данные к выполнению ИДЗ

Дано:

Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), а также значения добавочного сопротивления в цепи якоря, относительные величины магнитного потока, момента нагрузки и режимы работы электрической машины в исходном состоянии для различных вариантов задач приведены в табл. 1.

Электропривод с ДПТ НВ из исходного состояния переключается на другую механическую характеристику. Значения добавочного сопротивления в цепи якоря, относительные величины магнитного потока, момента нагрузки, напряжения на якоре и режимы работы электрической машины на данной механической характеристике для различных вариантов задач приведены в табл. 2.

Определить:

- частоту вращения и ток якоря электрической машины при ее работе на исходной механической характеристике;
- начальный ток при мгновенном переходе на вторую механическую характеристику;
- бросок тока при переходе на вторую механическую характеристику;
- частоту вращения и ток якоря электрической машины при ее работе на второй механической характеристике в установившемся режиме;
- изменение частоты вращения при переходе с исходной на вторую механическую характеристику.

Основные расчетные выражения для электроприводов на базе машин постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением

Уравнение напряжения на зажимах электрической машины постоянного тока (МПТ):

$$U = E + I \cdot R, \quad (1)$$

где, U – подводимое к якорю напряжение, В;

$E = k \cdot \Phi \cdot \omega$ – электродвижущая сила обмотки якоря МПТ;

$k = p \cdot N / 2 \cdot \pi \cdot a$ – конструктивный коэффициент МПТ;

p – число пар полюсов;

N – число активных проводников обмотки якоря;

a – число параллельных ветвей обмотки якоря;

Φ – магнитный поток, Вб;

ω – частота вращения якоря, с^{-1} ;

I – ток якоря, А;

R – полное активное сопротивление цепи якоря (включает: активные сопротивления якоря – $R_{\text{я}}$, добавочных полюсов – $R_{\text{д.п.}}$, компенсационной обмотки – $R_{\text{к.о.}}$ и активное добавочное сопротивление внешней цепи – $R_{\text{д}}$), Ом.

Уравнение электромеханической характеристики МПТ:

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi} = \frac{U - IR}{C} \quad (2)$$

где C – коэффициент пропорциональности (постоянная) МПТ.

Электромагнитный момент, развиваемый на якоре электродвигателя:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I. \quad (3)$$

Уравнение механической характеристики МПТ:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2}. \quad (4)$$

Частота вращения идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi}. \quad (5)$$

Перепад скорости относительно скорости идеального холостого хода при нагрузке МПТ:

$$\Delta\omega = \frac{IR}{k\Phi} = \frac{MR}{(k\Phi)^2}. \quad (6)$$

Уравнение электромеханической характеристики МПТ в режиме динамического торможения ($U=0$, якорная цепь замкнута):

$$\omega = \frac{-IR}{k\Phi}. \quad (7)$$

Уравнение механической характеристики МПТ в режиме динамического торможения:

$$\omega = \frac{-MR}{(k\Phi)^2}. \quad (8)$$

Мощность, потребляемая двигателем:

$$P_1 = U \cdot I. \quad (9)$$

Электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = E \cdot I = M \cdot \omega. \quad (10)$$

Полезная мощность:

$$P_2 = M_c \cdot \omega, \quad (11)$$

где M_c – полезный противодействующий момент механизма на валу электродвигателя, Н·м.

Основное уравнение движения электропривода в установившемся режиме:

для двигательного режима работы

$$M = M_c + M_{пот}; \quad (12)$$

для режима рекуперативного торможения

$$M = -M_c + M_{пот}; \quad (13)$$

для режима противовключения

$$M = M_c - M_{пот}, \quad (14)$$

где $M_{пот}$ – момент потерь электродвигателя, Н·м.

Пример решения задач по электроприводам на базе машин постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) имеет следующие паспортные данные:

$P_H = 4,5$ кВт (полезная мощность в номинальном режиме); $U_H = 220$ В (напряжение на якоре в номинальном режиме); $n_H = 3000$ об/мин (скорость вращения вала электродвигателя в номинальном режиме); $I_H = 24,3$ А (ток якоря в номинальном режиме); $R_{\text{я}} = 0,35$ Ом;

$$R_{\text{д.п.}} = R_{\text{к.о.}} = 0 \text{ Ом.}$$

Определить:

а) угловую частоту вращения в режиме рекуперативного торможения на естественной характеристике при $M_c = 0,8M_H$;

б) бросок тока при мгновенном снижении напряжения, подводимого к якору до $0,6 U_H$, если до этого двигатель работал в режиме рекуперативного торможения на естественной характеристике с нагрузкой $M_c = 0,8M_H$.

Решение для пункта а:

– частота вращения вала электродвигателя номинальная

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ с}^{-1}$$

– постоянная электродвигателя для естественной характеристики (паспортная схема включения, номинальные параметры питающей сети, отсутствие добавочных сопротивлений в цепях электродвигателя: $R_d = 0$)

$$C_H = k\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{д.п.}} + R_{\text{к.о.}})}{\omega}$$
$$\frac{220 - 24,3 \cdot 0,35}{314} = 0,674 \text{ В} \cdot \text{с}$$

– номинальный полезный момент на валу электродвигателя

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{4500}{314} = 14,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– номинальный электромагнитный момент

$$M_H = \frac{E_H \cdot I_H}{\omega_H} = k \cdot \Phi_H \cdot I_H = 0,674 \cdot 24,3 = 16,38 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

– момент потерь (принимается постоянным для всех рабочих частот вращения)

$$M_{\text{пот}} = M_H - M_{\text{сн}} = 16,38 - 14,33 = 2,05 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

– момент нагрузки в соответствии с заданием

$$M_c = 0,8 \cdot M_{\text{сн}} = 0,8 \cdot 14,33 = 11,464 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

– электромагнитный момент в генераторном режиме рекуперативного торможения

$$M = -M_c + M_{\text{пот}} = -11,464 + 2,05 = -9,414 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

– частота вращения якоря ДПТ НВ на естественной характеристике

$$(C = k \cdot \Phi_{\Gamma} = k \cdot \Phi_H = C_H)$$

$$\omega = \frac{U_H}{C_H} - \frac{M \cdot R_{\text{я}}}{C_H^2} = \frac{220}{0,674} - \frac{-9,414 \cdot 0,35}{0,674^2} = 326,4 + 7,253 = 333,653 \text{ с}^{-1}$$

Решение для пункта б:

– ток якоря на первой характеристике при номинальном напряжении (естественная характеристика)

$$I_1 = \frac{M}{C_H} = \frac{-9,414}{0,674} = -13,967 \text{ А}$$

– ЭДС якоря в момент перехода на вторую, искусственную характеристику при механическом переходном процессе (угловая частота вращения мгновенно не изменяется, ток изменяется мгновенно)

$$E_2 = k \cdot \Phi_2 \cdot \omega_{2.\text{нач}} = k \cdot \Phi_H \cdot \omega_1 = E_1 = 0,674 \cdot 333,653 = 224,882 \text{ В}$$

где $\omega_{2.\text{нач}}$ – начальная угловая частота вращения при работе на второй характеристике

– ток якоря в момент снижения напряжения до $0,6 U_H$ ($E_2=E_1$)

$$I_{2.\text{нач}} = \frac{0,6 \cdot U_H - E_2}{R_{\text{я}}} = \frac{0,6 \cdot 220 - 224,882}{0,35} = -265,377 \text{ А}$$

–бросок тока в момент снижения напряжения

$$\Delta I = I_{2.\text{нач}} - I_1 = -265,377 - (-13,967) = -251,41 \text{ А}$$

При решении ИДЗ обратить внимание на использование конкретных данных своего варианта при применении базовых расчетных зависимостей, представленных в общем виде и пригодных как для расчета естественных, так и искусственных характеристик.

Таблица 1

Варианты ИДЗ. Исходный режим работы электропривода

№ варианта	Паспортные данные двигателя							$R_{д},$ Ом	Φ/Φ_n	M_c/M_n	Режим работы двигателя
	$P_n,$ кВт	$U_n,$ В	$n_n,$ об/мин	$I_n,$ А	$R_{я},$ Ом	$R_{д.п.},$ Ом	$R_{к.о.},$ Ом				
1	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	0,1	1,2	0,5	рекуперация
2	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	0,2	1,2	0,5	
3	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	0,2	1,2	0,5	
4	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,01	1,2	0,5	
5	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,05	1,2	0,5	
6	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	0,2	1,2	0,8	
7	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	0,3	1,2	0,8	
8	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	0,08	1,2	0,8	
9	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,08	1,2	0,8	
10	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,05	1,2	0,8	
11	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	15	0,8	1	противо- включение
12	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	20	0,8	1	
13	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	3	0,8	1	
14	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,5	0,8	1	
15	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	2	0,8	1	
16	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	10	0,8	2	
17	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	15	0,8	2	
18	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	2	0,8	2	
19	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,3	0,8	2	
20	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	1	0,8	2	
21	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	3	1,2	0,5	двигатель- ный
22	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	4	1,2	0,5	
23	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	0,5	
24	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,2	1,2	0,5	
25	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	1	1,2	0,5	
26	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	5	1,2	1	
27	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	10	1,2	1	
28	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	1	
29	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1,2	1	
30	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,5	1,2	1	

Варианты ИДЗ. Переход на вторую механическую характеристику

Таблица 2

№ варианта	Паспортные данные двигателя							$R_{д,}$ Ом	$\Phi/\Phi_{н}$	$M_c/M_{н}$	$U/U_{н}$	Режим работы двигателя
	$P_{н,}$ кВт	$U_{н,}$ В	$n_{н,}$ об/мин	$I_{н,}$ А	$R_{я,}$ Ом	$R_{д.п.},$ Ом	$R_{к.о.},$ Ом					
1	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	5	1,2	0,5	0	динамическое торможение
2	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	5	1,2	0,5	0	
3	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	0,5	0	
4	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1,2	0,5	0	
5	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,5	1,2	0,5	0	
6	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	5	1,2	0,8	0	
7	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	5	1,2	0,8	0	
8	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	0,8	0	
9	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1,2	0,8	0	
10	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,5	1,2	0,8	0	
11	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	1	1	1	1	двигатель- ный
12	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	1	1	1	1	
13	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	0,2	1	1	1	
14	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1	1	1	
15	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,3	1	1	1	
16	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	1	0,6	2	1	
17	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	1	0,6	2	1	
18	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	0,2	0,6	2	1	
19	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1	2	1	
20	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,2	1	2	1	
21	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	3	1,2	0,5	0,5	двигатель- ный
22	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	4	1,2	0,5	0,5	
23	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	0,5	0,5	
24	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,2	1,2	0,5	0,5	
25	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	1	1,2	0,5	0,5	
26	4,5	220	3000	24,3	0,35	0	0	5	1,2	1	0,8	
27	3,2	220	1500	18,4	0,67	0,246	0	10	1,2	1	0,8	
28	23	220	600	120	0,06	0,0245	0	1	1,2	1	0,8	
29	185	220	450	920	0,003	0,002	0,0016	0,1	1,2	1	0,8	
30	150	440	490	370	0,02	0,01	0,0024	0,5	1,2	1	0,8	

5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают экзамен.

К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтено индивидуальное домашнее задание и выполнены лабораторные работы.

Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме, приведен в разделе 5.2.

5.1. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Естественные механические характеристики ДПТ, схемы включения.
2. Регулирование координат в системе Генератор-Двигатель.
3. Механические характеристики ДПТ, АД, СД и типичные механические характеристики исполнительных органов.
4. Регулирование скорости ДПТ независимого возбуждения изменением магнитного потока.
5. Понятие устойчивости установившегося движения ЭП.
6. Регулирование тока и момента при динамическом торможении и реверсе ДПТ НВ с помощью резисторов в цепи якоря.
7. Переходные процессы в ЭП при $M=\text{const}$, $M_c=\text{const}$.
8. Регулирование тока и момента при пуске ДПТ НВ с помощью резисторов в цепи якоря.
9. Неустановившееся движение ЭП при линейных механических характеристиках ЭД и исполнительного органа.
10. Структурная схема ЭП с подчиненным регулированием координат с последовательной коррекцией.
11. Электромеханическая постоянная времени переходного процесса.
12. Структурная схема ЭП с общим суммирующим усилителем и нелинейными обратными связями.
13. Показатели регулирования скорости ЭП.
14. Структурная схема ЭП с общим суммирующим усилителем.
15. Структурная схема ЭП, основные понятия.
16. Энергетические режимы работы ЭД.
17. Приведение момента нагрузки, моментов инерции и масс к валу ЭД.
18. Классификация ЭП по принципу построения систем управления.
19. Основное уравнение движения.

20. Характеристика механического и электрического способов регулирования координат.
21. Принцип регулирования координат по отклонению.
22. Регулирование координат ЭП в системе тиристорный преобразователь – двигатель.
23. Регулирование скорости ДПТ НВ с помощью резисторов в цепи якоря. Расчет регулировочных сопротивлений.
24. Регулирование координат ЭП с ДПТ НВ изменением напряжения на якоре.
25. Пуск ДПТ, пусковая диаграмма ДПТ НВ.
26. Импульсное регулирование скорости ЭП с ДПТ НВ.
27. Регулирование координат ДПТ последовательного возбуждения с помощью сопротивлений в цепи якоря.
28. Статические характеристики и режимы работы АД.
29. Регулирование скорости ДПТ НВ с помощью резисторов в цепи якоря. Расчет регулировочных сопротивлений методом пропорций.
30. Регулирование координат электропривода с АД изменением частоты питающего напряжения.
31. Пусковая диаграмма ДПТ НВ. Расчет добавочных сопротивлений.
32. Регулирование координат электропривода с АД изменением напряжения на статоре.
33. Регулирование скорости ДПТ НВ изменением магнитного потока.
34. Регулирование координат АД с помощью резисторов в цепи статора (ротора).
35. Система Генератор-Двигатель. Характеристики. Достоинства и недостатки.
36. Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов. Механические характеристики АД при переключении с треугольника на двойную звезду.
37. Регулирование координат ЭП с ДПТ НВ изменением напряжения на якоре. Характеристики системы тиристорный преобразователь – ДПТ НВ.
38. Регулирование скорости АД при переключении с соединения двойной звездой на звезду.
39. Импульсное регулирование скорости электропривода с ДПТ НВ.
40. Статические характеристики и режимы работы АД.

41. Регулирование скорости ДПТ независимого возбуждения шунтированием якоря.
42. Режим динамического торможения АД.
43. Статические характеристики и режимы работы ДПТ последовательного возбуждения.
44. Регулирование скорости АД в каскадных схемах включения.
45. Динамическое торможение ДПТ последовательного возбуждения в режиме самовозбуждения.
46. Схема замещения АД, электромеханические и механические характеристики АД.
47. Статические характеристики и режимы работы СД.
48. Классификация режимов работы электродвигателей.
49. Двухмассовая расчетная механическая система. Система уравнений движения для двухмассовой системы.
50. Косвенные методы проверки двигателя по нагреву.
51. Неустановившееся движение ЭП при произвольном характере изменения динамического момента от скорости.
52. Порядок расчета мощности и выбора ЭД для регулируемого ЭП.
53. Динамическая тепловая модель электродвигателя.
54. КПД электропривода и способы снижения потерь энергии ЭП в переходных режимах.
55. Коэффициент мощности ЭП и способы его повышения.
56. Оптимизация механической части электропривода.

5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

В данном разделе приведен образец экзаменационного билета для студентов, сдающих экзамен в очной форме, во время сессии в Томске. Билет содержит два теоретических вопроса и задачу по расчету характеристик и установившегося режима электропривода.

Билет № X

1. Динамическое торможение ДПТ последовательного возбуждения в режиме самовозбуждения.
2. Схема замещения АД, электромеханические и механические характеристики АД.

3. Задача.

Дано. Паспортные данные ДПТ НВ:

P_n кВт	U_n В	n_n об/мин	I_n А	R_y Ом	$R_{д.п.}$ Ом	$R_{к.о.}$ Ом
23	220	600	120	0,06	0,0245	0

Дополнительные условия:

R_d Ом	Φ/Φ_n	M_c/M_n	Режим работы двигателя
0,2	1,2	0,5	рекуперация

Определить: Частоту вращения и ток якоря электрической машины при ее работе на заданной механической характеристике.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Литература обязательная

1. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: учеб. пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 302 с.
2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода.– М: Издательство МЭИ, 2007.- 221 с.
3. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода.– М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
4. Москаленко В.В. Электрический привод.– М: Академия, 2007.- 368 с.
5. Ключев В.И. Теория электропривода.– М.: Энергоатомиздат, 2001.- 704 с.
6. Бекишев Р.Ф. Основы электропривода: учеб. пособие / Р.Ф. Бекишев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 171 с.
7. Ковчин С.А. Теория электропривода/ С.А. Ковчин, Ю.Д. Сабинин. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 496 с.
8. Чернышев А.Ю. Проектирование электрических приводов: учеб. пособие / А.Ю. Чернышев, Н.В. Кояин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.

6.2. Литература дополнительная

9. Онищенко Г.Б. Электрический привод / Г.Б. Онищенко – М.: РАСХН, 2003. – 320 с.
10. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов. – М.: Академия, 2004. – 576 с.
11. Автоматизированный электропривод общепромышленных установок / Г.Б. Онищенко [и др.]. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
12. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода. Инфра-М, 2004.- 208 с.

6.3. Учебно-методические пособия

13. Качин С.И. Автоматизированный электропривод: учебное пособие/ С.И. Качин, А. Ю. Чернышев, О.С. Качин.– Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– 162 с.

14. Дементьев Ю.Н. Теория электропривода: Лабораторный практикум: учебное пособие/ Ю.Н. Дементьев, И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), институт дистанционного образования (ИДО).– Томск: Изд-во ТПУ, 2013.– 214 с.

15. Теория электропривода. Лабораторный практикум/ И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, С.М. Семенов и др.; Томский политехнический университет.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.– 215 с.

16. Дементьев Ю.Н. Лабораторный практикум к выполнению лабораторных работ по курсу «Теория электропривода» для студентов направления 14.06.00 и специальности 14.06.04/ Ю.Н. Дементьев, С.М. Семенов, Ю.С. Боровиков.– Томск: Изд-во ТПУ, 2005.– 143 с.

17. Однокопылов И.Г. Электрический привод. Статика. Лабораторный практикум: учебное пособие/ И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов, С.И. Качин.– Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– 136 с.

18. Однокопылов И.Г. Электрический привод. Динамика. Лабораторный практикум: учебное пособие/ И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов, С.И. Качин.– Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– 103 с.

19. Основы электропривода. Часть I: сборник задач для студентов направления 55.13.00 и специальности 18.04.00 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / сост. Ю.Н. Дементьев, С.И. Качин; Томский политехнический университет. – Томск: изд. ТПУ, 2000. – 29 с.

20. Бекишев Р.Ф. Основы электропривода. Часть II: сборник задач / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев, С.И. Качин; Томский политехнический университет. – Томск, Изд. ТПУ, 2002. – 38 с.

6.4. Интернет-ресурсы

21. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс]. – Томск, 2006. – Режим доступа: [-http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart](http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart), вход свободный.

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Методические указания и индивидуальные задания

Составитель

КАЧИН Сергей Ильич

Рецензент

*кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН*

С.Н. Кладиев

Компьютерная верстка *В.П. Зимин*



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: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru