

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Бурковский А.В.

«31» августа 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Системы автоматического управления электроприводами»

Направление подготовки 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника"

Профиль "Электроприводы и системы управления электроприводов"

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2018

Автор программы

В.А. Медведев / В.А. Медведев /

Заведующий кафедрой
Электропривода, автоматики
и управления в технических
системах

В.Л. Бурковский / В.Л. Бурковский /

Руководитель ОПОП

В.М. Питолин / В.М. Питолин /

Воронеж 2018

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Обеспечение подготовки, позволяющей синтезировать системы автоматического управления электроприводами постоянного и переменного тока, а также формирование практических навыков осуществления критического анализа проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработки стратегии действий, управления проектом на всех этапах его жизненного цикла, разработки проектов системы электропривода.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- изучение основных понятий о системах автоматического управления электроприводами, их классификации и показателей качества управления;
- освоение теоретических основ построения цифровых систем управления электроприводами, методики синтеза цифрового контура регулирования;
- изучение структуры двухконтурного электропривода с вентильным двигателем и основных узлов его системы управления;
- освоение принципа векторного управления и методики синтеза системы векторного управления асинхронным электроприводом;
- приобретение навыков исследования современных систем автоматического управления электроприводами постоянного и переменного тока.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Системы автоматического управления электроприводами» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Системы автоматического управления электроприводами» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 - Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;

УК-2 - Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;

ПК-1 - Способен разрабатывать проекты системы электропривода.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	знать: анализирование проблемной ситуации и осуществление ее декомпозиции на отдельные задачи.
	уметь: вырабатывать стратегию решения поставленной задачи (составлять модель, определять ограничения, вырабатывать критерии, оценивать необходимость дополнительной информации).
	владеть: формированием возможных вариантов решения задач.

УК-2	знать: этапы, стадии, фазы жизненного цикла проекта.
	уметь: принимать решения по управлению проектом на основе математических методов, разработанных моделей и современных инструментальных средств.
	владеть: управлением проектом на всех этапах его жизненного цикла.
ПК-1	знать: требования нормативных документов к устройству системы электропривода, правила разработки проектов системы электропривода, правила разработки комплектов проектной и рабочей документации на системы электропривода, типовые проектные решения системы электропривода.
	уметь: применять правила разработки проектов системы электропривода, типовые проектные решения, систему автоматизированного проектирования и программу для разработки комплектов конструкторской документации на различных стадиях проектирования системы электропривода с использованием отдельных частей документации, выполненных работниками, осуществляющими проектирование.
	владеть: разработкой технических заданий на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода; сбором информации о системах электропривода и используемом оборудовании ведущих производителей; применением системы автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода; выбором оборудования для системы электропривода.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Системы автоматического управления электроприводами» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18

Самостоятельная работа	144	144
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	216 6	216 6

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1 семестр							
1	Общая характеристика систем автоматического управления электроприводов	Понятие о системах управления электроприводов. Классификация систем управления электроприводов. Показатели качества управления электроприводов.	2	–	–	7	9
2	Теоретические основы построения цифровых систем управления электроприводов	Математическое описание цифровой системы управления электропривода. Структурная схема и дискретная передаточная функция для цифрового контура регулирования электропривода. Методика синтеза цифрового контура регулирования.	4	6	–	39	49
3	Управление синхронным двигателем в схеме вентильного двигателя	Вентильный электропривод на основе трехфазной синхронной машины с постоянным магнитом. Процесс коммутации ключей в схеме вентильного двигателя. Элементы вентильного электропривода и диаграммы сигналов на их выходах.	6	6	–	46	58
4	Система генератор – двигатель	Электрическая схема системы тиристорный возбудитель – генератор – двигатель. Настройка контура тока и контура ЭДС в системе тиристорный возбудитель – генератор – двигатель.	2	2	–	15	19
5	Системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода	Векторные диаграммы с опорным вектором основного потокосцепления АД и потокосцепления ротора. Система Transvektor регулирования скорости АД с управлением по вектору потокосцепления ротора двигателя.	4	4	–	37	45
Итого			18	18	0	144	180

5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Системы автоматического управления электроприводами» не предусмотрены учебным планом.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 3 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Разработка и исследование системы автоматического управления электроприводом».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

– обзор отечественных и зарубежных аналогов систем автоматического управления электроприводов, которые имеют возможность применения в заданном технологическом процессе.

– определение статических и динамических нагрузок, влияющих на выбор системы автоматического управления;

– расчет мощности двигателя и выбор двигателя с преобразователем;

– обоснование выбора метода управления, позволяющего обеспечить высокое качество управления электроприводом в статических и динамических режимах в широком диапазоне регулирования скоростей;

– разработка математической модели регулируемого электропривода с учетом управляющих и возмущающих воздействий;

– исследование динамических и статических характеристик электропривода с позиции выбранных критериев качества;

– оценка точности отработки управляющих сигналов;

– вопросы расчета параметров и наладки системы автоматического управления электроприводом.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
УК-1	знать: анализирование проблемной ситуации и осуществление ее декомпозиции на отдельные задачи	Системность знаний об анализировании проблемной ситуации и осуществлении ее декомпозиции на отдельные задачи	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	уметь: вырабатывать стратегию решения поставленной задачи (составлять модель, определять ограничения, вырабатывать критерии, оценивать необходимость дополнительной информации)	Степень самостоятельности выработки стратегии решения поставленной задачи (составления модели, определения ограничений, выработки критериев, оценки необходимости дополнительной информации)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: формированием возможных вариантов решения задач	Готовность к формированию возможных вариантов решения задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
УК-2	знать: этапы, стадии, фазы жизненного цикла проекта	Полнота знания этапов, стадий, фаз жизненного цикла проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: принимать решения по управлению проектом на основе математических методов, разработанных моделей и современных инструментальных средств	Осознанность принятия решения по управлению проектом на основе математических методов, разработанных моделей и современных инструментальных средств	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: управлением проектом на всех этапах его жизненного цикла	Высокий уровень самостоятельности при управлении проектом на всех этапах его жизненного цикла	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	знать: требования нормативных документов к устройству системы электропривода, правила разработки проектов системы электропривода, правила разработки комплектов проектной и рабочей документации на системы электропривода, типовые проектные решения системы электропривода	Полнота знания требований нормативных документов к устройству системы электропривода, правил разработки проектов системы электропривода, правил разработки комплектов проектной и рабочей документации на системы электропривода, типовых проектных решений системы электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: применять правила разработки проектов системы электропривода, типовые проектные решения, систему автоматизированного проектирования и программу для разработки комплектов конструкторской документации на различных стадиях проектирования системы электропривода с использованием отдельных частей документации, выполненных работниками, осуществляющими проектирование	Осознанность применения правил разработки проектов системы электропривода, типовых проектных решений, системы автоматизированного проектирования и программы для разработки комплектов конструкторской документации на различных стадиях проектирования системы электропривода с использованием отдельных частей документации, выполненных работниками, осуществляющими проектирование	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	владеть: разработкой технических заданий на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода; сбором информации о системах электропривода и используемом оборудовании ведущих производителей; применением системы автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода; выбором оборудования для системы электропривода.	Высокий уровень самостоятельности при разработке технических заданий на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода; сборе информации о системах электропривода и используемом оборудовании ведущих производителей; применении системы автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода; выборе оборудования для системы электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
--	---	---	---	---

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в первом семестре по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

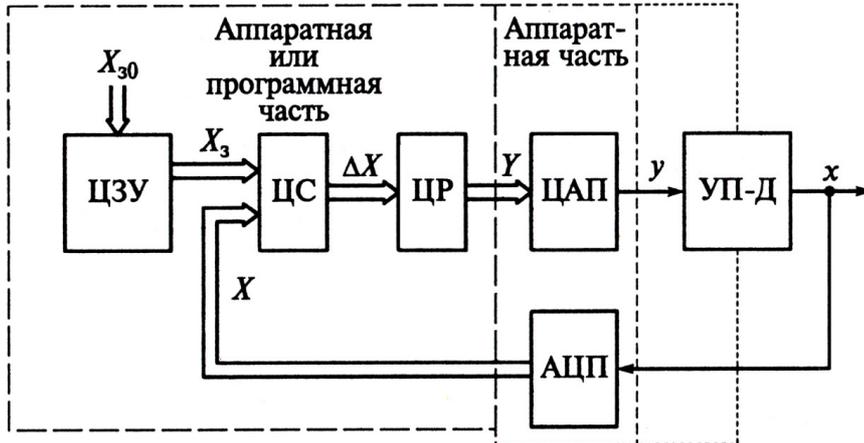
Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
УК-1	знать: анализирование проблемной ситуации и осуществление ее декомпозиции на отдельные задачи	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: вырабатывать стратегию решения поставленной задачи (составлять модель, определять ограничения, вырабатывать критерии, оценивать необходимость дополнительной информации)	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть: формированием возможных вариантов решения задач	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
УК-2	знать: этапы, стадии, фазы жизненного цикла проекта	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	уметь: принимать решения по управлению проектом на основе математических методов, разработанных моделей и современных инструментальных средств	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть: управлением проектом на всех этапах его жизненного цикла	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-1	знать: требования нормативных документов к устройству системы электропривода, правила разработки проектов системы электропривода, правила разработки комплектов проектной и рабочей документации на системы электропривода, типовые проектные решения системы электропривода	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: применять правила разработки проектов системы электропривода, типовые проектные решения, систему автоматизированного проектирования и программу для разработки комплектов конструкторской документации на различных стадиях проектирования системы электропривода с использованием отдельных частей документации, выполненных работниками, осуществляющими проектирование	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть: разработкой технических заданий на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода; сбором информации о системах электропривода и используемом оборудовании ведущих производителей; применением системы автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода; выбором оборудования для системы электропривода.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Задание 1



Отметьте правильный ответ.

Аббревиатурой ЦЗУ на рисунке обозначен:

- 1) цифровой знакопеременный усилитель;
- 2) центральное задающее устройство;
- 3) цифровое запоминающее устройство;
- 4) цифровое задающее устройство.

Задание 2

Отметьте правильный ответ

Условие приближения кубического сплайна имеет вид:

- 1) $P_{j,s2}(t_s) = q_{j,s}, s = 0, 1, 2, \dots, m;$
- 2) $P_{j,s3}(t_s) = q_{j,s+1}, s = 0, 1, 2, \dots, m;$
- 3) $P_{j,s3}(t_s) = q_{j,s}, s = 1, 2, \dots, m-1;$
- 4) $P_{j,s3}(t_s) = q_{j,s}, s = 0, 1, 2, \dots, m;$

Задание 3

Отметьте правильный ответ

Если движение начинается из состояния покоя и заканчивается состоянием покоя, то граничные условия при интерполяции траектории с помощью кубического сплайна имеют вид:

- 1) $\ddot{P}_{j,13}(t_0) = \ddot{P}_{j,m3}(t_m) = 0;$
- 2) $\dot{P}_{j,13}(t_3) = \dot{P}_{j,m3}(t_m) = 0;$
- 3) $\dot{P}_{j,13}(t_0) = \dot{P}_{j,m3}(t_m) = 0;$

$$4) \dot{P}_{j,13}(t_m) = \dot{P}_{j,m3}(t_3) = 0.$$

Задание 4

$$P_{j,s3}(t) = M_{j,s-1} \frac{(t_s - t)^3}{6h_s} + M_{js} \frac{(t - t_{s-1})^3}{6h_s} + (q_{j,s-1} - M_{j,s-1} \frac{h_{js}^2}{6} \frac{t_s - t}{h_s}) \frac{t_s - t}{h_s} + (q_{js} - M_{js} \frac{h_{js}^2}{6} \frac{t - t_{s-1}}{h_s}) \frac{t - t_{s-1}}{h_s}$$

Отметьте правильный ответ

В представленном выражении для кубического сплайна величина h_s есть:

- 1) номер временного интервала;
- 2) текущее время;
- 3) значение обобщенной координаты;
- 4) длительность временного интервала между опорными точками.

Задание 5

$$M_{j0} \frac{h_1}{3} + M_{j1} \frac{h_1}{6} = \frac{q_{j1} - q_{j0}}{h_1},$$

$$M_{j,m-1} \frac{h_m}{6} + M_{jm} \frac{h_m}{3} = \frac{q_{j,m-1} - q_{jm}}{h_m},$$

$$M_{j,s-1} \frac{h_s}{6} + M_{js} \frac{h_s + h_{s+1}}{3} + M_{j,s+1} \frac{h_{s+1}}{6} = \frac{q_{j,s+1} - q_{js}}{h_{s+1}} - \frac{q_{js} - q_{j,s-1}}{h_s}, \quad s = 1, \dots, m-1$$

Отметьте правильный ответ

Представленная система уравнений для определения параметров $M_{j0}, M_{j1}, \dots, M_{jm}$ кубического сплайна получена из:

- 1) условия приближения;
- 2) условия непрерывности скоростей;
- 3) условия равенства нулю скорости сигнала в начале и в конце траектории;
- 4) условия равенства нулю скорости входного сигнала в начале и в конце траектории, а также условия непрерывности скоростей.

Задание 6

Отметьте правильный ответ.

В разомкнутой системе автоматического управления отсутствует:

- 1) обратная связь;
- 2) защита от перегрузки;
- 3) исполнительный механизм;
- 4) преобразователь энергии.

Задание 7

Отметьте правильный ответ.

Что происходит с коэффициентом усиления при положительной обратной связи:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) остается без изменения;

- 4) становится равным нулю;
- 5) равен бесконечности.

Задание 8

Отметьте правильный ответ.

Что происходит с коэффициентом усиления при отрицательной обратной связи:

- 1) уменьшается;
- 2) увеличивается;
- 3) равен бесконечности;
- 4) становится равным нулю.

Задание 9

Отметьте правильный ответ.

Верхний уровень системы управления электроприводами:

- 1) вырабатывает технологическое задание на движение рабочих органов;
- 2) формирует управляющие воздействия на двигатели;
- 3) измеряет температуру двигателей;
- 4) измеряет скорость двигателей.

Задание 10

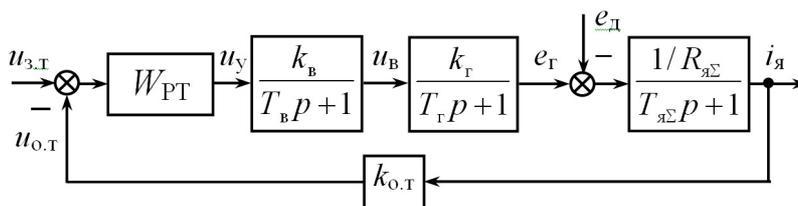
Отметьте правильный ответ.

Нижний уровень системы управления электроприводами:

- 1) формирует статические, динамические, точностные характеристики электропривода;
- 2) формирует задающие воздействия на электроприводы;
- 3) обеспечивает согласованную работу нескольких электроприводов;
- 4) обеспечивает интеллектуальное управление технологической установкой.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задание 1



Определить постоянную времени интегрирования ПИ-регулятора тока

Исходные данные.

Коэффициент усиления тиристорного возбудителя: $k_{в} = 22$.

Постоянная времени тиристорного возбудителя: $T_{в} = 0,125$ с.

Коэффициент усиления генератора: $k_{г} = 1,7273$.

Активное сопротивление цепи генератор – двигатель: $R_{яΣ} = 0,04876$ Ом.

Суммарная постоянная времени цепи генератор – двигатель: $T_{яΣ} = 0,0367$ с.

Коэффициент обратной связи по току: $k_{о.т} = 0,006667$ В.

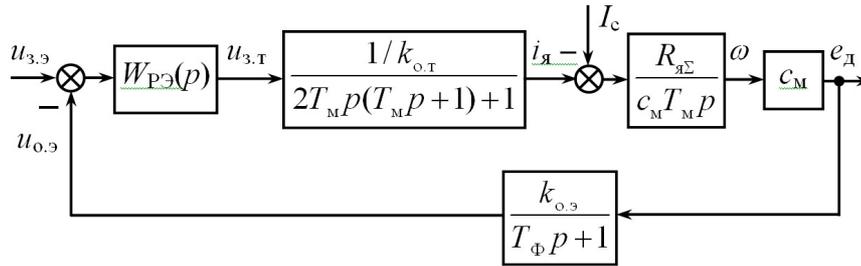
Варианты ответов:

- 1) $T_{и} = 0,52$ с;
- 2) $T_{и} = 2,53$ с;

3) $T_n = 1,68$ с;

4) $T_n = 5,86$ с.

Задание 2



Определить электромеханическую постоянную времени и номинальную ЭДС двигателя

Исходные данные.

Номинальная частота вращения двигателя: $n_{ном} = 750$ об/мин.

Номинальная мощность двигателя: $P_{ном} = 200$ кВт.

Номинальный ток якоря: $I_{я,ном} = 585$ А.

Активное сопротивление цепи генератор – двигатель: $R_{яΣ} = 0,04876$ Ом.

Суммарный момент инерции двигателя и механизма: $J_Σ = 16,42$ кг·м².

Варианты ответов:

1) $T_M = 0,02543$ с, $E_{д,ном} = 215,32$ В;

2) $T_M = 0,04225$ с, $E_{д,ном} = 341,88$ В;

3) $T_M = 0,82275$ с, $E_{д,ном} = 184,54$ В;

4) $T_M = 0,43268$ с, $E_{д,ном} = 436,76$ В.

Задание 3

Определить эквивалентное активное сопротивление цепи статора

Исходные данные.

Взаимная индуктивность: $L_{12} = 0,094$ Гн.

Собственная индуктивность обмотки статора: $L_1 = 0,1051$ Гн.

Собственная индуктивность обмотки ротора: $L_2' = 0,1$ Гн.

Активное сопротивление обмотки статора: $R_1 = 1,32$ Ом;

Приведенное активное сопротивление обмотки ротора: $R_2' = 4,22$ Ом.

Варианты ответов:

1) $R_{1э} = 5,049$ Ом;

2) $R_{1э} = 3,471$ Ом;

3) $R_{1э} = 4,297$ Ом;

4) $R_{1э} = 2,653$ Ом.

Задание 4

Определить при векторном управлении проекцию вектора тока статора на ось x и коэффициент обратной связи по току I_{1x}

Исходные данные.

Взаимная индуктивность: $L_{12} = 0,094$ Гн.

Потокосцепление ротора $|\Psi_2| = 0,87$ Вб.

Варианты ответов:

1) $I_{1x} = 6,543$ А, $k_{о,Т1} = 9,76$ В/А;

2) $I_{1x} = 4,357$ А, $k_{о,Т1} = 5,47$ В/А;

3) $I_{1x} = 9,255$ А, $k_{о,Т1} = 1,08$ В/А;

4) $I_{1x} = 7,864 \text{ А}$, $k_{o,т1} = 6,59 \text{ В/А}$.

Задание 5

Определить коэффициент рассеяния магнитного поля асинхронного двигателя и электромагнитную постоянную времени цепи статора

Исходные данные.

Взаимная индуктивность: $L_{12} = 0,094 \text{ Гн}$.

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора: $R_{1\sigma} = 5,049 \text{ Ом}$.

Собственная индуктивность обмотки статора: $L_1 = 0,1051 \text{ Гн}$.

Собственная индуктивность обмотки ротора: $L_2' = 0,1 \text{ Гн}$.

Варианты ответов:

1) $\sigma = 0,9861$, $T_{1\sigma} = 0,002536 \text{ с}$;

2) $\sigma = 0,1593$, $T_{1\sigma} = 0,003316 \text{ с}$;

3) $\sigma = 0,7721$, $T_{1\sigma} = 0,008694 \text{ с}$;

4) $\sigma = 0,6324$, $T_{1\sigma} = 0,005647 \text{ с}$.

Задание 6

Определить постоянную времени регулятора тока по оси x

Исходные данные.

Постоянная времени преобразователя $T_{п} = 0,007 \text{ с}$.

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора: $R_{1\sigma} = 5,049 \text{ Ом}$.

Коэффициент обратной связи по току: $k_{o,т1} = 1,08 \text{ В/А}$.

Проекция вектора тока статора на ось x : $I_{1x} = 9,255 \text{ А}$.

Варианты ответов:

1) $T_{и.р.т1} = 0,05678 \text{ с}$;

2) $T_{и.р.т1} = 0,03425 \text{ с}$;

3) $T_{и.р.т1} = 0,07896 \text{ с}$;

4) $T_{и.р.т1} = 0,01399 \text{ с}$.

Задание 7

Определить постоянную времени регулятора потока

Исходные данные.

Потокосцепление ротора $|\Psi_2| = 0,87 \text{ Вб}$.

Постоянная времени преобразователя $T_{п} = 0,007 \text{ с}$.

Взаимная индуктивность: $L_{12} = 0,094 \text{ Гн}$.

Коэффициент обратной связи по току: $k_{o,т1} = 1,08 \text{ В/А}$.

Варианты ответов:

1) $T_{и.р.пт} = 0,02801 \text{ с}$;

2) $T_{и.р.пт} = 0,04738 \text{ с}$;

3) $T_{и.р.пт} = 0,03453 \text{ с}$;

4) $T_{и.р.пт} = 0,04637 \text{ с}$.

Задание 8

Определить проекцию вектора тока статора на ось y и коэффициент обратной связи по току I_{1y}

Исходные данные.

Статический момент двигателя $M_c = 5,95$ Н·м.

Потокосцепление ротора $|\Psi_2| = 0,87$ Вб.

Взаимная индуктивность: $L_{12} = 0,094$ Гн.

Собственная индуктивность обмотки ротора: $L_2' = 0,1$ Гн.

Число пар полюсов $p_n = 6$.

Варианты ответов:

- 1) $I_{1y} = 0,3764$ А, $k_{o.r2} = 35,24$ В/А;
- 2) $I_{1y} = 0,7859$ А, $k_{o.r2} = 67,56$ В/А;
- 3) $I_{1y} = 0,8084$ А, $k_{o.r2} = 14,22$ В/А;
- 4) $I_{1y} = 0,2433$ А, $k_{o.r2} = 35,69$ В/А.

Задание 9

Определить постоянную времени регулятора тока I_{1y}

Исходные данные.

Эквивалентный коэффициент передачи преобразователя $k_{п2} = 0,4082$.

Постоянная времени преобразователя $T_n = 0,007$ с.

Коэффициент обратной связи по току $k_{o.r2} = 14,22$ В/А.

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора: $R_{1\sigma} = 5,049$ Ом.

Варианты ответов:

- 1) $T_{и.p.r2} = 0,0263$ с;
- 2) $T_{и.p.r2} = 0,0845$ с;
- 3) $T_{и.p.r2} = 0,0435$ с;
- 4) $T_{и.p.r2} = 0,0161$ с.

Задание 10

Определить коэффициент передачи и постоянную интегрирования ПИ-регулятора скорости

Исходные данные.

Скорость двигателя $\omega = 45,6$ рад/с.

Коэффициент обратной связи по току $k_{o.r2} = 14,22$ В/А.

Число пар полюсов $p_n = 6$.

Постоянная времени преобразователя $T_n = 0,007$ с.

Коэффициент электромагнитной связи ротора $k_2 = 0,94$.

Суммарный момент инерции на валу двигателя $J_\Sigma = 0,577$ кг·м².

Варианты ответов:

- 1) $k_{p.c} = 6.735$, $T_{и.p.c} = 0,003726$ с;
- 2) $k_{p.c} = 4.422$, $T_{и.p.c} = 0,001568$ с;
- 3) $k_{p.c} = 5.524$, $T_{и.p.c} = 0,002645$ с;

4) $k_{p.c} = 3.354$, $T_{и.p.c} = 0,004758$ с.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

В ходе выполнения курсового проекта в 3 семестре решаются следующие прикладные задачи:

- определение статических и динамических нагрузок, влияющих на выбор системы автоматического управления;
- расчет мощности двигателя и выбор двигателя с преобразователем;
- обоснование выбора метода управления, позволяющего обеспечить высокое качество управления электромеханическим комплексом в статических и динамических режимах в широком диапазоне регулирования скоростей;
- разработка математической модели регулируемого электропривода с учетом управляющих и возмущающих воздействий;
- исследование динамических и статических характеристик электропривода с позиции выбранных критериев качества;
- оценка точности обработки управляющих сигналов;
- расчет параметров и наладка системы автоматического управления электропривода.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Зачет по дисциплине «Системы автоматического управления электроприводами» не предусмотрен учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Понятие о системах управления электроприводов.
2. Классификация систем управления электроприводов.
3. Показатели качества управления электроприводов.
4. Понятие цифровой системы управления электропривода.
5. Расчетные модели цифровой системы управления с учетом дискретности по уровню.
6. Выбор расчетной модели аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователя по уровню искажения полезного сигнала при его квантовании.
7. Схема цифрового контура электропривода.
8. Математическое описание цифровой системы управления на основе теории импульсных систем.
9. Структурная схема и дискретная передаточная функция для цифрового контура регулирования координаты электропривода.
10. Определение дискретной передаточной функции цифрового регулятора.
11. Условия реализуемости желаемой динамики цифрового контура регулирования электропривода.
12. Синтез цифрового контура регулирования в соответствии с уравнением реализуемости.

13. Преимущества вентильного двигателя по сравнению с коллекторным двигателем постоянного тока.
14. Схема включения вентильного двигателя на основе трехфазной синхронной машины с постоянным магнитом.
15. Процесс коммутации ключей в схеме вентильного двигателя.
16. Конструкция оптического датчика положения ротора двигателя.
17. Диаграммы сигналов на выходе датчика и сформированных распределителем импульсов управляющих сигналов.
18. Состав силовой цепи вентильного двигателя.
19. Функциональная схема системы управления вентильного электропривода с контурами тока и скорости.
20. Режимы работы коммутатора. Схема релейного регулятора тока.
21. Алгоритм работы релейного регулятора тока.
22. Структурная схема двухконтурного электропривода с вентильным двигателем.
23. Электрическая схема системы тиристорный возбудитель – генератор – двигатель.
24. Настройка контура тока в системе тиристорный возбудитель – генератор – двигатель.
25. Настройка контура ЭДС в системе тиристорный возбудитель – генератор – двигатель.
26. Системы с косвенным регулированием координат электропривода и с прямым векторным управлением. Основные допущения при математическом описании электромагнитных процессов в АД.
27. Векторные диаграммы с опорным вектором основного потокосцепления и потокосцепления ротора.
28. Определение проекций векторов напряжений, токов, потокосцеплений статора и ротора при управлении по вектору потокосцепления ротора.
29. Функциональная схема системы Transvektor регулирования скорости АД с управлением по вектору потокосцепления ротора двигателя.
30. Определение проекций векторов напряжений, токов, потокосцеплений на оси неподвижной и вращающейся систем координат.
31. Структурная схема системы регулирования скорости АД с управлением по вектору потокосцепления ротора.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент

набрал от 6 до 10 баллов.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Общая характеристика систем автоматического управления электроприводов	УК-1, ПК-1	Тест, решение стандартных задач, защита курсового проекта
2	Теоретические основы построения цифровых систем управления электроприводов	УК-1, ПК-1	Тест, решение стандартных задач
3	Управление синхронным двигателем в схеме вентильного двигателя	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, решение прикладных задач, защита курсового проекта
4	Система генератор – двигатель	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, решение прикладных задач, защита курсового проекта
5	Системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, решение прикладных задач, защита курсового проекта

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

При проработке конспектов лекций и самостоятельном изучении разделов теоретического материала необходимо использовать учебники и учебное пособие:

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник: допущено УМО / А.С. Анучин. – М: Издательский дом МЭИ, 2015. – 372 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М: Издательский центр “Академия”, 2006. – 304 с.
3. Медведев В.А. Системы автоматического управления электроприводами: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.А. Медведев, А.В. Романов. – Воронеж: ВГТУ, 2017. – 100 с.

При подготовке к практическим занятиям и выполнении курсового проекта следует использовать учебное пособие и учебники:

1. Романов А.В. Элементы расчета систем управления электроприводом: практикум: учеб. пособие / А.В. Романов. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – 153 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для вузов / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 272 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Лицензионное программное обеспечение

1. LibreOffice;
2. Microsoft Office Word 2013/2007;
3. Microsoft Office Excel 2013/2007;
4. Microsoft Office Power Point 2013/2007;
5. Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academi;c
6. ABBYY FineReader 9.0.
7. FEMM 4.2;
8. SciLab

9. MATLAB Classroom
10. Simulink Classroom

Отечественное ПО

1. «Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»».
2. Модуль «Программный комплекс поиска текстовых заимствований в открытых источниках сети интернет «Антиплагиат-интернет»».
3. Модуль обеспечения поиска текстовых заимствований по коллекции диссертаций и авторефератов Российской государственной библиотеки (РГБ).
4. Модуль поиска текстовых заимствований по коллекции научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Ресурс информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://www.edu.ru/>
Образовательный портал ВГТУ

Информационная справочная система

1. <http://window.edu.ru>
2. <https://wiki.cchgeu.ru/>

Современные профессиональные базы данных

1. Электротехника. Сайт об электротехнике

Адрес ресурса: <https://electrono.ru>

2. Электротехнический портал

<http://электротехнический-портал.рф/>

3. Силовая электроника для любителей и профессионалов

<http://www.multikonelectronics.com/>

4. Электроцентр

Адрес ресурса: <http://electrocentr.info/>

5. Netelectro

Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления

Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>

6. Marketelectro

Отраслевой электротехнический портал. Представлены новости отрасли и компаний, объявления, статьи, информация о мероприятиях, фотогалерея, видеоматериалы, нормативы и стандарты, библиотека, электромаркетинг

Адрес ресурса: <https://marketelectro.ru/>

4. Электромеханика

Адрес ресурса: <https://www.electromechanics.ru/>

7. *Electrical 4U*

Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник»

Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>

8. *All about circuits*

Одно из самых крупных онлайн-сообществ в области электротехники. На сайте размещены статьи, форум, учебные материалы (учебные пособия, видеолекции, разработки, вебинары) и другая информация

Адрес ресурса: <https://www.allaboutcircuits.com>

9. *Библиотека ООО «Электропоставка»*

Адрес ресурса: <https://elektropostavka.ru/library>

10. *Электрик*

Адрес ресурса: <http://www.electrik.org/>

11. *Чертижи.ru*

Адрес ресурса: <https://chertezhi.ru/>

12. *Электроспец*

Адрес ресурса: <http://www.elektropspets.ru/index.php>

13. *Библиотека*

Адрес ресурса: WWER <http://lib.wwer.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. **Специализированная лекционная аудитория**, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. **Специализированная учебная аудитория** для проведения практических занятий.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Системы автоматического управления электроприводами».

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение навыков разработки, расчета параметров и моделирования систем автоматического управления электроприводами постоянного и переменного тока. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Контроль усвоения материала дисциплины производится сдачей тестов, защитой курсового проекта, решением стандартных и прикладных задач.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение индивидуальных заданий, принятие решений.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - выполнение курсового проекта; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.3 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
2	Актуализирован раздел 8.3 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	