

**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

«Моделирование и исследование электроприводов»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электропривод и автоматика

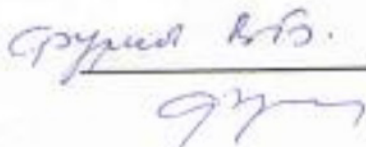
Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2018

Автор программы



Фурсов В.Б.

Заведующий кафедрой
Электропривода, автомати-
ки и управления в техниче-
ских системах



Бурковский В.Л.

/ Руководитель ОПОП



Питолин В.М.

Воронеж 2018

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование основных научно-практических, общесистемных знаний в области моделирования и исследования электромеханических систем.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение вопросов применения различных способов и средств моделирования и исследования электромеханических систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося

Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь базовую подготовку по высшей математике, физике, информатике, механике, теоретическим основам электротехники, теории автоматического управления, силовой электроники, электрических машин, теории электропривода в пределах программы высшего профессионального образования в объеме бакалавриата.

2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее

Моделирование систем управления электроприводов. Дискретные системы программного управления. Комплексная автоматизация на базе микропроцессорных систем.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование и исследование электроприводов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен разрабатывать проектные решения отдельных частей системы электропривода и всей системы электропривода

ПК-4 - Способен разрабатывать проектные решения отдельных частей автоматизированной системы управления технологическими процессами

ПК-6 - Способен осуществлять пред проектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	Знать типовые проектные решения по простым узлам, блокам системы электропривода, аналогичным подлежащим разработке.
	Уметь выполнять расчеты для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.

	Владеть навыками анализа частного технического задания на разработку простых узлов, блоков системы электропривода.
ПК-4	Знать методики выполнения расчетов для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.
	Уметь выполнять расчеты для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.
	Владеть анализом исходных материалов для оформления комплектов конструкторских документов на различных стадиях проектирования системы электропривода.
ПК-6	Знать методики определения характеристик оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы.
	Уметь определять в процессе предпроектного обследования параметры оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы согласно методикам и процедурам системы менеджмента качества, требованиям частного технического задания на проведение обследования.
	Владеть навыками анализа частного задания на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование и исследование электроприводов» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	8
Аудиторные занятия (всего)	157	85	72
В том числе:			
Лекции	58	34	24

Практические занятия (ПЗ)	41	17	24
Лабораторные работы (ЛР)	58	34	24
Самостоятельная работа	131	59	72
Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	324 9	144 4	180 5

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		9	10
Аудиторные занятия (всего)	50	18	32
В том числе:			
Лекции	12	6	6
Практические занятия (ПЗ)	18	6	12
Лабораторные работы (ЛР)	20	6	14
Самостоятельная работа	261	122	139
Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	13	4	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	324 9	144 4	180 5

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	Программное обеспечение моделирования. Методы численного решения дифференциальных уравнений.	Введение. Компьютерное моделирование и его особенности. Общая схема построения современных программ по моделированию. Составление и перспективы моделирования электромеханических систем. Программное обеспечение моделирования. Методы численного решения дифференциальных уравнений. Программа Simulink. Моделирование линейных систем автоматического управления. Блоки Simulink. Создание субсистем. Приложение SimPowerSystem. Назначение и возможности. Библиотека SimPowerSystem: электрические источники, элементы, машины, измерения, силовая электроника.	4	3	-	2	8
2	Математические модели элементов электропривода.	Управляемые источники питания, их математическое описание и компьютерные модели. Управляемые тиристорные выпрямители. Широтно-импульсные преобразователи; автономные инверторы с различными законами управления. ШИМ инверторы; их характеристики; замкнутые и разомкнутые. Многоуровневые инверторы. Электрические двигатели. Моделирование работы двигателей. ДПТ – двигатель постоянного тока, упрощенная и полная модели, линейная и нелинейная. Влияние нагрузки, двухмассовая нагрузка. Встроенная модель ДПТ. Пуск ДПТ с односторонней и двухмассовой нагрузкой. СДПМ – синхронный двигатель с постоянными магнитами: запись уравнений для трехфазной модели. Оси dq. Преобразование осей координат. Уравнения СДПМ в осях dq. Встроенная модель СДПМ. Пуск СДПМ. Влияние нагрузки. БДПТ – бесконтактный двигатель постоянного тока. СДПМ как БДПТ. Принцип работы, механические характеристики. Отличие от ДПТ. Индукторный двигатель. Переход от СДПМ к реактивному двигателю, уравнения в осях dq. Вращающий момент. Встроенная модель. АД – асинхронный двигатель. Уравнения АД в координатах ABC. Переход к осям $\alpha\beta$. Уравнения АД в осях dq. Встроенная модель АД. Моделирование датчиков автоматизированных электроприводов. Дат-	30	15	34	57	136

		чики скорости – тахогенераторы. Датчики угла. Преобразователи аналого-цифровой и цифро-аналоговый.					
3	Моделирование систем управления электроприводом	Регулирование в приводах. Основные показатели качества регулирования. Особенности нелинейных систем. Область допустимых значений регулирования. Регуляторы. Модели. Системы подчиненного управления. Двухконтурная система управления ДПТ с обратными связями по току и скорости. Настройка системы. Асинхронные электроприводы со скалярным управлением. Законы регулирования. Векторная система управления СМПП с обратными связями по току и скорости. Моделирование векторной системы управления АД по полю с обратными связями по току и скорости. Цифровые системы управления. Информация в цифровых системах. Квантование. Уравнения для цифровых систем регулирования. Моделирование цифровых систем - две задачи моделирования: Влияние квантованности на устойчивость и качество регулирования. Соответствие программы для микроконтроллера поставленной задаче регулирования. Методы решений. Фазоимпульсные системы управления. Особенности математических моделей. Сложности моделирования. Оптимизация и настройка систем регулирования. Приложение SISO Design Tool и его применение к настройке динамики и статики линейных систем управления. Приложение Simulink Optimization для оптимизации нелинейных систем управления. Применение программ оптимизации.	24	24	24	72	144
Итого			58	41	58	131	288

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Программное обеспечение моделирования. Методы численного решения дифференциальных уравнений. Методы численного решения дифференциальных уравне-	Программное обеспечение моделирования. Методы численного решения дифференциальных уравнений. Программа Simulink. Моделирование линейных систем автоматического управления. Блоки Simulink. Создание субсистем. Приложение SimPowerSystem. Назначение и возможности. Библиотека SimPowerSystem	-	-	-	8	8

	ний.						
2	Математические модели элементов в электроприводе.	Управляемые источники питания, компьютерные модели. Управляемые тиристорные выпрямители. Широтно-импульсные преобразователи; автономные инверторы с различными законами управления. ШИМ инверторы; их характеристики; замкнутые и разомкнутые. Многоуровневые инверторы. Электрические двигатели. Моделирование работы двигателей. ДПТ – двигатель постоянного тока, упрощенная и полная модели, линейная и нелинейная. Влияние нагрузки, двухмассовая нагрузка. Пуск ДПТ с односторонней и двухмассовой нагрузкой. СДПМ – синхронный двигатель с постоянными магнитами; запись уравнений для трехфазной модели. Оси dq. Преобразование осей координат. Уравнения СДПМ в осях dq. Встроенная модель СДПМ. БДПТ – бесконтактный двигатель постоянного тока. СДПМ как БДПТ. Принцип работы, механические характеристики. Отличие от ДПТ. АД – асинхронный двигатель. Уравнения АД в координатах ABC. Переход к осям $\alpha\beta$. Встроенная модель АД. Моделирование датчиков автоматизированных электроприводов. Датчики скорости – тахогенераторы. Датчики угла. Преобразователи аналого-цифровой и цифро-аналоговый.	6	6	6	114	132
3	Моделирование систем управления электроприводом	Регулирование в приводах. Системы подчиненного управления. Двухконтурная система управления ДПТ с обратными связями по току и скорости. Настройка системы. Асинхронные электроприводы со скалярным управлением. Законы регулирования. Векторная система управления СМПП с обратными связями по току и скорости. Моделирование векторной системы управления АД по полю с обратными связями по току и скорости. Цифровые системы управления. Информация в цифровых системах. Квантование. Уравнения для цифровых систем регулирования. Моделирование цифровых систем - две задачи моделирования: Влияние квантованности на устойчивость и качество регулирования. Оптимизация и настройка систем регулирования. Приложение SISO Design Tool и его применение к настройке динамики и статики линейных систем управления. Приложение Simulink Optimization для оптимизации нелинейных систем управления.	6	12	14	139	171
Итого			12	18	20	261	311

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Моделирование электронных преобразователей. Управляемые источники постоянного напряжения.
2. Моделирование электронных преобразователей. Инверторы.
3. Моделирование ШИМ инверторов: разомкнутые и замкнутые.
4. Моделирование двигателей постоянного тока. Создание subsystem.
5. Моделирование синхронной машины с постоянными магнитами (БДПТ – бесконтактного двигателя постоянного тока).
6. Моделирование асинхронного двигателя.
7. Моделирование датчиков скорости.
8. Моделирование системы подчиненного управления.
9. Моделирование системы скалярного управления асинхронным двигателем.
10. Моделирование системы векторного управления синхронной машиной с постоянными магнитами.
11. Моделирование системы векторной системы управления асинхронным двигателем.
12. Моделирование цифровых систем управления электроприводом.
13. Оптимизация системы подчиненного регулирования.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 8 семестре для очной формы обучения, 10.

Примерная тематика курсового проекта: «Цифровая векторная система управления СДПМ с энкодером»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

1. Умение работать с литературой (обзор литературы по данному вопросу). Знать способы и средства моделирования электромеханических систем. (ПК3)
2. Умение ставить задачу (самостоятельное формулирование технического задания). Уметь разрабатывать проектные решения системы электропривода. (ПК-3)
3. Умение добиваться решения задачи (построение работающей математи-

ческой модели, получение результата согласующегося с имеющимися данными). Уметь применять численные методы анализа к математическим моделям элементов электропривода. (ПК-4)

Курсовой проект включает в себя графическую часть, расчетно-пояснительную записку и работающую математическую модель.

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
ПК-3	Знать типовые проектные решения по простым узлам, блокам системы электропривода, аналогичным подлежащим разработке.	Может создать математическую модель электромеханической системы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять расчеты для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.	Может самостоятельно построить работающую компьютерную модель системы управления электроприводом.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками анализа частного технического задания на разработку простых узлов, блоков системы электропривода.	Умеет оценить адекватность построенной модели электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-4	Знать методики выполнения расчетов для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.	Может выбрать соответствующий метод численного решения построенной математической модели электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять	Может настроить ал-	Выполнение ра-	Невыполнение

	расчеты для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода..	горитм численного решения построенной математической модели электропривода	бот в срок, предусмотренный в рабочих программах	работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть анализом исходных материалов для оформления комплектов конструкторских документов на различных стадиях проектирования системы электропривода.	Может обосновать метод численного решения построенной математической модели электропривода.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-6	Знать методики определения характеристик оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы.	Может производить анализ и выбор предложенного оборудования для построения математической модели электропривода.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь определять в процессе предпроектного обследования параметры оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы согласно методикам и процедурам системы менеджмента качества, требованиям частного технического задания на проведение обследования.	Может воспользоваться программами и методами оптимизации режимов работы электромеханических систем для проверки правильности работы оборудования в данной системе.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками анализа частного задания на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода.	Может самостоятельно производить моделирование режимов работы электромеханических систем, для которого разрабатывается проект 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 8, 7 семестре для очной формы обучения, 10, 9 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	Знать типовые проектные решения по простым узлам, блокам системы электропривода, аналогичным подлежащим разработке.	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты для эскизного, технического и рабочего проектов системы электропривода.	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 навыками анализа частного технического задания на разработку простых узлов, блоков	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

	системы электропривода.					
ПК-4	знать численные методы анализа математических моделей элементов 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 численные методы анализа к математическим моделям элементов электропривода.	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 численными методами анализа математических моделей 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
ПК-6	Знать методики определения характеристик оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы.	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь определять	Решение стандартных	Задачи решены в	Продемонстрирован вер-	Продемонстрирован вер-	Задачи не решены

	лять в процессе предпроектного обследования параметров оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода, при различных режимах работы согласно методикам и процедурам системы менеджмента качества, требованиям частного задания на проведение обследования.	практически х задач	полном объеме и получены верные ответы	ный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	ный ход решения в большинстве задач	
	Владеть навыками анализа частного задания на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект 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

1. Что такое решатель?

1. Процессор компьютера. 2. Дискретная последовательность вычисленных функций. 3. Метод решения дифференциальных уравнений.

2. Какой решатель называется дискретным?

1. Процессор компьютера. 2. Один из методов решения с произвольным шагом. 3. Метод решения дифференциальных уравнений с фиксированным шагом.

3. Какие дифференциальные уравнения называются жесткими?

1. Решение имеет очень большие постоянные времени. 2. Решение имеет очень малые постоянные времени. 3. Решение имеет одновременно большие и очень малые постоянные времени.

4. Какой решатель используется для решения жестких уравнений?

1. ode45 2. ode23 3. ode113 4. ode15s 5. ode23s 6. ode23t 7. ode23tb

5. Что такое эталонное время?

1. Текущее время по обычным часам. 2. Время по часам компьютера. 3. Заданный шаг по времени при численном решении дифференциальных уравнений.

6. Какой тип данных использует Simulink по умолчанию?

1. double 2. single 3. uint32 4. uint8 5. int16

7. Для чего используется приложение SimPowerSystem?

1. Для моделирования систем автоматического управления. 2. Для моделирования механики. 3. Для моделирования автомобильной техники. 4. Для моделирования электроэнергетических систем.

8. Что такое субмодель?

1. Модель, которая добавляется к существующей. 2. Модель, которая больше существующей. 3. Модель, которая меньше существующей. 4. Представление сложной модели в виде отдельного блока .

9. Как соединить Simulink и SimPowerSystem?

1. Как обычно соединяются блоки. 2. С помощью особых утилит. 3. Используя управляемые источники и измерительные приборы.

10. Приведите пример виртуального блока.

1. Switch (ключ). 2. Sum (сумматор). 3. Scope (осциллограф). 4. Delay (временная задержка).

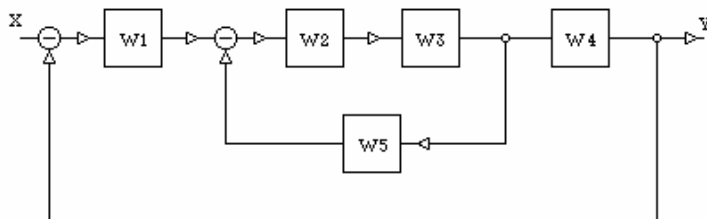
7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На рисунке приведена структурная схема системы автоматического регулирования (САР), заданы передаточные функции различных звеньев САР. В соответствии с вариантом:

Рассчитайте

- амплитудно-частотную (ФЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики разомкнутой и замкнутой системы; по ним определите, устойчива САР или нет;
- амплитудно-фазовая характеристику;
- нули и полюса линейной САР;

Рассчитайте переходную характеристику САР. Соответствует ли переходный процесс различным частотным характеристикам?



$$W_1 = k_1; \quad k_1 = 1.4;$$

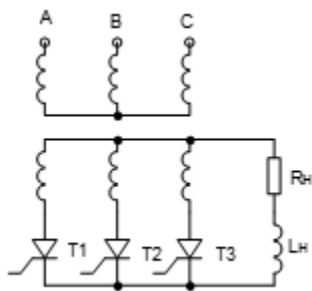
$$W_2 = \frac{k_2}{T_1 p + 1}; \quad k_2 = 63; \quad T_1 = 0.5 \text{ с};$$

$$W_3 = \frac{k_3}{p}; \quad k_3 = 0.316;$$

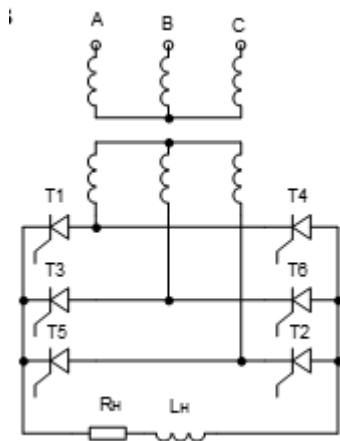
$$W_4 = \frac{k_4}{T_4 p + 1}; \quad k_4 = 3.56; \quad T_4 = 0.01 \text{ с};$$

$$W_5 = \frac{T_2 p + 1}{T_3 p + 1}; \quad T_2 = 0.25 \text{ с}; \quad T_3 = 0.05 \text{ с}.$$

2. Постройте заданную модель управляемого выпрямителя на тиристорах (SimPowerSystem); в качестве генераторов импульсов использовать источники прямоугольного сигнала (Simulink). Источник питания может быть включен напрямую, без трансформатора.

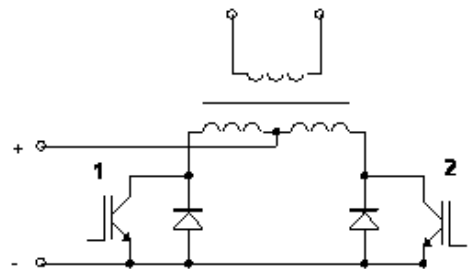


3. Постройте модель преобразователя, используя блоки *PLL* (система фазового регулирования), *Pulse Generator* (импульсный генератор) и *Universal Bridge* (универсальный мост) из SimPowerSystem. Результаты моделирования сравнить.

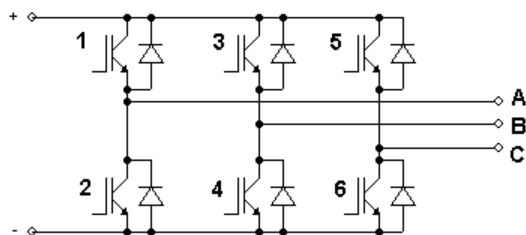


4. Постройте выходную характеристику – среднее напряжение на нагрузке от угла отпирания тиристора $U(\alpha)$ тиристорного преобразователя заданной конструкции при различной нагрузке, для всего диапазона регулирования.

5. Постройте модель инвертора из элементов и SimPowerSystem и генератор импульсов из элементов Simulink.



6. Построить модель инвертора блок *Universal Bridge* (Универсальный мост) из SimPowerSystem. Результаты моделирования сравнить.



7. Постройте модель двигателя постоянного тока (см. приложение) в системе Simulink, предварительно рассчитав все необходимые параметры по данным таблицы. Исследуйте модель: пуск двигателя на холостом ходу и под нагрузкой. Представьте ее в виде субмо-

дели. Создайте маску субмодели для ввода параметров двигателя.

Двигатель							Нагрузка			
$P_{ном}$	$U_{ном}$	$n_{ном}$	$I_{ном}$	$R_{я}$	$L_{я}$	J	J_1	J_2	C_{12}	β_{12}
кВт	В	об/мин	А	Ом	Гн	кгм ²	кгм ²	кгм ²	Н·м	Н·м·с
4	220	1500	20.	0.65	0.008	0.33	0.52	0.35	14600	511

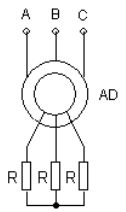
8. Воспользуйтесь моделью двигателя постоянного тока в SimPowerSystem. Введите параметры и подключите двигатель к источнику. Проведите моделирование аналогичное предыдущему случаю. Сравните результаты. Сделайте выводы.

9. Включите в модели двухмассовую нагрузку, создав модель нагрузки. Исследуйте поведение системы. Как изменится переходный процесс, если внутренняя вязкость станет на порядок меньше? Используя блоки SimPowerSystem, постройте аналогичную модель. Исследуйте ее.

10. Воспользуйтесь моделью синхронный двигатель с постоянными магнитами в SimPowerSystem. Постройте систему с обратной связью от датчика положения ротора с а) синусоидальным источником питания и б) с импульсным источником от инвертора и в) ШИМ регулятором синусоидального типа. Проведите моделирование; сравните результаты.

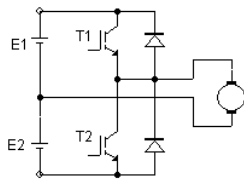
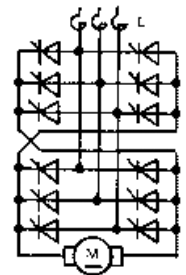
7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Постройте серию механических характеристик $\omega(M_n)$ асинхронного двигателя с фазным ротором, при разных значениях сопротивления ротора R . Параметры двигателя: $P = 1.1$ кВт; $U_\phi = 220$ В; $n = 1480$ об/мин; $I_{ном} = 2.51$ А; $R_1 = 9.53$ Ом; $L_1 = 0.484$ Гн; $R_2' = 5.619$ Ом; $L_2' = 0.476$ Гн; $L_m = 0.447$ Гн; $J = 0.0026$ кгм². (Номинальные параметры).



2. Генератор постоянного тока мощностью 3.75 кВт приводится в движение дизельным двигателем с постоянной скоростью 1750 об/мин. Максимально допустимое напряжение на обмотке возбуждения 750 В. Параметры обмотки возбуждения: $R_{ов} = 180$ Ом, $L_{ов} = 71.47$ Гн. Параметры двигателя: $R_a = 1.086$ Ом; $L_a = 0.01216$ Ом; взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и ротором $L_m = 0.6458$ Гн; момент инерции $J = 0.04251$ кгм²; рабочее напряжение генератора 500 В. Постройте нагрузочную характеристику генератора $U(P)$ и вольтамперную характеристику $U(I)$.

3. На рисунке схема тиристорного реверсивного привода ДПТ. Осуществите моделирование реверса, если двигатель имеет следующие параметры: $P = 3$ кВт; $U = 220$ В; $n = 1500$ об/мин; $I_{ном} = 19$ А; $R_\alpha = 0.7$ Ом; $L_\alpha = 8$ мГн; $J = 0.2$ кгм².



4. Моделирование широтно-импульсных преобразователей. Двигателем постоянного тока управляют посредством широтно-импульсного преобразователя. Параметры двигателя: $P = 3$ кВт; $U = 220$ В; $n = 1500$ об/мин; $I_{ном} = 19$ А; $R_\alpha = 0.7$ Ом; $L_\alpha = 8$ мГн; $J = 0.2$ кгм². Получите механические характеристики двигателя, если частота модуляции 2 кГц.

5. Один и тот же трехфазный асинхронный двигатель питается от синусоидального и импульсного источников напряжения с одинаковыми действующими значениями. Получить значения КПД для этих случаев. Параметры двигателя: $P = 1.1$ кВт; $U_\phi = 220$ В; $n = 1480$ об/мин; $I_{ном} = 2.51$ А; $R_1 = 9.53$ Ом; $L_1 = 0.484$ Гн; $R_2' = 5.619$ Ом; $L_2' = 0.476$ Гн; $L_m = 0.447$ Гн; $J = 0.0026$ кгм².

6. Двигатель постоянного тока питается от источника постоянного напряжения и от управляемого трехфазного тиристорного выпрямителя. Действующее значение напряжения одинаковые. Определите КПД двигателя в двух случаях. Параметры двигателя: $P = 3$ кВт; $U = 220$ В; $n = 1500$ об/мин; $I_{ном} = 19$ А; $R_\alpha = 0.7$ Ом; $L_\alpha = 8$ мГн; $J = 0.2$ кгм². Постройте механические характеристики для двух случаев.

7. У работающего трехфазного асинхронного двигателя произошел обрыв фазы. Смоделируйте этот процесс. Как изменяться токи фаз? Нужна ли защита и какая она должна быть? Параметры двигателя: $P = 1.1$ кВт; $U_\phi = 220$ В; $n = 1480$ об/мин; $I_{ном} = 2.51$ А; $R_1 = 9.53$ Ом; $L_1 = 0.484$ Гн; $R_2' = 5.619$ Ом; $L_2' = 0.476$ Гн; $L_m = 0.447$ Гн; $J = 0.0026$ кгм².

8. Постройте систему подчиненного регулирования *синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ)*. Параметры двигателей приведены в таблице заданий к работе 5.

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Моделирование физическое и математическое.
2. Можно ли компьютерное моделирование отнести к особому виду моделирования?
3. Программа Simulink. Назначение и возможности.
4. Работа в Simulink. Моделирование линейных систем автоматического управления. Построение переходных функций, логарифмических амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, годографов и пр.
5. Блоки Simulink: непрерывные, разрывные, математические, направление сигналов, источники и приемники сигналов, функции пользователя.
6. Решатели Simulink; методы решений дифференциальных уравнений.
7. Типы данных, поддерживаемые Simulink.
8. Сигналы в Simulink.
9. Создание subsystem, маска subsystem, ввод параметров.
10. Приложение SimPowerSystem. Назначение и возможности. Силовая и сигнальная части. Взаимодействие между ними.
11. Библиотека SimPowerSystem: электрические источники, элементы, машины, измерения, силовая электроника. Дополнительные библиотеки.
12. Дискретизация системы. Назначение и практическое осуществление. Дискретные блоки. Эталонное время.
13. Управляемые *источники* питания, их математическое описание и компьютерные модели:
 - а) управляемые тиристорные выпрямители;
 - б) широтно-импульсные преобразователи;
 - в) автономные инверторы с различными законами управления;
 - г) ШИМ инверторы; их характеристики; замкнутые и разомкнутые.
 - д) микросхемы управления, моделирование логики их работы; драйверы.
14. Датчики положения, скорости, тока, магнитного потока, момента; их модели.
15. *Электромеханические преобразователи*: реле, магнитные пускатели, электромагниты.
16. *Регуляторы* и корректирующие звенья.
17. *Электрические двигатели*:

ДПТ – двигатель постоянного тока, упрощенная и полная модели, линейная и нелинейная. Влияние нагрузки, двухмассовая нагрузка. Встроенная модель ДПТ.

СДПМ – синхронный двигатель с постоянным магнитом: запись уравнений для трехфазной модели. Оси dq. Преобразование осей координат. Уравнения СДПМ в осях dq. Встроенная модель СДПМ.

Реактивный (индукторный) двигатель. Переход от СДПМ к реактивному двигателю, уравнения в осях dq. Вращающий момент. Встроенная модель.

БДПТ – бесконтактный двигатель постоянного тока. СДПМ как БДПТ. Принцип работы, механические характеристики. Отличие от ДПТ.

АД – асинхронный двигатель. Уравнения АД в координатах ABC. Переход к осям $\alpha\beta$.

Уравнения АД в осях dq. Встроенная модель АД.

Шаговые двигатели. Устройство. Способы управления фазами шагового двигателя. Особенности и ограничения. Основные уравнения. Моделирование шагового двигателя.

18. Пуск ДПТ с одномассовой и двухмассовой нагрузкой. Наброс нагрузки.
19. Пуск СДПМ. Влияние нагрузки.
20. Работа БДПТ.
21. Определение параметров встроенной модели АД. Пуск АД. Наброс нагрузки.
22. Работа шагового двигателя при различных скоростных режимах.
23. Регулирование в приводах. Основные показатели качества регулирования. Особенности нелинейных систем.
24. Область допустимых значений регулирования. Регуляторы.
25. Настройка систем. Блок оптимизации переходных процессов Simulink Response Optimization.
26. Системы подчиненного управления. Двухконтурная система управления ДПТ с обратными связями по току и скорости. Настройка системы.
27. Асинхронные электроприводы со скалярным управлением. Законы регулирования.
28. Векторная система управления СМПМ с обратными связями по току и скорости.
29. Векторная система управления АД по полю с обратными связями по току и скорости.
30. Цифровые системы управления. Информация в цифровых системах. Квантование. Уравнения для цифровых систем регулирования.
31. Моделирование цифровых систем. Методы решений.
32. Приложение SISO Design Tool и его применение к настройке динамики и статики линейных систем управления.
33. Оптимизации систем управления. Виды оптимизации. Методы поиска экстремума.
34. Приложение Simulink Response Optimization для оптимизации нелинейных систем управления.
35. Цифровые системы управления. Информация в цифровых системах. Квантование.
36. Уравнения для цифровых систем регулирования.
37. Моделирование цифровых систем. Методы решений.
38. Датчики в ЭП. Математические модели датчиков скорости и угла; постоянного и переменного тока. Области применения.
39. Оптимизация и настройка систем регулирования. Приложение SISO Design Tool и его применение к настройке динамики и статики линейных систем управления.
40. Приложение Simulink Optimization для оптимизации нелинейных систем управления.
41. Оптимизация системы подчиненного регулирования.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

(Например: 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	Программное обеспечение моделирования. Методы численного решения дифференциальных уравнений.	ПК-3	Тест
2	Математические модели элементов привода. Управляемые источники питания, их математическое описание и компьютерные модели.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ; работающая модель
3	Широтно-импульсные преобразователи; автономные инверторы, ШИМ инверторы.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ; работающая модель
4	Электрические двигатели. Моделирование работы двигателей. Двигатель постоянного тока, синхронный двигатель с постоянными магнитами, бесконтактный двигатель постоянного тока, индукторный двигатель, асинхронный двигатель	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ; работающая модель
5	Моделирование датчиков: датчики скорости, угла, положения, момента. Обработка данных с датчиков.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ, работающая модель
6	Моделирование систем регулирования скорости, момента, положения электропривода.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ, работающая модель
7	Асинхронные электроприводы со скалярным управлением.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ, работающая модель
8	Векторная система управления СДПМ с обратными связями по току и скорости.	ПК-3, ПК-4	защита лабораторных работ, работающая модель

9	Векторная система управления АД по полю с обратными связями по току и скорости.	ПК-3, ПК-4, ПК-6	защита лабораторных работ, работающая модель
10	Моделирование цифровых систем.	ПК-3, ПК-4, ПК-6	защита лабораторных работ, работающая модель

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо 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, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо 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, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо 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

№	Авторы, состав	Заглавие	Год издания. Вид	Обеспечен
---	----------------	----------	------------------	-----------

п/п	авторы		издания.	
1. Основная литература				
Л1.1				
1	Фурсов В.Б.	Моделирование электропривода [Текст]: учеб. пособие / В.Б. Фурсов - Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2008. 105 с.	2008, печ.	1
2	Фурсов В.Б.	Моделирование электропривода: лабораторный практикум: учеб. пособие (2 Мб) / В.Б. Фурсов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. 62 с.	2014, элек.	1
2. Дополнительная литература				
Л2.1				
3	Фурсов В.Б.	Моделирование в системе SimPowerSys. Учебное пособие. Воронеж.: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2005. 116 с.	2005, элек.	1
4	Фурсов В.Б.	Моделирование в системе SIMULINK. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2004. 56 с.	2004, элек.	1
3. Методические разработки				
Л3.1				
5	Фурсов В.Б.	Методические указания по выполнению лабораторной работы № 12 по дисциплине "Моделирование электропривода". Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2018. 6 с.	2018, рукописн.	1

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:

8.2.1 Программное обеспечение

Лицензионное программное обеспечение

Microsoft Office Word 2007

- Microsoft Office Excel 2007
- Microsoft Office Power Point 2007
- ABBYY FineReader 9.0
- MatLAB

Свободное ПО

- Skype
- Open Office

Отечественное ПО

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

8.2.2 Ресурс информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

8.2.3 Информационная справочная система

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

8.2.4 Современные профессиональные базы данных

- Электротехнический портал. Адрес ресурса: <http://электротехнический-портал.рф/>
- Силовая Электроника для любителей и профессионалов. Адрес ресурса: <http://www.multikonelectronics.com/>
- Справочники по электронным компонентам. Адрес ресурса: <https://www.rlocman.ru/comp/sprav.html>
- Известия высших учебных заведений. Приборостроение (журнал). Адрес ресурса: <http://pribor.ifmo.ru/ru/archive/archive.htm>
- Портал машиностроения. Адрес ресурса: <http://www.mashportal.ru/>
- Электроцентр. Адрес ресурса: <http://electrocentr.info/>
- Netelectro. Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления. Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>
- Электромеханика. Адрес ресурса: <https://www.electromechanics.ru/>
- Electrical 4U. Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформа-

торы», «Электротехника», «Справочник». Адрес ресурса:

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

-Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Адрес ресурса: <https://www.gost.ru/portal/gost/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Дисплейный класс

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

По дисциплине «Моделирование и исследование электроприводов» .

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 практических навыков расчета

_____ Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить 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 расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним

	необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - 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, зачетом с оценкой, экзаменом, зачетом с оценкой 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 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	