

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета \_\_\_\_\_

Бурковский А.В.

« »

2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Моделирование систем управления электроприводов»

**Направление подготовки** 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**Профиль** Электропривод и автоматика

**Квалификация выпускника** магистр

**Нормативный период обучения** 2 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы

Фурсов В.Б.

/ФИО автора программы/

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

Бурковский В.Л.

/ФИО зав. кафедрой/

Руководитель ОПОП

Пестович В.М.

/ФИО руководителя ОПОП/

Воронеж 2018

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

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

## 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение вопросов применения различных способов и средств моделирования электромеханических систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Моделирование систем управления электроприводов» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.В.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование систем управления электроприводов» направлен на формирование следующих компетенций:

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

ПК-2 - Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-2	<b>Знать</b> типовые проектные решения системы электропривода.
	<b>Уметь</b> применять правила разработки проектов системы электропривода, типовые проектные решения, систему автоматизированного проектирования и программы, на различных стадиях проектирования системы электропривода.
	<b>Владеть</b> навыками выбора оборудования для системы электропривода, объединения отдельных частей проекта системы электропривода, выполненных работниками, осуществляющими проектирование, в единый комплект проектной и рабочей документации.

ПК-2	<b>Знать</b> методы анализа научных данных.
	<b>Уметь</b> осуществлять теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.
	<b>Владеть</b> анализом научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование систем управления электроприборов» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	126	126
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	54	54
Лабораторные работы (ЛР)	54	54
<b>Самостоятельная работа</b>	162	162
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	324 9	324 9

#### 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	Все го, час
1	Тема 1. Моделирование релейно - контакторных систем управления ЭП.	Типовые схемы пуска и отключения асинхронного двигателя; пуска и торможения электрических двигателей.	-	-	6	8	14
2	Тема 2. Моделирование систем регулирования координат (скорости, момента, положения) ЭП.	Введение. Линейные электроприводы. Следящие системы автоматического регулирования ЭП. Системы подчиненного управления. Двухконтурная система управления ДПП с обратными связями по току и скорости. Настройка системы. Системы управления с модальным регулированием ЭП. Проектирование и оптимизация аналоговых линейных систем автоматического управления ЭП.	4	6	6	8	24
3	Тема 3. Векторные системы управления ЭП	Векторная система управления СМПП с обратными связями по току и скорости. Векторная система управления АД по полю с обратными связями по току и скорости.	2	10	6	12	30
4	Тема 4. Моделирование фазо - импульсных систем управления ЭП	Понятие фазового регулирования. Понятием фазовой автоподстройки частоты. Системы с энкодерами и резольверами. Принцип фазового управления. Модель фазового управления двигателем постоянного тока. Фазовое регулирование синхронными двигателями с постоянными магнитами.	2	10	12	42	66
5	Тема 5. Моделирование бездатчиковых системы управления ЭП.	Что такое бездатчиковые системы управления ЭП. Наблюдатели. Пример: бездатчиковое управление двигателем постоянного тока. Бездатчиковая система управления синхронным двигателем с постоянными магнитами. Бездатчиковая система регулирования СДПП по переходу ЭДС через ноль. Бездатчиковая система регулирования СДПП с наблюдателем. Регулирование асинхронных двигателей с адаптивным наблюдателем. Схема адаптивного наблюдателя Куботы полного порядка. Понятие фильтра Калмана. Векторная система регулирования асинхронным двигателем на основе фильтра Калмана. Понятие о системе прямого управления моментом.	6	16	12	48	82
6	Тема 6. Моделирование цифровых систем управления ЭП.	Что такое цифровые системы управления. Методы моделирования цифровых систем. Дискретизация модели; два вида квантования. Как построить из аналоговой системы цифровую. Моделирование работы программ.	4	12	12	44	72
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>162</b>	<b>288</b>

## **5.2 Перечень лабораторных работ**

1. Моделирование релейно-контакторных систем управления электроприводов.
2. Моделирование векторных системы управления ЭП.
3. Моделирование фазо - импульсных систем управления ЭП.
4. Моделирование бездатчиковых системы управления ЭП
5. Моделирование цифровых систем управления ЭП.
6. Проектирование векторной СУЭП СДПМ.
7. Проектирование и оптимизация дискретн-цифровых СУЭП.

## **5.3 Перечень практических занятий**

1. Моделирование систем регулирования скорости ЭП.
2. Моделирование систем регулирования момента ЭП.
3. Моделирование систем регулирования положения ЭП.
4. Моделирование следящих систем автоматического регулирования ЭП.
5. Моделирование систем подчиненного регулирования ЭП.
6. Проектирование с помощью логарифмических частотных характеристик в системе SISO Design.
7. Использование Simulink Control Design для оптимизации САРЭП.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта во 2 семестре.

Примерная тематика курсового проекта: «Бездатчиковая САР СДПМ с максимальным диапазоном регулирования».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

1. Умение работать с литературой (обзор литературы по данному вопросу). Знать способы и средства моделирования электромеханических систем. (УК-2)
2. Умение ставить задачу (самостоятельное формулирование технического задания). Уметь разрабатывать проектные решения системы электропривода. (ПК-2)
3. Умение добиваться решения задачи (построение работающей математической модели, получение результата согласующегося с имеющимися данными). Уметь применять численные методы анализа к математическим моделям элементов электропривода. (ПК-2)

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
УК-2	Знать типовые проектные решения системы электропривода.	Может создать математическую модель типовой электромеханической системы.	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 программы, на различных стадиях проектирования системы электропривода.	Может самостоятельно построить компьютерную модель системы управления электроприводом.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками выбора оборудования для системы электропривода.	Умеет выбрать элементы модели, соответствующие реальной установке; оценить адекватность построенной модели системы управления электропривода реальной системе.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	Знать системы автоматизированного проектирования.	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 применять систему автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода.	Может воспользоваться программами и методами оптимизации режимов работы электромеханических систем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами разработки технического задания на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается	Может самостоятельно построить структурные схемы разрабатываемой системы; производить оп-	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	проект системы электропривода; разрабатывать варианты структурных схем систем электропривода и выбор оптимальной; разрабатывать частные технические задания на проектирование отдельных частей системы электропривода.	тимизацию режимов работы электромеханических систем		
--	--	---	--	--

### 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.
УК-2	Знать 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 программы, на различных стадиях проектирования 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 выбора 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
ПК-2	Знать системы автоматизированного проектирования.	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь применять систему автоматизированного проектирования и программы	Решение стандартных	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход решения	Продемонстрирован верный ход	Задачи не

	для разработки схемы системы электропривода.	практических задач	объеме и получены верные ответы	всех, но не получен верный ответ во всех задачах	решения в большинстве задач	решены
	Владеть методами разработки технического задания на предпроектное обследование оборудование, для которого разрабатывается проект системы электропривода; разрабатывать варианты структурных схем систем электропривода и выбор оптимальной; разрабатывать частные технические задания на проектирование отдельных частей 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 бездатчиковая система управления электроприводом?

1. САР в которой совсем нет датчиков. 2. Нет датчиков движения, но другие есть. 3. Вместо датчиков движения используются датчики тока и напряжения.

**2.** Что такое наблюдатель скорости?

1. Датчик скорости. 2. Программа, вычисляющая скорость. 3. Метод вычисления скорости. 4. Совокупность программ, аналогово-цифровых преобразователей и датчиков напряжения и тока.

**3.** Почему практически не используется наблюдатель скорости с коллекторным двигателем?

1. Решение имеет очень большие постоянные времени. 2. Приводит к возникновению колебаний в системе. 3. Требуется слишком много времени на вычисления. 4. Слишком большое влияние изменения температуры.

**4.** На что, в первую очередь, влияет нагрев двигателя?

1. На индуктивность обмоток двигателя. 2. На изменение воздушного зазора в двигателе. 3. На активное сопротивление меди обмоток. 4. На противоэдс двигателя. 5. На потери в стали двигателя.



**5.** Как определяется угол положения ротора в бездатчиковой система регулирования СДПМ по переходу ЭДС через ноль?

1. Вычисляется микроконтроллером. 2. Путем решения дифференциальных уравнений. 3. Вычисляется скорость, а угол не нужен. 4. Никак не вычисляется. 5. Поступают импульсы, управляющие инвертором.

**6.** В чем недостаток бездатчиковой система регулирования СДПМ по переходу ЭДС через ноль?

1. Возникают колебания в системе. 2. Большая ошибка регулирования. 3. Долго входит в синхронизм. 4. Может работать только на малых скоростях. 5. Может работать только на больших скоростях.

**7.** В чем преимущество наблюдателя угла поворота ротора с ПИ-регулятором по сравнению с наблюдателем с прямым интегрированием в бездатчиковой системы регулирования СДПМ?

1. Система проще. 2. Система точнее. 3. Работает и на низкой скорости. 4. Работает и на высокой скорости. 5. Более устойчива к влиянию температуры.

**8.** Сравнение бездатчиковой САР с традиционной: диапазон регулирования?

1. У традиционной модели диапазон регулирования больше. 2. У бездатчиковой модели диапазон регулирования больше. 3. У традиционной модели диапазон регулирования такой же.

**9.** Как компенсировать температурное влияние?

1. Поставить датчик температуры. 2. С помощью дополнительного регулируемого сопротивления. 3. Создать обмотку из константана. 4. Программно.

**10.** В бездатчиковой система регулирования СДПМ по переходу ЭДС через ноль используется:

1. Только линейное напряжение. 2. Только фазное напряжение. 3. Линейное и фазное напряжения одновременно. 4. Фазные токи.

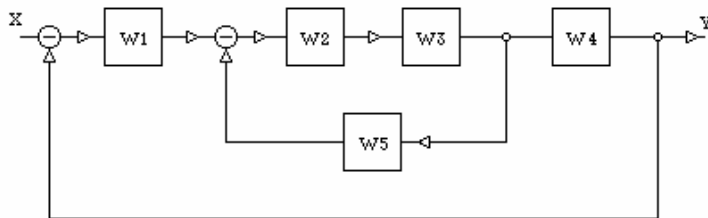
## **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

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?



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

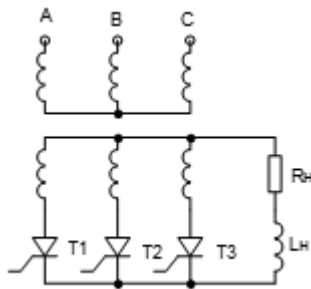
$$W_2 = \frac{k_2}{T_1 p + 1}; \quad k_2 = 63; \quad T_1 = 0.5 \text{ с};$$

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

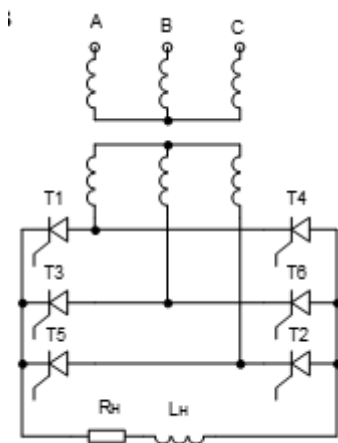
$$W_4 = \frac{k_4}{T_4 p + 1}; \quad k_4 = 3.56; \quad T_4 = 0.01 \text{ с};$$

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

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.

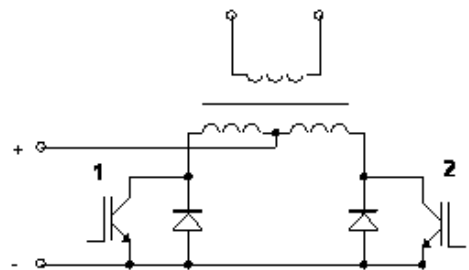


3. Постройте модель преобразователя, используя блоки *PLL* (система фазового регулирования), *Pulse Generator* (импульсный генератор) и *Universal Bridge* (универсальный мост) из SimPowerSystem. Результаты моделирования сравнить.

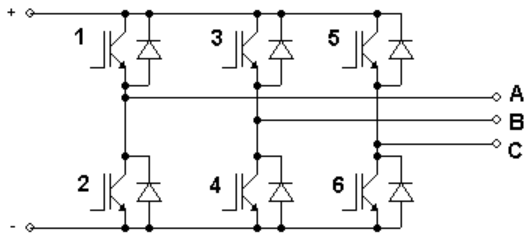


4. Постройте выходную характеристику – среднее напряжение на нагрузке от угла отпирания тиристора  $U(\alpha)$  тиристорного преобразователя заданной конструкции при различной нагрузке, для всего диапазона регулирования.

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 субмодели. Создайте маску субмодели для ввода параметров двигателя.

Двигатель							Нагрузка			
$P_{НО}$ м	$U_{НО}$ м	$n_{НОМ}$	$I_{НО}$ м	$R_{я,}$	$L_{я}$	$J$	$J_1$	$J_2$	$C_{12}$	$\beta_{12}$
кВ т	В	об/ми н	А	Ом	Гн	кг м <sup>2</sup>	кгм <sup>2</sup> 2	кгм <sup>2</sup> 2	Н·м	Н·м·с
4	220	1500	20.	0.65	0.008	0.3 3	0.52	0.35	14600	511

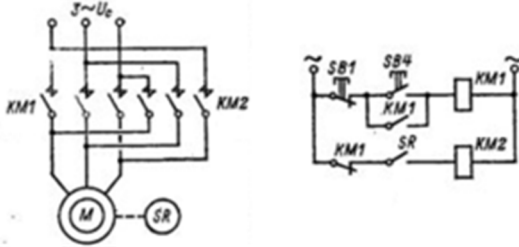
8. Воспользуйтесь моделью двигателя постоянного тока в SimPowerSystem. Введите параметры и подключите двигатель к источнику. Проведите моделирование аналогичное предыдущему случаю. Сравните результаты. Сделайте выводы.

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.

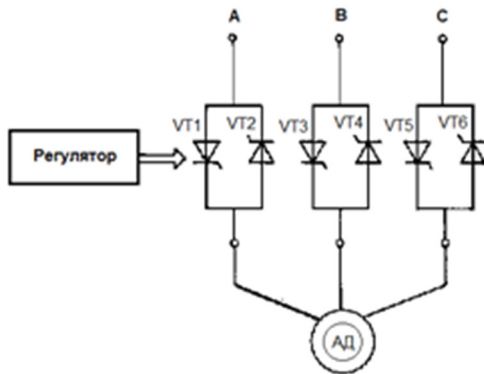
### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Моделирование релейно-контакторных систем регулирования электропривода. Осуществите моделирование торможения противовключением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Двигатель №6.

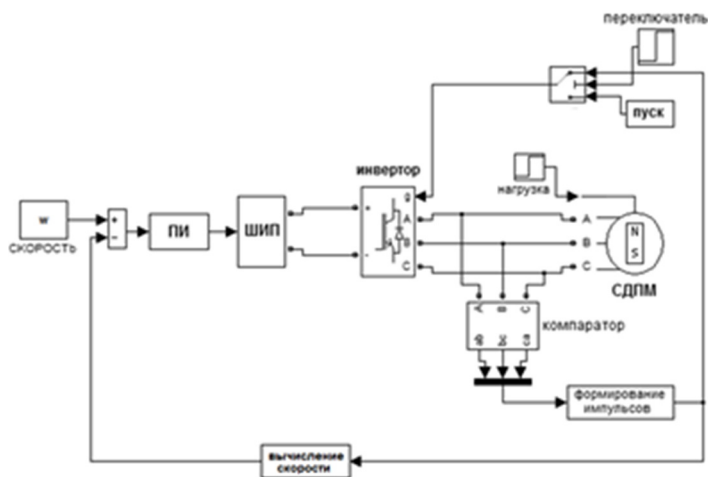


2. Моделирование и проектирование системы стабилизации скорости; для данного двигателя получите наилучшие характеристики. Параметры синхронного двигателя с постоянными магнитами:  $P = 1$  кВт;  $n = 2000$  об/мин;  $U = 310$  В;  $R = 1$  Ом;  $L_d = L_q = 5.3$  мГн;  $\alpha = 0.18$  Вб;  $J = 6 \cdot 10^{-4}$  кгм<sup>2</sup>;  $p = 4$ . Выберите коррек-тирующее звено и определите его параметры.

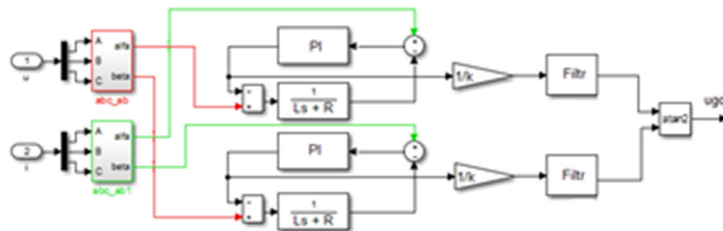
3. Моделирование плавного пуска асинхронного двигателя №19. Для управления воспользоваться встроенными блоками Pulse Generator и PLL (3ph) – системой фазового регулирования - для прямого и обратного тиристоров.



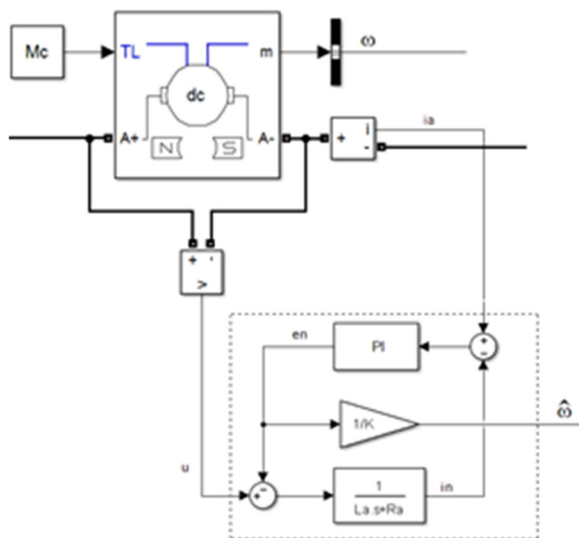
4. Моделирование бездатчиковых системы управления электропривода. Создайте систему регулирования СДПМ №4 без датчика положения и скорости, используя переход противоэдс через ноль:



5. Моделирование наблюдателей. Адаптивные наблюдатели. Бездатчиковая система регулирования СДПМ №12 с наблюдателем. Создайте систему регулирования СДПМ без датчика угла, используя наблюдатель угла:



6. Бездатчиковая система управления двигателем постоянного тока. Наблюдатель скорости. Недостатки наблюдателя. Создайте систему подчиненного регулирования ДПТ № 15 без датчика скорости, используя наблюдатель скорости с ПИ-регулятором:



7. Моделирование и проектирование системы стабилизации скорости; для данного двигателя получите наилучшие характеристики. Параметры синхронного двигателя с постоянными магнитами:  $P = 1$  кВт;  $n = 2000$  об/мин;  $U = 310$  В;  $R = 1$  Ом;  $L_d = L_q = 5.3$  мГн;  $\psi = 0.18$  Вб;  $J = 6.10$

4 кгм<sup>2</sup>;  $p = 4$ . Выберите коррек-тирующее звено и определите его параметры.

8. 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:  $R_{ов} = 180 \text{ Ом}$ ,  $L_{ов} = 71.47 \text{ Гн}$ . Параметры генератора:  $R_a = 1.086 \text{ Ом}$ ;  $L_a = 0.01216 \text{ Ом}$ ; взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и ротором  $L_m = 0.6458 \text{ Гн}$ ; момент инерции  $J = 0.04251 \text{ кгм}^2$ ; рабочее напряжение генератора 500 В. Смоделируйте систему регулирования напряжением генератора.

9. Проектирование с помощью логарифмических частотных характеристик. Настройка компенсатора. Создайте систему регулирования ДПТ так, чтобы она удовлетворяла заданным качествам.

Параметры двигателя:  $P = 3 \text{ кВт}$ ;  $U = 220 \text{ В}$ ;  $n = 1500 \text{ об/мин}$ ;  $I_{ном} = 19 \text{ А}$ ;

$R_{я} = 0.7 \text{ Ом}$ ;  $L_{я} = 8 \text{ мГн}$ ;  $J = 0.2 \text{ кгм}^2$ . Требование к САР: время нарастания

не хуже 0.1 с; перерегулирование не более 5 %; статическая ошибка не более 2 %.

10. Приложение Simulink Response Optimization и его применение к настройке динамики и статики систем управления. Параметры двигателя постоянного тока:  $P = 3 \text{ кВт}$ ;  $U = 220 \text{ В}$ ;  $n = 1500 \text{ об/мин}$ ;  $I_{ном} = 19 \text{ А}$ ;  $R_{я} = 0.7 \text{ Ом}$ ;  $L_{я} = 8 \text{ мГн}$ ;  $J = 0.2 \text{ кгм}^2$ . Требование к САР: время нарастания не хуже 0.1 с; перерегулирование не более 5 %; статическая ошибка не более 2 %.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Моделирование релейно-контакторных систем регулирования электропривода.
2. Моделирование систем регулирования скорости электропривода.
3. Моделирование систем регулирования положения электропривода.
4. Линейные и нелинейные электроприводы. Аналоговые и цифровые системы управления электропривода.
5. Моделирование следящих систем автоматического регулирования электропривода.

6. Моделирование системы подчиненного управления. Двухконтурная система управления ДПТ с обратными связями по току и скорости. Настройка системы.
7. Проектирование и оптимизация аналоговых линейных систем автоматического управления электропривода. Приложение SISO Disign.
8. Пример проектирования системы стабилизации скорости. Выбор корректирующего звена. Определение его параметров.
9. Проектирование PID регулятора, используя графическую настройку SISO Disign. Непосредственная настройка PID контроллера.
10. Векторная система управления СДПМ с обратными связями по току и скорости.
11. Векторная система управления АД по полю с обратными связями по току и скорости.
12. Моделирование бездатчиковых системы управления электропривода.
13. Моделирование наблюдателей. Адаптивные наблюдатели.
14. Моделирование цифровых систем управления электропривода.
15. Моделирование разрядности, квантованности и быстродействия цифровой системы.
16. Проектирование системы стабилизации скорости с использованием дискретного ПИД контроллера. Дискретизация модели. Эталонное время.
17. Моделирование работы программы. Составление программ.
18. Приложение Simulink Response Optimization для оптимизации нелинейных систем управления.
19. Настройка систем. Блок оптимизации переходных процессов Simulink Response Optimization.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится или по билетам с выполнением практических заданий на компьютере или по тест-билетам. Практические задания выполнены: полностью без подсказок и исправлений преподавателем – «отлично»; с подсказкой и небольшими исправлениями – «хорошо»; не сумел выполнить без подсказок и больших исправлений – «удовлетворительно»; не выполнил сам ни одного задания – «неудовлетворительно». В тесте 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	Моделирование релейно - контакторных систем управления ЭП.	УК-2	Тест
2	Моделирование систем регулирования координат (скорости, момента, положения) ЭП.	УК-2, ПК-2	защита лабораторных работ; работающая модель
3	Векторные системы управления ЭП	УК-2, ПК-2	защита лабораторных работ; работающая модель
4	Моделирование фазо - импульсных систем управления ЭП	УК-2, ПК-2	защита лабораторных работ; работающая модель
5	Моделирование бездатчиковых системы управления ЭП.	УК-2, ПК-2	защита лабораторных работ, работающая модель
6	Моделирование цифровых систем управления ЭП.	УК-2, ПК-2	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 методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бу-

мажном 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**

1. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учеб. пособие / В.Б. Фурсов - Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2008. 105 с.

2. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.Б. Фурсов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. 62 с.

3. Фурсов В.Б. Моделирование в системе SimPowerSystem.: учебное пособие. – Воронеж.: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2005. 116 с.

4. Фурсов В.Б. Моделирование в системе SIMULINK: учебное пособие. – Воронеж. гос. техн. ун-т; 2004. 56 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:**

#### **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.elektrospets.ru/index.php>

#### 13. Библиотека

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

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА Дисплейный класс**

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

По дисциплине «Моделирование систем управления 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 моделирования систем управления электроприводов. 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; помечать 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 начаться 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 8.3 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	