

**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 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Математическое моделирование электротехнических комплексов и систем»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

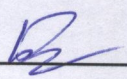
Профиль Электроприводы и системы управления электроприводов

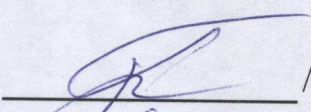
Квалификация выпускника магистр

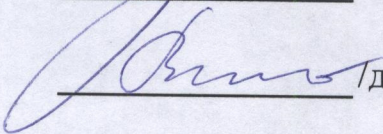
Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  / к.т.н. доцент Болдырев И.А./

Заведующий кафедрой
Электропривода,
автоматики и управления в
технических системах  /д.т.н. проф. Бурковский В.Л./

Руководитель ОПОП  /д.т.н. проф. Питолин В.М./

Воронеж 2021

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

Дисциплина «Математическое моделирование электротехнических комплексов и систем» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование электротехнических комплексов и систем» направлен на формирование следующих компетенций:

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

ПК-1 - Способен разрабатывать проекты системы электропривода

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	<u>Знать</u> способы и средства моделирования электромеханических систем
	<u>Уметь</u> разрабатывать проектные решения системы электропривода.
	<u>Владеть</u> навыками оценки и анализа современных электромеханических систем
ПК-1	<u>Знать</u> требования нормативных документов к устройству электротехнических комплексов и систем электропривода; правила разработки проектов системы электропривода и систем управления электроприводами с применением математического моделирования; правила разработки комплектов проектной и рабочей документации устройств электротехнических комплексов и систем электропривода с применением программных продуктов; типовые проектные решения систем управления и электропривода.
	<u>Уметь</u> применять правила разработки и математического моделирования проектов системы электропривода и электротехнических комплексов; использовать процедуры и методики систем менеджмента качества в области электроприводов; применять типовые проектные решения, системы автоматизированного проектирования и программы, используемые для написания и модификации документов, для разработки комплектов конструкторской документации и математического моделирования на различных стадиях проектирования системы электропривода и электротехнических комплексов.
	<u>Владеть</u> способами разработки технических заданий на проект системы электропривода; системами автоматизированного проектирования, математического моделирования и программными продуктами, используемыми для создания и модификации рабочей документации электротехнических комплексов и систем электроприводов.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование электротехнических комплексов и систем» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	117	117
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	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	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Математическое моделирование сложных электрических цепей и электроники	Моделирование симплексного ШИМ на основе математического описания. Моделирование однофазного и трехфазного корректора коэффициента мощности. Активный выпрямитель. Моделирование векторного ШИМ: использование координат $\alpha\beta$.	6	12	39	57
2	Математическое моделирование электро-механических систем	MATLAB приложение для моделирования сложного механического движение машин и механизмов, используя законы теоретической механики. Simulink библиотека Simscape Multibody. Моделирование электромеханических задач. Моделирование привода механического пресса. Моделирование простейшего манипулятора, осуществляющего заданное движение. Моделирование электромеханического равновесия – сегвей.	6	12	39	57
3	Математическое моделирование электро-гидравлических систем	Регулируемый электропривод для гидросистем. MATLAB приложение для моделирования сложной машиностроительной гидравлики. Моделирование электро - гидравлического пресса. Библиотека Simscape Fluids Hydraulics (Isothermal). Моделирование поддержания давления в гидро-магистрали.	6	12	39	57
Итого			18	36	117	171

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Моделирование сложных электрических цепей и электроники. Корректоры коэффициента мощности.
2. Моделирование сложных электрических цепей и электроники. Векторная ШИМ.
3. Математическое моделирование электро-механических систем. Моделирование механики. Моделирование привода механического пресса.
4. Моделирование электромеханического равновесия – сегвей.
5. Моделирование электро-гидравлических систем. Поддержания давления в гидро-магистрали.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

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	<u>Знать</u> способы и средства моделирования электро-механических систем	Может создать математическую модель электромеханической системы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<u>Уметь</u> разрабатывать проектные решения 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
	<u>Владеть</u> навыками оценки и анализа современных электромеханических систем	Умеет оценить адекватность построенной модели электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	<u>Знать</u> требования нормативных документов к устройству электротехнических комплексов и систем электропривода; правила разработки проектов системы электропривода и систем управления электроприводами с применением математического моделирования; правила	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

разработки комплектов проектной и рабочей документации устройств электротехнических комплексов и систем электропривода с применением программных продуктов; типовые проектные решения систем управления и электропривода.			
<u>Уметь</u> применять правила разработки и математического моделирования проектов системы электропривода и электротехнических комплексов; использовать процедуры и методики систем менеджмента качества в области электроприводов; применять типовые проектные решения, системы автоматизированного проектирования и программы, используемые для написания и модификации документов, для разработки комплектов конструкторской документации и математического моделирования на различных стадиях проектирования системы электропривода и электротехнических комплексов.	Может настроить алгоритм численного решения построенной математической модели электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
<u>Владеть</u> способами разработки технических заданий на проект системы электропривода; системами автоматизированного проектирования, математического моделирования и программными продуктами, используемыми для создания и модификации рабочей документации электротехнических комплексов и систем электроприводов.	Может обосновать метод численного решения построенной математической модели электропривода, исправить построенную модель по результатам моделирования.	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 1 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
УК-1	<u>Знать</u> способы и средства моделирования электро-механических систем	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<u>Уметь</u> разрабатывать проектные решения 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
	<u>Владеть</u> навыками оценки и анализа современных электро-механических систем	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	<u>Знать</u> требования нормативных документов к устройству электротехнических комплексов и систем электропривода; правила разработки проектов системы электропривода и систем управления электроприводами с применением математического моделирования; правила разработки комплектов проектной и рабочей документации устройств электротехнических комплексов и систем электропривода с применением программных продуктов; типовые проектные решения систем управления и 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 и математического моделирования проектов системы электропривода и электротехнических комплексов; использовать процедуры и методики систем менеджмента качества в области электроприводов; применять типовые проектные решения, системы автоматизированного проектирования и программы, используемые для написания и модификации документов, для разработки комплексов конструкторской документации и математического моделирования на различных стадиях проектирования системы электропривода и электротехнических комплексов.	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 способами разработки технических заданий на проект системы электропривода; системами автоматизированного проектирования, математического моделирования и программными продуктами, используемыми для создания и модификации рабочей документации электротехнических комплексов и систем электроприводов.	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 корректор коэффициента мощности?

1. Тиристорный выпрямитель.
2. Батарея статических конденсаторов.
3. Активный выпрямитель.

2. Что такое активный выпрямитель?

1. Обычный выпрямитель, работающий на активную нагрузку.
2. Обычный выпрямитель, работающий на реактивную нагрузку.
3. Выпрямитель на тиристорах.
4. Выпрямитель на транзисторах.

3. Корректор коэффициента мощности – это выпрямитель или система автоматического регулирования?

1. Практически обычный выпрямитель.
2. Регулируемый инвертор с обратной связью по току и напряжению.
3. Просто система автоматического регулирования.

4. Какое напряжение получается на выходе корректора коэффициента мощности?

1. Равное входному.
2. Меньше входного.
3. Больше входного.

5. Диапазон регулирования у активного выпрямителя?

1. Большой.
2. Малый.
3. Отсутствует.

6. Как корректируется коэффициент мощности?

1. Путем подбора величины емкости.
2. Настройкой ПИ регуляторов.
3. Изменением уровня напряжения питания.
4. Установкой настраиваемого фильтра.

7. Для чего используется корректор коэффициента мощности?

1. Для питания систем автоматического управления.
2. Для питания электрических двигателей.
3. Для управления синхронными двигателями с постоянными магнитами.
4. В электроэнергетических системах большой мощности вместо синхронных компенсаторов.
5. В системах с рекуперацией электрической энергии.

8. Чем векторная ШИМ отличается от обычной?

1. Ничем
2. У векторной ШИМ действующее выходное напряжение меньше, чем в обычной ШИМ.

3. У векторной ШИМ действующее выходное напряжение больше, чем в обычной ШИМ.

9. Число переключений транзисторов в векторной ШИМ

1. Больше, чем в обычной.
2. Одинаковое.
3. Меньше чем в обычной

10. Какова единица измерения скорости модуляции?

1. бит/с
2. Бод
3. бит
4. км/ч
5. м/с
- 6.

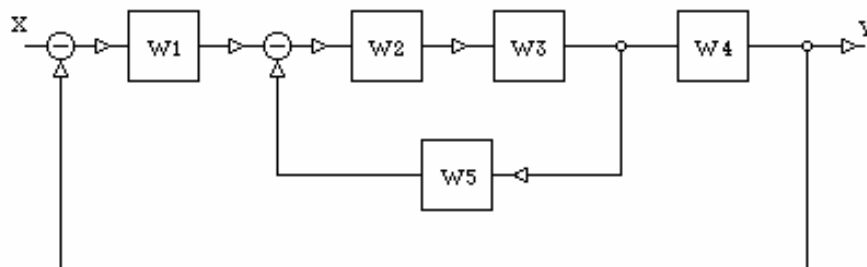
7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

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

Рассчитайте

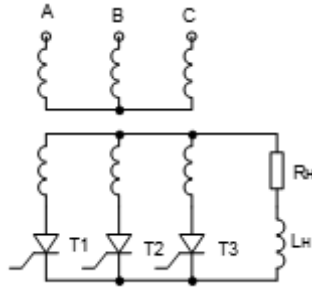
- амплитудно-частотную (ФЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики разомкнутой и замкнутой системы; по ним определите, устойчива САР или нет;
- амплитудно-фазовая характеристику;
- нули и полюса линейной САР;

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

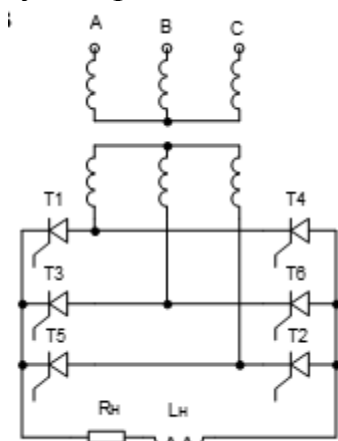


$$\begin{aligned} W_1 &= k_1; & k_1 &= 1.4; \\ W_2 &= \frac{k_2}{T_1 p + 1}; & k_2 &= 63; & T_1 &= 0.5 \text{ с}; \\ W_3 &= \frac{k_3}{p}; & k_3 &= 0.316; \\ W_4 &= \frac{k_4}{T_4 p + 1}; & k_4 &= 3.56; & T_4 &= 0.01 \text{ с}; \\ W_5 &= \frac{T_2 p + 1}{T_3 p + 1}; & T_2 &= 0.25 \text{ с}; & T_3 &= 0.05 \text{ с}. \end{aligned}$$

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.



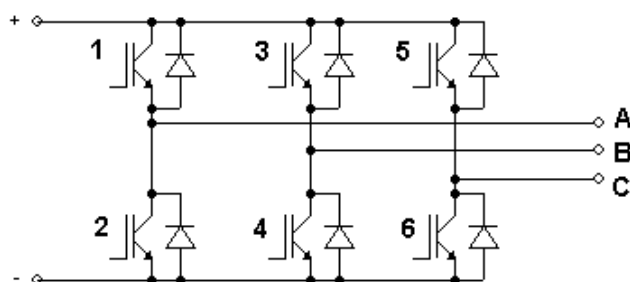
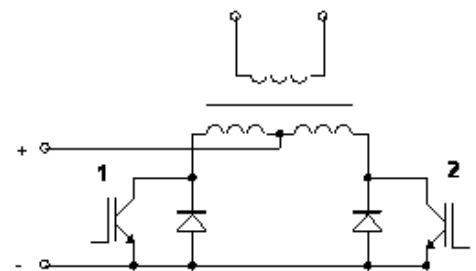
3. Постройте модель преобразователя, используя блоки *PLL* (система фазового регулирования), *PulseGenerator* (импульсный генератор) и *UniversalBridge* (универсальный мост) из SimPowerSystem. Результаты моделирования сравнить.



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 *UniversalBridge* (Универсальный мост) из SimPowerSystem. Результаты моделирования сравнить.



7. Постройте модель двигателя постоянного тока 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			
$P_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$R_{\text{я}}$	$L_{\text{я}}$	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. Трехфазный синхронный генератор работает на практически постоянную нагрузку при изменяемых оборотах вала. Какой разброс в скорости допускает генератор, если в качестве выпрямителя используется управляемый активный выпрямитель (корректор коэффициента мощности)? Допустимое отклонение напряжения на нагрузке 5%.

Параметры генератора: $p = 4$; $R = 0.62$ Ом; $L = 0.002075$ Гн; $\Psi_m = 0.08627$ Вб; номинальная скорость 3000 об/мин; параметры нагрузки: $R_H = 6$ Ом; $C_H = 1500$ мкФ; $U_H = 80$ В

2. Постройте в Simulink математическую модель трехфазного синхронного двигателя с постоянными магнитами в переменных abc. Выберите любую встроенную модель СДПМ в SimPowerSystem и сравните модели.

$$u_A = Ri_A + L \frac{di_A}{dt} - \omega \cdot \Psi_m \cdot \sin(\varphi),$$

$$u_B = Ri_B + L \frac{di_B}{dt} - \omega \cdot \Psi_m \cdot \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$u_C = Ri_C + L \frac{di_C}{dt} - \omega \cdot \Psi_m \cdot \sin\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{дв}} - M_c$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega$$

$$M_{дв} = -\Psi_m \cdot \left[\sin(\varphi) \cdot i_A + \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \cdot i_B + \sin\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \cdot i_C \right]$$

3. Постройте в Simulink математическую модель трехфазного синхронного двигателя с постоянными магнитами в координатах dq. Выберите любую встроенную модель СДПМ в SimPowerSystem и сравните модели.

$$\begin{cases} u_d = R \cdot i_d + L \frac{di_d}{dt} - p\omega L \cdot i_q \\ u_q = R \cdot i_q + L \frac{di_q}{dt} + p\omega L i_d + p\omega \Psi_m \end{cases}$$

$$M_d = \frac{3}{2} p \cdot \Psi_m \cdot i_q$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_c$$

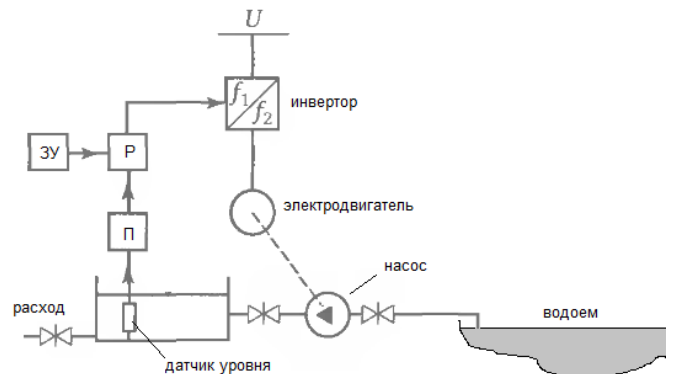
4. Постройте в Simulink математическую модель шагового двигателя.

Дано: $L = 1$ мГн; $R = 0.1$ Ом; $\Psi_m = 0.04$ Вб; $J = 0.0002$ кгм²; $b = 0.01$ кгм²/с; $p = 3$; $M_0 = 0.01$ Нм; $M_c = 0.2$ Нм; напряжение источника 10 В.

5. Вибровыравниватель представляет собой эксцентрик массой 2 кг, вращаемый электродвигателем со скоростью 10 об/с. Смоделируйте этот вибровыравниватель, если масса остальной части 10 кг.

6. Постройте механическую модель маятника Фуко

7. Постройте электро-гидравлическую систему поддержания уровня жидкости в баке. На схеме: П – преобразователь сигнала с датчика; ЗУ – задатчик уровня; Р – регулятор. Бак объемом 20 м³; площадь основания 8 м²; насос по умолчанию Model parameterization 2D tables. Задачу следует упростить.



8. Какой мощности должен быть электрический двигатель на гидравлическом домкрате, чтобы поднимать автомобиль массой 1600 кг на высоту 2 м за 2 мин? Смоделируйте этот процесс.

9. Тележка крана массой $m_1 = 200$ кг перемещается с грузом $m_2 = 500$ кг, висящем на тросе длиной $\ell = 5$ м, под действием силы $F = 1000 \cos(4\pi t)$, Н. Уравнения Лагранжа дают уравнения колебаний данной системы:

$$(m_1 + m_2) \frac{d\dot{x}}{dt} - m_2 \ell \left(\frac{d\dot{\phi}}{dx} \cos \phi - \dot{\phi}^2 \sin \phi \right) = F$$

$$\ell \frac{d\dot{\phi}}{dt} = \frac{d\dot{x}}{dt} \cos \phi - g \sin \phi$$

Постройте Simulink модель данной системы.

10. Электрическая машина с ограниченным углом поворота на ± 200 описывается уравнениями

$$L \frac{di}{dt} + Ri - p\omega \Psi_m \cos(p\varphi) = u,$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = -p i \Psi_m \cos(p\varphi) - M_n(\varphi),$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega$$

Реактивный момент нагрузки зависит от угла положения ротора и аппроксимируется функцией:

$$M_p(\varphi) = 7.855 \sin(2p\varphi) + 7 \sin(4p\varphi) - 3.14 \sin(6p\varphi), \quad [\text{мНм}]$$

Параметры машины: $\Psi_m = 0.0151$ Вб; $L = 0.8$ мГн; $R = 2.4$ Ом; $p = 4$; $J = 1.3 \cdot 10^{-7}$ кгм²; напряжение питания 14 В. Момент нагрузки 0.035 Нм. Постройте модель машины и систему регулирования, обрабатывающую заданный угол.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень для подготовки к экзамену.

1. Математическое моделирование сложных электрических цепей. Общая схема построения сложной электрической цепи.
2. Состояние и перспективы моделирования электроэнергетических и электромеханических систем.
3. Математическое моделирование сложных систем автоматического управления.
4. Современное программное обеспечение по моделированию сложных систем автоматического управления.
5. Соединение задач теории цепей с задачами теории поля.
6. Программы Elcut, Ansys, Maxwell. Возможности современных программ по моделированию электромагнитных полей. Преимущества и недостатки.
7. Моделирование механических и электромеханических устройств.
8. Работа в приложении SimMechanics.
9. Математическое моделирование задач теории поля.
10. Программы моделирования электромагнитных процессов AnsysElectronics.
11. Расчет сил и момента в задачах электромеханики.
12. Математическое моделирование задач электромеханики.
13. Программы моделирования электромеханических устройств и процессов.

14. Самостоятельное решение задач путём организации процесса с помощью современных математических пакетов. Анализ полученных результатов.
15. Математические методы оптимизации устройств и систем.
16. Методы оптимизации в различных математических программах и приложениях.
17. Оптимизация и поиск экстремума в задачах теории поля.
18. Оптимизации систем управления. Виды оптимизации. Методы поиска экстремума.
19. Приложение SISODesignTool и его применение к настройке динамики и статики линейных систем управления.
20. Приложение SimulinkResponseOptimization для оптимизации нелинейных систем управления.
21. Настройка систем. Блок оптимизации переходных процессов SimulinkResponseOptimization.

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 10 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 14 баллов
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 17 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 18 до 20 баллов

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Математическое моделирование сложных электрических цепей и электроники	УК-1, ПК-1	Тест
2	Математическое моделирование электро-механических систем	УК-1, ПК-1	Защита лабораторных работ; работающая модель
3	Математическое моделирование электро-гидравлических систем	УК-1, ПК-1	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.

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 SimPowerSysem.: 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.

5. Компьютерное моделирование электромеханических систем постоянного и переменного тока в среде MATLAB Simulink: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, В. Б., Терехин, И. Г. Однокопылов, В. М. Рулевский. — Томск : Томский политехнический университет, 2018. — 497 с. — ISBN 978-5-4387-0819-3. — Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. — URL:<https://www.iprbookshop.ru/98983.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

6. Буслов В.А. Пакеты прикладных программ. [Электронный ресурс] / В.А. Буслов. – Воронеж: ВГТУ, 2009. – 97 с.

7. Бурьков, Д. В. Mathcad, Matlab, Matlab Simulink, Scilab в электротехнике : учебное пособие / Д. В. Бурьков. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство

Южного федерального университета, 2021. — 171 с. — ISBN 978-5-9275-3961-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/121901.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

8. Смирнова, Н. А. Синтез замкнутых систем автоматического управления с примерами в MATLAB. Линейные непрерывные системы : учебное пособие / Н. А. Смирнова, А. А. Суханов. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021. — 175 с. — ISBN 978-5-7422-7292-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/116148.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

9. Осипов, В. Е. Моделирование электронных устройств в среде Matlab. В 2-х частях. Ч.1 : учебное пособие / В. Е. Осипов. — Омск : Омский государственный технический университет, 2021. — 135 с. — ISBN 978-5-8149-3221-1 (ч.1), 978-5-8149-3220-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/124843.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

10. Осипов, В. Е. Моделирование электронных устройств в среде Matlab. В 2-х частях. Ч.2 : учебное пособие / В. Е. Осипов. — Омск : Омский государственный технический университет, 2021. — 106 с. — ISBN 978-5-8149-3237-2 (ч.2), 978-5-8149-3220-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/124844.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

11. Дьяконов, В. П. MATLAB : полный самоучитель / В. П. Дьяконов. — 2-е изд. — Саратов : Профобразование, 2019. — 768 с. — ISBN 978-5-4488-0065-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/87981.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

12. Бурьков, Д. В. Применение IT-технологий в электроэнергетике: Mathcad, Matlab (Simulink), NI Multisim : учебное пособие / Д. В. Бурьков, Н. К. Полуянович. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. — 126 с. — ISBN 978-5-9275-3086-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/95813.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

13. Дьяконов, В. П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. П. Дьяконов. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2017. — 384 с. — ISBN 5-98003-130-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/90378.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

14. Кудинов, Ю. И. Практическая работа в MATLAB : учебное пособие / Ю. И. Кудинов. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 62 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/55606.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

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 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

Лицензионное программное обеспечение

1. Windows Professional 8.1 Single Upgrade MVL A Each Academic;
2. «MATLAB Classroom new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License);
3. Simulink Classroom new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License);
4. MathWorks SMS - Software Maintenance Service (per year)

Свободно распространяемое и бесплатное программное обеспечение

1. Adobe Acrobat Reader
2. FreeMat
3. OpenOffice
4. STDU Viewer
5. Google Chrome
6. Paint.NET

8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Образовательный портал ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru/>
2. Электронная библиотека ВГТУ: <https://bibl.cchgeu.ru/catalog/>
3. Электронно-библиотечная система IPR SMART: <https://www.iprbookshop.ru/>
4. Электронно-библиотечная система «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
5. Научная электронная библиотека: www.elibrary.ru
6. Информационно-справочная система ВГТУ: <https://wiki.cchgeu.ru/>
7. Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/>
8. ГОСТ Эксперт – единая база ГОСТов РФ <https://gostexpert.ru/>
9. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации <https://docs.cntd.ru/>
10. НЭБ – Национальная электронная библиотека <https://rusneb.ru/>
11. КиберЛенинка <https://cyberleninka.ru/>

12. Сайт Marketelectro Рынок электротехники- отраслевой портал: Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления <https://marketelectro.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Реализация дисциплины требует наличия учебной аудитории для проведения практических занятий.

Оборудование аудитории: комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья).

Технические средства обучения:

- проектор;
- экран.

Переносное техническое оборудование:

- переносной компьютер.

Для проведения лабораторных работ используется учебная аудитория.

Оборудование аудитории:

комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья).

Технические средства обучения:

- персональные компьютеры в сборе;
- лабораторные стенды.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

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

По дисциплине «Математическое моделирование электротехнических комплексов и систем» проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков моделирования электротехнических комплексов и систем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Вид учебных занятий	Деятельность студента
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 усвоения 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 три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответствен- ной за реализацию ОПОП
1	Актуализированы разделы 8.1, 8.2 пункта 8, а именно «Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины», «Лицензионное программное обеспечение», «Свободно-распространяемое и бесплатное программное обеспечение», «Современные профессиональные базы данных». Актуализирован пункт 9 «Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса»	31.08.2025	