

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.04
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 48 часа;
Лабораторные работы	7 семестр - 16 часов;
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	7 семестр - 119,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатова Е.П.
	Идентификатор	R51c6ebe0-KurbatovaYP-a15ccd67

Е.П. Курбатова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	fe7bf1ad9-KuznetsovaYA-c9331b9

Е.А. Кузнецова

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

М.Г. Киселев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов и средств математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов для последующего использования в их проектировании и эксплуатации

Задачи дисциплины

- изучение методов макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов;
- освоение принципов работы с компьютерными программными средствами, применяемыми при макроскопическом моделировании процессов в физических системах;
- изучение математических моделей типовых элементов и узлов электротехнического оборудования;
- обучение методам анализа и обобщения результатов математического моделирования для их применения при проектировании и эксплуатации электротехнических объектов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способен использовать методы математического анализа и компьютерного моделирования для изучения принципов функционирования и исследования характеристик и особенностей работы электрических и электронных аппаратов различного функционального назначения	ИД-3 _{ПК-3} Демонстрирует знание законов электротехники, математического анализа и основ теории электрических аппаратов	знать: - методы макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов; - принципы построения математических моделей и их эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах на основе законов электротехники, механики, распространения тепла. уметь: - определять параметры эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах; - применять физические законы и методы при анализе электромагнитных явлений и процессов в электрических аппаратах; - применять методы макроскопического моделирования для построения эквивалентных схем механических узлов электрических аппаратов.
ПК-3 Способен использовать методы математического анализа и компьютерного моделирования для изучения принципов функционирования и исследования	ИД-7 _{ПК-3} Применяет современные компьютерные технологии, позволяющие исследовать режимы работы и характеристики электрических и электронных аппаратов при реализации различных	уметь: - применять современные компьютерные технологии, позволяющие исследовать режимы работы электрических цепей; - применять методы и программные средства для компьютерного моделирования контактных систем электрических аппаратов;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
характеристик и особенностей работы электрических и электронных аппаратов различного функционального назначения	функций	<ul style="list-style-type: none"> - применять современные компьютерные технологии для построения макромоделей механических узлов с 3D визуализацией; - выполнять анализ результатов математического моделирования для их применения при исследованиях режимов работы и характеристик электротехнических объектов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрические и электронные аппараты (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта	26	7	6	4	6	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу для подготовки к тесту №1 "Основные понятия макромоделирования" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 72-78 [3], стр. 4-14 [4], стр. 72-78</p>	
1.1	Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта	26		6	4	6	-	-	-	-	-	10	-		
2	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов	50		8	4	12	-	-	-	-	-	26	-		<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с описанием лабораторной работы №1 "Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях", а также изучить задачи выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов. <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу для подготовки к контрольной работе №1 "Макромодель механического узла" <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу для подготовки к тесту №2 "Модели подсистем</p>
2.1	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов	50		8	4	12	-	-	-	-	-	26	-		

													электротехнических объектов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 159-167 [2], стр. 78-96, стр. 184-187 [3], стр. 14-27 [4], стр. 78-96, стр. 184-187
3	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов	44	8	4	12	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с описанием лабораторной работы №2 "Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения", а также изучить задачи выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов.
3.1	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов	44	8	4	12	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу для подготовки к контрольной работе №2 "Моделирование контактной системы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 126-140 [3], стр. 27-35 [4], стр. 126-140
4	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов	62	10	4	18	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с описанием лабораторной работы №4 "Построение модели механизма свободного расцепления", а также изучить задачи выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов.
4.1	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических	62	10	4	18	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с описанием лабораторной работы №3 "Моделирование электромеханического реле

	объектов												с переключающимися контактами", а также изучить задачи выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов. <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу для подготовки к контрольной работе №3 "Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 167-197 [2], стр. 140-150 [3], стр. 64-69 [4], стр. 140-150
	Экзамен	34.0	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	216.0	32	16	48	-	-	-	-	0.5	86	33.5	
	Итого за семестр	216.0	32	16	48	-	-	-	-	0.5	119.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта

1.1. Понятие математической макроскопической модели электротехнического объекта

Понятие математической модели. Макроскопические и микроскопические модели, основные допущения. Электрическая, электромагнитная, механическая и тепловая подсистемы физической системы электротехнического объекта. Термины и определения: элементы, фазовые переменные, источники фазовых переменных. Компонентные и топологические уравнения. Обзор программных средств для анализа процессов на основе макромоделей технических устройств..

2. Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов

2.1. Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов

Основы теории подобия. Теоремы и дополнительные положения о подобии. Критерии подобия элементов подсистем электротехнических объектов и их применение при макроmodellировании. Аналогии элементов и фазовых переменных основных подсистем. Прямые и обращенные модели. Компонентные и топологические уравнения электрической, электромагнитной, механической и тепловой подсистем. Независимые и зависимые источники фазовых переменных. Представление математической модели в виде эквивалентных схем электрических цепей..

3. Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов

3.1. Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов

Методы построения эквивалентных схем математических моделей. Эквивалентные схемы моделей электрической, электромагнитной, механической и тепловой подсистем типовых узлов электротехнических объектов. Принципы построения эквивалентных схем для анализа электротехнических устройств. Объединения моделей отдельных подсистем в единую систему с использованием зависимых источников фазовых переменных и элементов. Формирование систем топологических уравнений математической модели..

4. Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов

4.1. Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов

Построение математических моделей электротехнических объектов в программной среде Matlab Simulink. Модели простейших механизмов электрических аппаратов, электротехнических устройств с электромагнитным приводом. Анализ переходных и установившихся процессов в электротехнических объектах с применением специализированных программных средств..

3.3. Темы практических занятий

1. Моделирование кривошипно-шатунного механизма;
2. Моделирование механической подсистемы вращательного движения. Модель маятника;
3. Электрическая цепь трансформатора напряжения. Собственная и взаимная индуктивность;

4. Моделирование электромеханической системы контактора переменного тока;
5. Построение графов и эквивалентных схем механических подсистем;
6. Моделирование нелинейных элементов в электрических цепях и задание собственных ВАХ.;
7. Моделирование магнитной подсистемы. Дроссель со стальным сердечником;
8. Моделирование электрической подсистемы. Источник ЭДС, подключенный к комплексной электрической нагрузке;
9. Моделирование тепловой подсистемы. Нагрев катушки с током.;
10. Моделирование механической подсистемы поступательного движения. Анализ движения массы, подключенной к пружине;
11. Модель контактной системы реле с размыкающимися и замыкающимися контактами;
12. Моделирование системы, состоящей из нескольких масс, соединенных пружинами между собой и с неподвижным основанием;
13. Моделирование электромеханической системы контактора постоянного тока;
14. Макромодели контактных систем электрических аппаратов с 3D визуализацией.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Построение модели механизма свободного расцепления;
2. Моделирование электромеханического реле с переключающимися контактам;
3. Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения;
4. Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях.

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
принципы построения математических моделей и их эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах на основе законов электротехники, механики, распространения тепла	ИД-3ПК-3		+			Тестирование/Модели подсистем электротехнических объектов
методы макроскопического математического моделирования процессов в физических системах электротехнических объектов	ИД-3ПК-3	+				Тестирование/Основные понятия макромоделирования
Уметь:						
применять методы макроскопического моделирования для построения эквивалентных схем механических узлов электрических аппаратов	ИД-3ПК-3		+			Контрольная работа/Макромодель механического узла
применять физические законы и методы при анализе электромагнитных явлений и процессов в электрических аппаратах	ИД-3ПК-3			+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2 "Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения"
определять параметры эквивалентных схем для анализа физических процессов в электрических аппаратах	ИД-3ПК-3				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 "Моделирование электромеханического реле с переключающимися контактами"
выполнять анализ результатов математического моделирования для их применения при исследованиях режимов работы и характеристик электротехнических объектов	ИД-7ПК-3				+	Контрольная работа/Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока
применять современные компьютерные технологии для построения макромодели механических узлов с 3D	ИД-7ПК-3				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4 "Построение модели механизма

визуализацией					свободного расцепления"
применять методы и программные средства для компьютерного моделирования контактных систем электрических аппаратов	ИД-7 _{ПК-3}			+	Контрольная работа/Моделирование контактной системы
применять современные компьютерные технологии, позволяющие исследовать режимы работы электрических цепей	ИД-7 _{ПК-3}		+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 "Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях"

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока (Контрольная работа)
2. Макромодель механического узла (Контрольная работа)
3. Моделирование контактной системы (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Модели подсистем электротехнических объектов (Тестирование)
2. Основные понятия макро моделирования (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы №1 "Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 "Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения" (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №3 "Моделирование электромеханического реле с переключающимися контактами" (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4 "Построение модели механизма свободного расцепления" (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / отв. ред. П. А. Курбатов . – М. : Юрайт, 2016 . – 440 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-5890-4 .;
2. Основы теории электрических аппаратов : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / ред. П. А. Курбатов . – 5-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2015 . – 592 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1800-8 .;
3. Курбатов, П. А. Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Математическое моделирование

электротехнических объектов", "Моделирование электромагнитных полей", "Механизмы электрических аппаратов" по специальности "Электрические и электронные аппараты" / П. А. Курбатов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 110 с. - ISBN 978-5-383-00092-2 .;

4. Акимов Е. Г., Белкин Г. С., Годжелло А. Г., Дегтярь В. Г.- "Основы теории электрических аппаратов", (5-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2015 - (592 с.) http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=61364.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. OpenModelica.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>
<http://docs.cntd.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с

	читальный зал	выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	ЭЭА-24, Кабинет сотрудников	стеллаж для хранения инвентаря, стул, стол письменный, документы, запасные комплектующие для оборудования
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование электротехнических объектов

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные понятия макро моделирования (Тестирование)
- КМ-2 Модели подсистем электротехнических объектов (Тестирование)
- КМ-3 Макромодель механического узла (Контрольная работа)
- КМ-4 Моделирование контактной системы (Контрольная работа)
- КМ-5 Анализ процессов в электромеханической системе контактора постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-6 Защита лабораторной работы №1 "Моделирование и анализ резонансных и несинусоидальных режимов в электрических цепях" (Лабораторная работа)
- КМ-7 Защита лабораторной работы №2 "Моделирование электромагнитных процессов в двухобмоточном трансформаторе напряжения" (Лабораторная работа)
- КМ-8 Защита лабораторной работы №3 "Моделирование электромеханического реле с переключающимися контактами" (Лабораторная работа)
- КМ-9 Защита лабораторной работы №4 "Построение модели механизма свободного расцепления" (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	4	6	8	12	15	16	16	16	16
1	Понятие математической макрокопической модели электротехнического объекта										
1.1	Понятие математической макрокопической модели электротехнического объекта	+									
2	Применение теории подобия для математического моделирования основных подсистем электротехнических объектов										
2.1	Применение теории подобия для математического моделирования			+	+			+			

	основных подсистем электротехнических объектов									
3	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов									
3.1	Эквивалентные схемы типовых элементов и узлов электротехнических объектов				+			+		
4	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов									
4.1	Применение математического моделирования для анализа процессов в физических системах электротехнических объектов					+			+	+
Вес КМ, %:		5	10	15	15	15	10	10	10	10