

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Моделирование в электроэнергетике и электротехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.04
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 48 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Проверочная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Иванов А.С.
	Идентификатор	R28e5c30d-IvanovAIS-37175ef6

А.С. Иванов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Козьмина И.С.
	Идентификатор	Ra036a963-KozminaIS-f85c8f2a

И.С. Козьмина

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тульский В.Н.
	Идентификатор	R292b173d-TulskyVN-7e812984

В.Н. Тульский

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение теоретических вопросов математического моделирования электрических машин и трансформаторов, изучение методов анализа переходных процессов в электрических машинах на основе их математических моделей.

Задачи дисциплины

- изучение основных понятий и подходов к моделированию вращающихся электрических машин;
- изучение особенностей протекания переходных процессов в различных электрических машинах и влияния параметров электрических машин на ход переходного процесса;
- овладение навыками составления математических моделей и систем дифференциальных уравнений, описывающих поведение электрической машины;
- приобретение навыков обоснованного выбора математической модели, системы координат и формы записи при моделировании электрических машин;
- освоение методов анализа разного рода переходных процессов в электрических машинах;
- приобретение навыков расчета параметров электрических машин полевыми методами.

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-2 Способность принимать участие в решении исследовательских задач в рамках реализации научного проекта	ИД-4 _{ПК-2} Знает информационные технологии, используемые в науке и технике	знать: - программные средства моделирования электрических машин и трансформаторов. уметь: - моделировать динамические режимы синхронных электрических машин; - моделировать динамические режимы электрических машин с учётом нелинейности и взаимного влияния параметров с использованием современных программных средств.
ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике	ИД-2 _{ПК-3} Применяет методы конструирования и моделирования электрических машин для решения профессиональных задач	знать: - методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования переходных процессов в электрических машинах и трансформаторах; - принципы математического описания процессов, происходящих в электрических машинах и трансформаторах. уметь: - составлять модели машин постоянного тока с различным типом возбуждения; - рассчитывать и моделировать переходные процессы в ветвях электрических машин и трансформаторов.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике	ИД-7 _{ПК-3} Владеет базовыми инструментальными средствами создания, моделирования и конструирования электрических машин в электроэнергетике	знать: - общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах; - особенности влияния параметров на ход переходного процесса в электрических машинах. уметь: - составлять модели трансформаторов с сосредоточенными и распределёнными параметрами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Моделирование в электроэнергетике и электротехнике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Моделирование электрических машин: цели, задачи, подходы	10	3	4	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 317-318 [4], часть 1
1.1	Понятие математической модели.	10		4	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
2	Моделирование трансформаторов	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], глава 25 [4], часть 2 [5], глава 15
2.1	Моделирование трансформаторов	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
3	Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], главы 18-31
3.1	Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
4	Обобщенная электрическая машина	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], глава 2
4.1	Обобщенная	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	

	электрическая машина												[6], глава 69
5	Моделирование асинхронных машин	18	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
5.1	Моделирование асинхронных машин	18	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	[4], часть 3 [5], глава 44.1 [6], глава 70
6	Моделирование синхронных машин	16	6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
6.1	Моделирование синхронных машин	16	6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	[3], глава 26 [6], главы 71, 72, 73
7	Моделирование машин постоянного тока.	14	6	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
7.1	Моделирование машин постоянного тока.	14	6	-	2	-	-	-	-	-	6	-	[2], главы 10.2, 11.2 [4], часть 4
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	48	-	16	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	48	-	16	2	-	-	0.5	77.5			

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. Моделирование электрических машин: цели, задачи, подходы

1.1. Понятие математической модели.

Цели и задачи моделирования.. Макроскопические и микроскопические модели.. Электрические машины как объекты моделирования. Классификация электрических машин.. Три подхода к решению задач электромеханики. Виды переходных процессов в трансформаторах и электрических машинах.. Математическое описание переходных процессов.. Тепловые переходные процессы..

2. Моделирование трансформаторов

2.1. Моделирование трансформаторов

Дифференциальные уравнения трансформатора и их связь с комплексными уравнениями установившихся режимов.. Физический смысл параметров в дифференциальных уравнениях.. Переходный процесс при включении в сеть ненагруженного трансформатора, влияние насыщения.. Внезапное короткое замыкание вторичной обмотки трансформатора, ударный ток короткого замыкания.. Воздействие токов короткого замыкания на трансформатор.. Включение трансформатора на постоянное напряжение.. Применение конечно-элементных моделей для расчёта параметров трансформатора..

3. Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах

3.1. Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах

Электромеханические процессы преобразования энергии в электрических машинах.. Способы получения периодического изменения магнитного поля в электрической машине.. Возможные принципиальные исполнения электрических машин.. Условия получения однонаправленного преобразования энергии в электрической машине.. Схемы обмоток машин переменного тока.. Расчет периодического магнитного поля электрической машины в линейном приближении.. Магнитное поле взаимной индукции фазы обмотки и ее элементов.. Магнитное поле взаимной индукции многофазной обмотки.. Магнитное поле вращающейся обмотки возбуждения.. Потокосцепления вращающихся полей с обмотками.. Электродвижущие силы, индуцируемые вращающимися полями.. Индуктивности многофазных обмоток.. Электромагнитные силы и моменты.. Электромеханическое преобразование энергии во вращающемся магнитном поле.. Потери при преобразовании энергии.. Коэффициент полезного действия..

4. Обобщенная электрическая машина

4.1. Обобщенная электрическая машина

Методы анализа переходных процессов в электрических машинах.. Обобщённая электрическая машина.. Идеализированная электрическая машина.. Пространственные векторы переменных в различных системах координат.. Дифференциальные уравнения обобщенной машины в различных системах координат.. Использование относительных единиц в обобщенной теории электрических машин.. Электромагнитный момент в обобщенной теории электрических машин.. Преобразование многофазных обмоток в эквивалентные двухфазные. Этапы и инварианты преобразования.. Формулы прямого и обратного преобразования переменных. Матричные преобразования.. Преобразования Кларк и преобразования Парка..

5. Моделирование асинхронных машин

5.1. Моделирование асинхронных машин

Дифференциальные уравнения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в различных системах координат.. Переходные процессы в асинхронных двигателях.. Влияние параметров асинхронного двигателя на ход переходного процесса.. Статическая и динамическая механические характеристики.. Учёт нелинейных изменений параметров при математическом моделировании электрических машин.. Моделирование генераторного режима асинхронной машины.. Математическая модель асинхронного генератора с самовозбуждением.. Математическая модель однофазного асинхронного двигателя.. Расчёт параметров и вращающего момента методом конечных элементов..

6. Моделирование синхронных машин

6.1. Моделирование синхронных машин

Дифференциальные уравнения Парка-Горева для синхронных машин.. Электромагнитный момент в синхронных машинах.. Расчёт параметров синхронных машин методом конечных элементов.. Переходный процесс при внезапном трёхфазном коротком замыкании синхронного генератора..

7. Моделирование машин постоянного тока.

7.1. Моделирование машин постоянного тока.

Дифференциальные уравнения машин постоянного тока с различными типами возбуждения.. Динамические режимы пуска, торможения, реверса и регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока.. Влияние параметров двигателя постоянного тока на ход переходного процесса..

3.3. Темы практических занятий

1. Особенности моделирования переходных процессов в ветвях электрических машин;
2. Моделирование переходных процессов в трансформаторах;
3. Моделирование магнитного поля трансформатора;
4. Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе;
5. Моделирование магнитного поля асинхронной машины;
6. Исследование переходных процессов в асинхронном конденсаторном двигателе;
7. Исследование вхождения в синхронизм синхронного двигателя;
8. Исследование пусковых, синхронизирующих и рабочих свойств синхронных микродвигателей;
9. Исследование переходных процессов двигателя постоянного тока.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

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	5	6	7		
Знать:										
программные средства моделирования электрических машин и трансформаторов	ИД-4 _{ПК-2}			+					Проверочная работа/КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя	
принципы математического описания процессов, происходящих в электрических машинах и трансформаторах	ИД-2 _{ПК-3}	+							Контрольная работа/КМ-1. Особенности моделирования переходных процессов в ветвях электрических машин и трансформаторов	
методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования переходных процессов в электрических машинах и трансформаторах	ИД-2 _{ПК-3}				+				Проверочная работа/КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя	
общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах	ИД-7 _{ПК-3}			+	+				Проверочная работа/КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя Проверочная работа/КМ-4. Моделирование синхронных машин	
особенности влияния параметров на ход переходного процесса в электрических машинах	ИД-7 _{ПК-3}				+				Проверочная работа/КМ-4. Моделирование синхронных машин Проверочная работа/КМ-5. Моделирование машин постоянного тока	
Уметь:										
моделировать динамические режимы электрических машин с учётом нелинейности и взаимного влияния параметров с использованием современных программных средств	ИД-4 _{ПК-2}					+			Проверочная работа/КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя	

моделировать динамические режимы синхронных электрических машин	ИД-4 _{ПК-2}						+		Проверочная работа/КМ-4. Моделирование синхронных машин
рассчитывать и моделировать переходные процессы в ветвях электрических машин и трансформаторов	ИД-2 _{ПК-3}	+							Контрольная работа/КМ-1. Особенности моделирования переходных процессов в ветвях электрических машин и трансформаторов
составлять модели машин постоянного тока с различным типом возбуждения	ИД-2 _{ПК-3}							+	Проверочная работа/КМ-5. Моделирование машин постоянного тока
составлять модели трансформаторов с сосредоточенными и распределёнными параметрами	ИД-7 _{ПК-3}		+						Проверочная работа/КМ-2. Моделирование трансформаторов

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-1. Особенности моделирования переходных процессов в ветвях электрических машин и трансформаторов (Контрольная работа)
2. КМ-2. Моделирование трансформаторов (Проверочная работа)
3. КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя (Проверочная работа)
4. КМ-4. Моделирование синхронных машин (Проверочная работа)
5. КМ-5. Моделирование машин постоянного тока (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин : Учебник для электротехнических и энергетических специальностей вузов / И. П. Копылов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2001. – 327 с. – ISBN 5-06-003861-0.;
2. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и "Электроэнергетика" / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2008. – 350 с. – (Учебник для вузов). – ISBN 978-5-469-01381-5.;
3. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и "Электроэнергетика" / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2007. – 320 с. – (Учебник для вузов). – ISBN 5-469-01380-4.;
4. Иванов, А. С. Переходные процессы в электрических машинах : практикум по курсу "Переходные процессы в электрических машинах" по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / А. С. Иванов, Ю. А. Мощинский, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ "МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 67 с. – ISBN 978-5-7046-1927-7.
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=10085>;
5. Иванов-Смоленский А.В.- "Электрические машины. В двух томах. Том 1", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012222.html>;

6. Иванов-Смоленский А.В.- "Электрические машины. В двух томах. Том 2", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012239.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. SimInTech (студенческая версия);
6. Finite Element Method Magnetism (FEMM).

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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-407, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-409, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-407, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	3-203/5, Кабинет сотрудников каф. "ТОЭ"	стол, стул, шкаф
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	3-403/56, Помещение каф. "ТОЭ"	стул, шкаф

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование электрических машин

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1. Особенности моделирования переходных процессов в ветвях электрических машин и трансформаторов (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2. Моделирование трансформаторов (Проверочная работа)
- КМ-3 КМ-3. Моделирование асинхронного электродвигателя (Проверочная работа)
- КМ-4 КМ-4. Моделирование синхронных машин (Проверочная работа)
- КМ-5 КМ-5. Моделирование машин постоянного тока (Проверочная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	16
1	Моделирование электрических машин: цели, задачи, подходы						
1.1	Понятие математической модели.		+				
2	Моделирование трансформаторов						
2.1	Моделирование трансформаторов			+			
3	Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах						
3.1	Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах				+	+	
4	Обобщенная электрическая машина						
4.1	Обобщенная электрическая машина				+	+	+
5	Моделирование асинхронных машин						
5.1	Моделирование асинхронных машин				+		
6	Моделирование синхронных машин						
6.1	Моделирование синхронных машин					+	
7	Моделирование машин постоянного тока.						
7.1	Моделирование машин постоянного тока.						+

Bec KM, %:	10	20	30	20	20
------------	----	----	----	----	----