

**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: Электромеханика, электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**НЕНОМИНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ПЕРЕХОДНЫЕ**  
**ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.09
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	8 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	8 семестр - 14 часов;
<b>Практические занятия</b>	8 семестр - 14 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	8 семестр - 14 часов;
<b>Консультации</b>	8 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	8 семестр - 99,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Контрольная работа Лабораторная работа Программирование (код)	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	8 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2025**

**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	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	Re7bf1ad9-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 явлений, возникающих в электрических машинах и трансформаторах в ненормальных режимах работы и при переходных процессах, методов анализа процессов на основе модели обобщенной электрической машины.

### Задачи дисциплины

- изучение основных видов ненормальных и несимметричных режимов работы электрических машин;
- изучение особенностей работы различных электрических машин в аварийных режимах с соответствующим изменением параметров и характеристик;
- освоение методов анализа несимметричных режимов работы и переходных процессов в электрических машинах;
- приобретение навыков обоснованного выбора и применения методов анализа несимметричных режимов работы и переходных процессов электрических машин;
- изучение основных видов переходных процессов в электрических машинах;
- изучение особенностей протекания переходных процессов в различных электрических машинах и влияния параметров электрических машин на ход переходного процесса.

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-4 Способен принимать участие в проектировании, анализировать конкурентоспособные варианты технических решений и обосновывать выбор целесообразных проектных решений в соответствии с требованиями технического задания в области электрических машин и аппаратов	ИД-5 <sub>ПК-4</sub> Применяет приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов	знать: - методы математического анализа и моделирования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов; - методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования переходных процессов в электрических машинах и трансформаторах.  уметь: - определять причины неисправностей электрических машин и трансформаторов; - рассчитывать режимы работы электрических машин и трансформаторов и характеризующие их параметры; - Рассчитывать параметры и характеристики электрических машин и трансформаторов в ненормальных и несимметричных режимах работы.
ПК-4 Способен принимать участие в проектировании, анализировать конкурентоспособные варианты технических решений и обосновывать	ИД-7 <sub>ПК-4</sub> Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов	знать: - методы теоретического и экспериментального исследования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
выбор целесообразных проектных решений в соответствии с требованиями технического задания в области электрических машин и аппаратов		уметь: - использовать современные программные средства для расчета переходных процессов в линейных и нелинейных электрических и магнитных цепях электрических машин и трансформаторов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать физические законы, лежащие в основе работы электрических машин и трансформаторов
- знать принцип действия и конструкции электрических двигателей, генераторов и трансформаторов
- знать методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений
- знать способы пуска, торможения и регулирования частоты вращения электродвигателей
- знать назначение и схемы включения электрических аппаратов управления и защиты
- уметь определять параметры и рассчитывать характеристики электрических машин
- уметь сопоставлять способы регулирования частоты вращения электродвигателей по качеству и энергетической эффективности
- уметь решать обыкновенные дифференциальные уравнения аналитическим способом

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	Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин.	1.5	8	0.5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин."</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Несимметричная нагрузка трансформаторов."</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Несимметричная нагрузка трансформаторов." материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу</p>	
1.1	Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин. Их виды и причины возникновения.	1.5		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	1		-
2	Несимметричная нагрузка трансформаторов.	13.5		1.5	4	1	-	-	-	-	-	-	7		-
2.1	Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учете насыщения и гистерезиса. Влияние схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора на высшие гармоники в потоке и намагничивающем токе.	3.5		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	3		-
2.2	Несимметричная	10		1	4	1	-	-	-	-	-	-	4		-

	нагрузка трансформаторов. Метод симметричных составляющих.												Несимметричная нагрузка трансформаторов. и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Несимметричная нагрузка трансформаторов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Несимметричная нагрузка трансформаторов." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], глава 16 [6], глава 13
3	Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока	11.0	2.0	-	1	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока"
3.1	Причины возникновения временных и пространственных гармоник. ЭДС в обмотке при синусоидальном и несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре.	2.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока" <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.2	Улучшение формы кривой ЭДС. Способы борьбы с высшими гармониками.	4.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
3.3	Высшие гармоники МДС обмоток. МДС трёхфазной обмотки.	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	

	Прямо- и обратнo-вращающиеся поля.												[3], главы 3, 4, 5
4	Работа асинхронного двигателя в ненomинальных режимах	15.5	1.5	4	2	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Работа асинхронного двигателя в ненomинальных режимах" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Работа асинхронного двигателя в ненomинальных режимах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Работа асинхронного двигателя в ненomинальных режимах"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>  [1], главы 27, 28  [3], главы 10, 12  [4], части 1, 2  [6], глава 46</p>
4.1	Процесс пуска асинхронного двигателя. Влияние высших пространственных гармоник магнитного поля на пуск и работу асинхронного двигателя.	3.5	0.5	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Работа асинхронного двигателя в ненomинальных и аварийных режимах	12	1	4	1	-	-	-	-	-	6	-	
5	Генераторный режим работы асинхронной машины	8.5	1.5	-	1	-	-	-	-	-	6	-	
5.1	Работа асинхронного генератора параллельно с сетью большой мощности.	2.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
5.2	Автономный асинхронный генератор	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
													<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Генераторный режим работы асинхронной машины"
													<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Генераторный режим работы асинхронной машины"
													<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>

													<b><u>источников:</u></b> [4], часть 3 [6], глава 49.1
6	Несимметричная нагрузка синхронных генераторов	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Несимметричная нагрузка синхронных генераторов"
6.1	Несимметричная нагрузка синхронных генераторов	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Несимметричная нагрузка синхронных генераторов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], глава 18 [7], глава 62
7	Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов.	4.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
7.1	Виды переходных процессов в трансформаторах и электрических машинах. Обыкновенные дифференциальные уравнения для математического описания переходных процессов.	4.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], часть 1
8	Переходные процессы в трансформаторах	11	1	2	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Переходные процессы в трансформаторах"
8.1	Переходные процессы в трансформаторах	11	1	2	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе

													необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Переходные процессы в трансформаторах" материалу. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Переходные процессы в трансформаторах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в трансформаторах" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], глава 25 [5], часть 2 [6], глава 15
9	Математическая модель обобщенной электрической машины	9.5	1.5	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическая модель обобщенной электрической машины" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], глава 69
9.1	Математическая модель обобщенной электрической машины	3	1	-	-	-	-	-	-	2	-		
9.2	Дифференциальные уравнения электрической машины в различных координатах.	6.5	0.5	-	2	-	-	-	-	4	-		
10	Переходные процессы в асинхронных машинах	13	1	4	2	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Переходные процессы в асинхронных"	

10.1	Переходные процессы в асинхронных машинах	13		1	4	2	-	-	-	-	-	6	-	машинах" <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Переходные процессы в асинхронных машинах" материалу. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в асинхронных машинах" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], часть 3 [7], глава 70
11	Переходные процессы в синхронных машинах	8.0		1.0	-	1	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Переходные процессы в синхронных машинах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в синхронных машинах" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
11.1	Дифференциальные уравнения синхронных машин	5.5		0.5	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
11.2	Устойчивость синхронных машин	2.5		0.5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], глава 35 [3], глава 26 [6], глава 44.1 [7], главы 71, 72, 73
12	Переходные процессы в машинах постоянного тока.	6		1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Переходные процессы в машинах постоянного тока."
12.1	Переходные процессы в машинах	6		1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	подготовка к выполнению заданий на практических занятиях

	постоянного тока.													<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в машинах постоянного тока." <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [5], часть 4
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	144.0	14.0	14	14	-	2	-	-	0.5	66	33.5		
	Итого за семестр	144.0	14.0	14	14		2		-	0.5		99.5		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин.

1.1. Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин. Их виды и причины возникновения.

Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин. Их виды и причины возникновения..

#### 2. Несимметричная нагрузка трансформаторов.

2.1. Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учете насыщения и гистерезиса. Влияние схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора на высшие гармоники в потоке и намагничивающем токе.

Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учете насыщения и гистерезиса. Влияние схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора на высшие гармоники в потоке и намагничивающем токе. Формы кривых намагничивающего тока, магнитного потока и ЭДС..

2.2. Несимметричная нагрузка трансформаторов. Метод симметричных составляющих.

Несимметричная нагрузка трансформаторов. Метод симметричных составляющих. Нулевая последовательность при различных схемах соединения обмоток и конструкциях магнитопровода трехфазных трансформаторов. Физический смысл и способ экспериментального определения параметров нулевой последовательности. Влияние схемы соединения обмоток и конструкции магнитопровода на распределение токов при несимметричной нагрузке и несимметричных коротких замыканиях. Расчет токов при несимметричной нагрузке и коротких замыканиях трансформаторов. Несимметричная нагрузка автотрансформаторов..

#### 3. Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока

3.1. Причины возникновения временных и пространственных гармоник. ЭДС в обмотке при синусоидальном и несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре.

Причины возникновения временных и пространственных гармоник. ЭДС в обмотке при синусоидальном и несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре..

3.2. Улучшение формы кривой ЭДС. Способы борьбы с высшими гармониками.

Улучшение формы кривой ЭДС. Способы борьбы с высшими гармониками. Коэффициент распределения, коэффициент укорочения, коэффициент скоса..

3.3. Высшие гармоники МДС обмоток. МДС трёхфазной обмотки. Прямовращающиеся и обратновращающиеся поля.

Высшие гармоники МДС обмоток. МДС трёхфазной обмотки. Прямовращающиеся и обратновращающиеся поля..

#### 4. Работа асинхронного двигателя в неноминальных режимах

4.1. Процесс пуска асинхронного двигателя. Влияние высших пространственных гармоник магнитного поля на пуск и работу асинхронного двигателя.

Процесс пуска асинхронного двигателя. Виды механических характеристик нагрузки электродвигателя. Условия устойчивой работы электродвигателя.. Влияние высших пространственных гармоник магнитного поля на пуск и работу асинхронного двигателя. Асинхронные и синхронные моменты высших гармоник..

#### 4.2. Работа асинхронного двигателя в ненормальных и аварийных режимах

Работа асинхронного двигателя при ненормальных напряжениях и частоте. Переключение обмоток слабо нагруженных асинхронных двигателей с треугольника на звезду. Допустимые отклонения напряжения и частоты при работе асинхронного двигателя. Работа асинхронного двигателя при несинусоидальном питающем напряжении. Особенности работы асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты.. Работа асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения, несимметрии сопротивлений цепей статора, несимметричном соединении фаз симметричной обмотки.. Работа асинхронного двигателя при обрыве фазы статора в различных схемах соединения.. Работа асинхронного двигателя при несимметричном сопротивлении фаз ротора. Виды дефектов короткозамкнутых обмоток ротора и причины их появления. Работа асинхронного двигателя при обрыве фазы ротора. Эффект Гёргесса..

### 5. Генераторный режим работы асинхронной машины

5.1. Работа асинхронного генератора параллельно с сетью большой мощности.  
Работа асинхронного генератора параллельно с сетью большой мощности..

#### 5.2. Автономный асинхронный генератор

Автономный асинхронный генератор, условие самовозбуждения, подбор конденсаторов, стабилизация напряжения и частоты автономного асинхронного генератора..

### 6. Несимметричная нагрузка синхронных генераторов

#### 6.1. Несимметричная нагрузка синхронных генераторов

Параллельная работа синхронного генератора с электрической системой, напряжения которой несимметричны.. Работа синхронного генератора на автономную несимметричную нагрузку.. Режимы несимметричных коротких замыканий генераторов. Расчёт токов несимметричных коротких замыканий генераторов..

### 7. Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов.

7.1. Виды переходных процессов в трансформаторах и электрических машинах. Обыкновенные дифференциальные уравнения для математического описания переходных процессов.

Виды переходных процессов в трансформаторах и электрических машинах. Обыкновенные дифференциальные уравнения для математического описания переходных процессов..

### 8. Переходные процессы в трансформаторах

#### 8.1. Переходные процессы в трансформаторах

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.. Волновые переходные процессы и перенапряжения в трансформаторах..

## 9. Математическая модель обобщенной электрической машины

### 9.1. Математическая модель обобщенной электрической машины

Методы анализа переходных процессов в электрических машинах. Допущения, применяемые при анализе.. Пространственные векторы переменных в различных системах координат.. Преобразование многофазных обмоток в эквивалентные двухфазные. Этапы и инварианты преобразования. Формулы обратного преобразования переменных. Матричные преобразования..

### 9.2. Дифференциальные уравнения электрической машины в различных координатах.

Дифференциальные уравнения обобщенной машины в различных системах координат.. Преобразования Кларк и преобразования Парка.. Матричная форма записи системы дифференциальных уравнений.. Использование относительных единиц в обобщенной теории электрических машин.. Электромагнитный момент в обобщенной теории электрических машин. Формулы электромагнитного момента. Дифференциальные уравнения баланса моментов (движения ротора) для генератора и электродвигателя.. Математическая модель однофазного асинхронного двигателя. Математическая модель асинхронного конденсаторного двигателя. Дифференциальные уравнения синхронных двигателей с постоянными магнитами и синхронных реактивных двигателей..

## 10. Переходные процессы в асинхронных машинах

### 10.1. Переходные процессы в асинхронных машинах

Дифференциальные уравнения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в различных системах координат.. Переходные процессы в асинхронных двигателях при пуске, реверсе и изменении нагрузки на валу.. 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..

## 11. Переходные процессы в синхронных машинах

### 11.1. Дифференциальные уравнения синхронных машин

Дифференциальные уравнения Парка-Горева для синхронных машин.. Электромагнитный момент синхронной явнополюсной машины.. Переходный процесс при внезапном трёхфазном коротком замыкании синхронного генератора. Переходные и сверхпереходные индуктивные сопротивления обмотки якоря..

### 11.2. Устойчивость синхронных машин

Статическая и динамическая устойчивость синхронной машины.. Удельные синхронизирующие мощность и момент.. Качания ротора синхронной машины. Моменты, действующие на ротор. Роль демпферной (успокоительной) обмотки.. Выпадение синхронной машины из синхронизма, асинхронный режим синхронной машины, ресинхронизация..

## 12. Переходные процессы в машинах постоянного тока.

### 12.1. Переходные процессы в машинах постоянного тока.

Дифференциальные уравнения машин постоянного тока и их связь с уравнениями установившихся режимов.. Переходные процессы при включении обмотки возбуждения, пуске и набросе нагрузки двигателей 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. Расчёт токов в трёхфазном трансформаторе при несимметричной нагрузке;
2. Расчёт параметров схемы замещения асинхронного двигателя по паспортным данным;
3. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при несимметричном питании;
4. Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе.;
5. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений в программах компьютерного моделирования. Выбор и настройка параметров решателя;
6. Составление блок-схем и подсистем в программах компьютерного моделирования.;
7. Автоматизация снятия характеристик в программах компьютерного моделирования.;
8. Асинхронный генератор;
9. Разложение токов трансформатора на токи прямой, обратной и нулевой последовательностей.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора;
2. Исследование переходных процессов в двигателе постоянного тока.;
3. Моделирование переходных процессов в трансформаторах.;
4. Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в ненормальных режимах.

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Ненормальные режимы работы трансформаторов и электрических машин."
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Несимметричная нагрузка трансформаторов."
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Работа асинхронного двигателя в ненормальных режимах"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Генераторный режим работы асинхронной машины"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Несимметричная нагрузка синхронных генераторов"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов."
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Переходные процессы в трансформаторах"

9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическая модель обобщенной электрической машины"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Переходные процессы в асинхронных машинах"
11. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Переходные процессы в синхронных машинах"
12. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Переходные процессы в машинах постоянного тока."

### **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	8	9	10	11	12		
<b>Знать:</b>															
методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования переходных процессов в электрических машинах и трансформаторах	ИД-5ПК-4							+							Лабораторная работа/КМ-5 Моделирование переходных процессов в трансформаторах  Лабораторная работа/КМ-6 Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе
методы математического анализа и моделирования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов	ИД-5ПК-4	+						+		+	+	+	+	Лабораторная работа/КМ-5 Моделирование переходных процессов в трансформаторах  Лабораторная работа/КМ-6 Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе	
методы теоретического и экспериментального исследования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов	ИД-7ПК-4			+										Лабораторная работа/КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора»	
<b>Уметь:</b>															
Рассчитывать параметры и характеристики электрических машин и трансформаторов в ненормальных и несимметричных режимах работы	ИД-5ПК-4	+												Контрольная работа/КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов	
рассчитывать режимы работы электрических машин и трансформаторов и характеризующие их	ИД-5ПК-4				+	+								Лабораторная работа/КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного	

параметры															асинхронного двигателя в ненормальных режимах»
определять причины неисправностей электрических машин и трансформаторов	ИД-5 <sub>ПК-4</sub>		+												Контрольная работа/КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока
использовать современные программные средства для расчета переходных процессов в линейных и нелинейных электрических и магнитных цепях электрических машин и трансформаторов	ИД-7 <sub>ПК-4</sub>													+	Программирование (код)/КМ-7 Исследование переходных процессов в двигателе постоянного тока.

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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **8 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов (Контрольная работа)
2. КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора» (Лабораторная работа)
2. КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в ненормальных режимах» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-5 Моделирование переходных процессов в трансформаторах (Лабораторная работа)
2. КМ-6 Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе (Лабораторная работа)
3. КМ-7 Исследование переходных процессов в двигателе постоянного тока. (Программирование (код))

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### Экзамен (Семестр №8)

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

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Токарев, Б. Ф. Электрические машины : Учебное пособие для электротехнических и энергетических специальностей вузов / Б. Ф. Токарев. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 624 с. – ISBN 5-283-00595-X.;
2. 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.;

3. 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.;
4. Неноминальные и особые режимы работы асинхронных машин : практикум по курсу "Несимметричные режимы электрических машин" по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / А. С. Иванов, В. А. Кузьмичев, Е. В. Качалина, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 60 с. – ISBN 978-5-7046-2079-2.  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10584>;
5. 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://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10085>;
6. Иванов-Смоленский А.В.- "Электрические машины. В двух томах. Том 1", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012222.html>;
7. 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.

## 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibr.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-213, Зал заседаний	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-213, Зал заседаний	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
	Е-205, Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных	Е-205, Компьютерный	рабочее место сотрудника, стол, стул, компьютер персональный

занятий	класс	
	Е-209, Лаборатория электромеханики	стол, стул, доска меловая, лабораторный стенд
Е-216, Лаборатория трансформаторов		
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-213, Зал заседаний	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
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	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Неноминальные режимы работы и переходные процессы в электрических машинах

(название дисциплины)

#### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока (Контрольная работа)
- КМ-3 КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора» (Лабораторная работа)
- КМ-4 КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в неноминальных режимах» (Лабораторная работа)
- КМ-5 КМ-5 Моделирование переходных процессов в трансформаторах (Лабораторная работа)
- КМ-6 КМ-6 Исследование переходных процессов в асинхронном двигателе (Лабораторная работа)
- КМ-7 КМ-7 Исследование переходных процессов в двигателе постоянного тока.  
(Программирование (код))

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	6	8	10	12	13	14
1	Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин.								
1.1	Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин. Их виды и причины возникновения.		+				+	+	
2	Несимметричная нагрузка трансформаторов.								
2.1	Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учете насыщения и гистерезиса. Влияние схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора на высшие гармоники в потоке и намагничивающем токе.			+					
2.2	Несимметричная нагрузка трансформаторов. Метод симметричных составляющих.			+					
3	Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока								

3.1	Причины возникновения временных и пространственных гармоник. ЭДС в обмотке при синусоидальном и несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре.			+				
3.2	Улучшение формы кривой ЭДС. Способы борьбы с высшими гармониками.			+				
3.3	Высшие гармоники МДС обмоток. МДС трёхфазной обмотки. Прямо- и обратновращающиеся поля.			+				
4	Работа асинхронного двигателя в ненормальных режимах							
4.1	Процесс пуска асинхронного двигателя. Влияние высших пространственных гармоник магнитного поля на пуск и работу асинхронного двигателя.				+			
4.2	Работа асинхронного двигателя в ненормальных и аварийных режимах				+			
5	Генераторный режим работы асинхронной машины							
5.1	Работа асинхронного генератора параллельно с сетью большой мощности.				+			
5.2	Автономный асинхронный генератор				+			
6	Несимметричная нагрузка синхронных генераторов							
6.1	Несимметричная нагрузка синхронных генераторов					+	+	
7	Переходные процессы в трансформаторах и электрических машинах, виды и математическое описание процессов.							
7.1	Виды переходных процессов в трансформаторах и электрических машинах. Обыкновенные дифференциальные уравнения для математического описания переходных процессов.					+	+	
8	Переходные процессы в трансформаторах							
8.1	Переходные процессы в трансформаторах					+	+	
9	Математическая модель обобщенной электрической машины							
9.1	Математическая модель обобщенной электрической машины					+	+	

9.2	Дифференциальные уравнения электрической машины в различных координатах.					+	+	
10	Переходные процессы в асинхронных машинах							
10.1	Переходные процессы в асинхронных машинах					+	+	
11	Переходные процессы в синхронных машинах							
11.1	Дифференциальные уравнения синхронных машин					+	+	
11.2	Устойчивость синхронных машин					+	+	
12	Переходные процессы в машинах постоянного тока.							
12.1	Переходные процессы в машинах постоянного тока.							+
Вес КМ, %:		10	15	15	15	15	20	10