

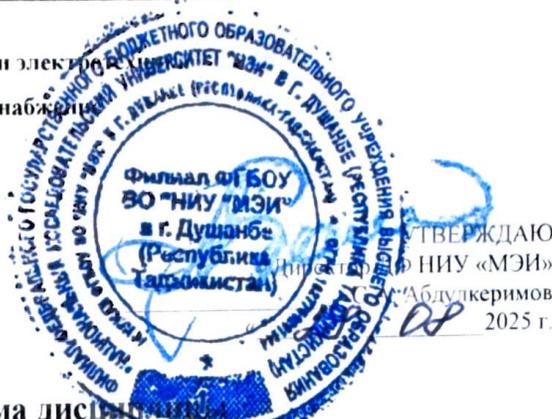
**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**  
**Филиал НИУ «МЭИ» в городе Душанбе**

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электроснабжение

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная



**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

<b>Блок</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы</b>	Формируемая участниками образовательных отношений
<b>Индекс дисциплины по учебному плану</b>	Б1.В.11
<b>Трудоемкость в зачетных единицах</b>	6 семестр – 5
<b>Часов (всего) по учебному плану</b>	180
<b>Лекции</b>	6 семестр – 28 часов
<b>Практические занятия</b>	6 семестр – 28 часов
<b>Лабораторные работы</b>	6 семестр – 14 часов
<b>Консультации по курсовому проекту/ работе:</b>	учебным планом не предусмотрены
групповые	-
индивидуальные	-
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр – 38 часа
включая:	
РГР	6 семестр – 36 часов
курсовые проекты/работы	учебным планом не предусмотрены
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
экзамен	6 семестр – 2,5 часа
<b>Контроль:</b>	
экзамен	6 семестр – 33,5 часа

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

доцент кафедры

«Электроэнергетика», к.т.н.

(должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Ш.Дж. Джуразода

(расшифровка подписи)

Заведующий кафедрой

«Электроэнергетика», к.т.н., доцент

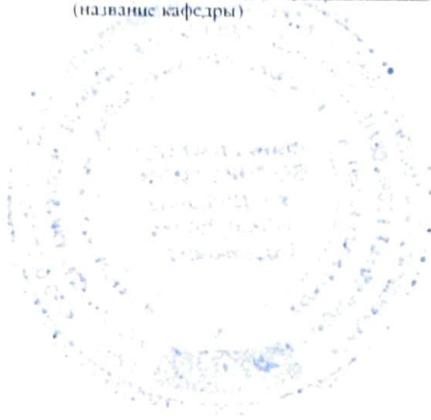
(название кафедры)



(подпись)

Х.Б. Назиров

(расшифровка подписи)



## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение методов расчёта различных электромагнитных переходных процессов, особенно при симметричных и несимметричных коротких замыканиях в электроустановках.

### Задачи дисциплины:

- изучить переходные процессы при форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой;
- изучить теоретические основы протекания переходных процессов в синхронных машинах при коротких замыканиях;
- научить рассчитывать трёхфазные и несимметричные короткие замыкания различными 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-4 Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности	ИД-2 пк-4. Владеет навыками расчета переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени;</li><li>– методы расчета токов трехфазных КЗ в ненулевой момент времени;</li><li>– методы расчета токов несимметричных КЗ.</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– объяснять осциллограммы переходных процессов при КЗ, форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой;</li><li>– рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ;</li><li>– использовать компьютерные программы для расчета КЗ.</li></ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Электрические машины», «Электрические станции и подстанции», «Теоретические основы электротехники».

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин: «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Проектирование электроустановок электростанций» и выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоёмкости раздела (в часах) по видам учебной работы						SR	Конт- роль	Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по п. 5.1 и страниц в нем)
				Контактная								
				Лек	Пр	Лаб	КПР	ИККП	ПА			
1	Общие сведения об электромагнитных переходных процессах	3	6	2	-	-	-	-	-	1	-	№1, с. 10-18
2	Переходный процесс при трёхфазном коротком замыкании в электрической цепи, подключенной к источнику синусоидального напряжения	5	6	2	2	-	-	-	-	1	-	№1, с. 52-62
3	Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине	6	6	4	-	-	-	-	-	2	-	№1, с. 71-95
4	Расчёт начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания	26	6	4	8	4	-	-	-	10	-	Подготовка к лаб. раб. №1. №1, с. 97-113
5	Изменение во времени действующего значения тока короткого замыкания от синхронной машины	20	6	4	4	4	-	-	-	8	-	Подготовка к лаб. раб. №2. №1, с. 119-130
6	Практические методы расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания	12	6	4	4	-	-	-	-	4	-	№1, с. 153-172

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по п. 5.1 и страниц в нем)
				Контактная				СР	Конт- роль					
				Лек	Пр	Лаб	КПР			ИККП	ПА			
7	Особенности расчётов несимметричных коротких замыканий	18	6	4	4	4					6		Подготовка к лаб. раб. № 3. №1, с. 184-190	
8	Расчёты несимметричных коротких замыканий	12	6	2	4	2					4		Подготовка к лаб. раб. № 4. №1, с. 239-274	
9	Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ	6	6	2	2	-					2		№1, с. 347-374	
	Экзамен	36	6	-	-	-	-	-	-	2,5	-	33,5	Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена	
	<b>Итого:</b>	<b>144</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	-	-	-	<b>2,5</b>	<b>38</b>	<b>33,5</b>	-	

Примечание: Лек – лекции; Пр – практические занятия; Лаб – лабораторные работы; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ПА – промежуточная аттестация; СР – самостоятельная работа студента.

### 3.2. Краткое содержание разделов

#### 6 семестр

##### 1. Общие сведения об электромагнитных переходных процессах

Основные понятия. Допущения, принимаемые при исследованиях электромагнитных переходных процессов (ЭМП). Переходные процессы (ПП) при форсировке возбуждения синхронных генераторов, гашении магнитного поля генераторов, при включении в электрическую сеть трансформаторов с разомкнутой вторичной обмоткой и при коротких замыканиях (КЗ).

##### 2. Переходный процесс при трёхфазном коротком замыкании в электрической цепи, подключенной к источнику синусоидального напряжения

Исходное дифференциальное уравнение ПП и его решение. Понятие об ударном токе КЗ. Ударный коэффициент и способы его определения. Особенности ПП при КЗ в разветвлённой цепи.

##### 3. Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине

Математическая модель синхронной машины (СМ). Потокосцепления, собственные и взаимные индуктивности СМ. Линейные преобразования уравнений СМ к осям ротора. Понятие об изображающем векторе. Уравнения Парка-Горева.

##### 4. Расчёт начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания

Определение начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ от СМ без учёта и с учётом влияния демпферных контуров. Влияние электродвигателей и нагрузок в начальный момент КЗ.

##### 5. Изменение во времени действующего значения тока короткого замыкания от синхронной машины

Изменение во времени действующего значения тока КЗ от СМ без учёта влияния демпферных контуров. Влияние форсировки возбуждения на ПП. Влияние демпферных контуров на ПП.

##### 6. Практические методы расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания

Определение удалённости точки КЗ от электрической машины. Расчет периодической составляющей тока при удалённых КЗ. Расчёт с использованием метода типовых кривых.

##### 7. Особенности расчётов несимметричных коротких замыканий

Преимущества метода симметричных составляющих. Определение параметров обратной последовательности СМ и двигателей. Определение параметров нулевой последовательности трансформаторов, автотрансформаторов и воздушных линий электропередачи (ЛЭП). Влияние грозозащитных тросов и параллельных цепей на сопротивление нулевой последовательности ЛЭП.

##### 8. Расчёты несимметричных коротких замыканий

Исходные уравнения. Двухфазное КЗ. Однофазное КЗ. Двухфазное КЗ на землю. Расчёт ПП при несимметричных КЗ разными методами. Соотношение токов КЗ разных видов при замыканиях в одной и той же точке.

##### 9. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ

Особенности расчётов токов КЗ в таких установках. Основные факторы, влияющие на ток КЗ. Параметры элементов электрической цепи, необходимые для расчёта тока КЗ.

### 3.3. Темы практических занятий

#### 6 семестр

Составление схем замещения при выражении их элементов в системах именованных и относительных единиц (2 часа).

Примеры схем замещения. Способы преобразования схем. Схемы замещения трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой низшего напряжения, двояных токоограничивающих реакторов (4 часа).

Определение ударного тока в схеме, содержащей источник синусоидального напряжения (2 часа).

Расчёт действующего значения периодической составляющей тока в начальный момент КЗ и ударного тока КЗ (2 часа).

Расчёт действующего значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от синхронной машины без учёта влияния её демпферных контуров с использованием расчётных формул (4 часа).

Расчёт действующего значения периодической составляющей тока КЗ в заданный момент времени с использованием метода типовых кривых (4 часа).

Расчёт токов и напряжений при двухфазном КЗ (2 часа).

Составление схем замещения нулевой последовательности и определение параметров её элементов (2 часа).

Расчёт токов и напряжений при однофазном КЗ (2 часа).

Расчёт токов и напряжений при двухфазном КЗ на землю (2 часа).

Расчёт токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ (2 часа).

### 3.4. Темы лабораторных работ

#### 6 семестр

1. Анализ переходных процессов при трёхфазном КЗ в электрической сети, питающейся от источника бесконечной мощности (4 часа).

2. Анализ переходных процессов при несимметричных (двухфазных) КЗ в электрической сети, питающейся от источника бесконечной мощности (4 часа).

3. Анализ переходных процессов при однофазных коротких замыканиях в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью (4 часа).

4. Исследование процесса синхронизации натурального синхронного генератора с сетью и регулирования его активной и реактивной мощностей (2 часа).

### 3.5. РГР

Тип РГР: расчетное задание.

Тематика расчетных заданий

#### 6 семестр

1. Расчёт периодической составляющей тока КЗ в начальный момент и ударного тока КЗ.

2. Расчёт токов трёхфазного КЗ с использованием метода типовых кривых.

3. Расчёт однофазного или двухфазного КЗ на землю в сложной схеме.

### 3.6. Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовые проекты учебным планом 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	
<b>Знать:</b> методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени	ПК-4, ИД-2 ПК-4		X	X	X					X	Контрольная работа №1 РГР №1 Защита лабораторной работы №1
методы расчета токов трехфазных КЗ в ненулевой момент времени	ПК-4, ИД-2 ПК-4					X	X				РГР №2 Защита лабораторной работы №2
методы расчета токов несимметричных КЗ	ПК-4, ИД-2 ПК-4						X	X	X	X	Контрольная работа №2 РГР №2 Защита лабораторных работ №3 и №4
<b>Уметь:</b> объяснять осциллограммы переходных процессов при КЗ, форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой	ПК-4, ИД-2 ПК-4	X	X	X		X					Тест №1 Защита лабораторной работы №2
рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ	ПК-4, ИД-2 ПК-4	X			X		X		X		Контрольные работы №1 и №2. РГР №1, №2 и №3 Защита лабораторных работ №1, №2 и №4
использовать компьютерные программы для расчета КЗ	ПК-4, ИД-2 ПК-4				X		X	X	X	X	Защита лабораторных работ №1, №2, №3 и №4

#### 4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине:

6 семестр

– тестирование:

1. Тест «Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания»;
2. Тест «Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине»;

– контрольные работы:

1. Контрольная работа «Расчет тока трехфазного КЗ в начальный момент времени и ударного тока»;
2. Контрольная работа «Расчет тока несимметричного КЗ»;

– выполнение и защита расчетных заданий № 1, №2 и №3.

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### 4.2. Промежуточная аттестация по дисциплине (части дисциплины):

6 семестр

Экзамен.

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

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

#### 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1 Печатные и электронные издания:

1. **Переходные процессы в электроэнергетических системах:** учебник для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов; под ред. И.П. Крючкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

2. **Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок:** учебное пособие для студентов вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов. Под ред. Крючкова И.П. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: ОС *Windows*, *Microsoft Office*, *EMTP-RV*, *ETAP*, *GuPlan*.

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

Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>  
База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ  
<https://rosmintrud.ru/opendata>  
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>  
База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты  
РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>  
Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>  
База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>  
Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>  
Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://nэб.рф>  
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>  
Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ" <https://www.polpred.com>  
Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>  
Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для обеспечения дисциплины используется учебная аудитория, снабженная мультимедийными средствами для представления презентаций лекций.

Лабораторные работы проводятся на компьютерах в лаборатории «Электромагнитных переходных процессов» кафедры «Электрические станции» с использованием лицензионного программного обеспечения: *EMTP-RV*, *ETAP*, *GuPlan*.

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах

(название дисциплины)

#### 6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест №1. Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания
- КМ-2 Контрольная работа №1. Расчет тока трехфазного КЗ в начальный момент времени и ударного тока
- КМ-3 Расчетное задание №1. Расчет тока трехфазного КЗ в начальный момент времени и ударного тока
- КМ-4 Расчетное задание №2. Расчет тока трехфазного КЗ в ненулевой момент времени с использованием метода типовых кривых
- КМ-5 Тест №2. Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине.
- КМ-6 Контрольная работа №2. Расчет тока несимметричного КЗ
- КМ-7 Расчетное задание №3. Расчет тока однофазного КЗ и двухфазного КЗ на землю

Вид промежуточной аттестации – экзамен

Трудоемкость дисциплины = 5 з.е.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ -1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	8	10	11	12	13	14
1	Общие сведения об электромагнитных переходных процессах		+				+		
2	Переходный процесс при трёхфазном коротком замыкании в электрической цепи, подключенной к источнику синусоидального напряжения		+		+		+		
3	Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине		+				+		
4	Расчёт начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания			+	+				
5	Изменение во времени действующего значения тока короткого замыкания от синхронной машины					+			
6	Практические методы расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания					+			
7	Особенности расчётов несимметричных коротких замыканий							+	+

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ -1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	8	10	11	12	13	14
8	Расчёты несимметричных коротких замыканий							+	+
9	Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ								+
Вес КМ, %:			5	20	20	10	10	20	15