

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**  
**Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электроснабжение

Уровень образования: бакалавр

Форма обучения: заочная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

<b>Блок</b>	<b>Блок 1. «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы</b>	<b>Формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>Индекс дисциплины по учебному плану</b>	<b>Б1.В.06</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах</b>	<b>3 курс - 6</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану</b>	<b>216</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 курс - 6 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 курс – 4 часа</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>3 курс – 2 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 курс – 192,5 часов</b>
<b>включая:</b> <b>РГР</b> <b>курсовые проекты (работы)</b>	<b>3 курс – 20 часов</b> <b>Учебным планом не предусмотрены</b>
<b>Промежуточная аттестация:</b> <b>зачет с оценкой</b> <b>экзамен</b> <b>защита курсового проекта/работы</b>	<b>3 курс – 2,5 часа</b>
<b>Контроль:</b> <b>экзамен</b>	<b>3 курс – 9 часов</b>

**Волжский 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Заведующий кафедрой Энергетики  
(должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

Е.Г. Зенина  
(расшифровка подписи)

Заведующий кафедрой Энергетики  
(название кафедры)

  
(подпись)

Е.Г. Зенина  
(расшифровка подписи)

Руководитель образовательной программы Электроснабжение

Доцент кафедры Энергетики,

к.т.н., доцент  
(должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

В.Н. Курьянов  
(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий кафедрой Энергетики  
(название кафедры)

  
(подпись)

Е.Г. Зенина  
(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины** – изучение особенностей и причин возникновения, последствий электромагнитных переходных процессов, освоение методов расчета симметричных и несимметричных повреждений в электроэнергетических системах.

**Задачи дисциплины:**

- освоение методики анализа симметричных и несимметричных электромагнитных переходных процессов;
- приобретение навыков расчета параметров симметричных и несимметричных электромагнитных переходных процессов.

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-1. Способен управлять технологическим оборудованием, выбирать серийное и проектировать новое оборудование	ПК-1.1. Выполняет сбор и анализ данных по заданной тематике, обосновывает выбор технологических решений	<b>знать:</b> – методы составления схем замещения и определения параметров элементов при расчете электромагнитных переходных процессов; <b>уметь:</b> – анализировать исходные данные, необходимые для расчета параметров симметричных и несимметричных электромагнитных переходных процессов; – рассчитывать параметры элементов электроэнергетических систем, изображать их графически в виде схем замещения и проводить их преобразования к простейшему виду.
	ПК-1.2. Демонстрирует понимание технологических процессов, способов управления оборудованием и их взаимосвязь с задачами эксплуатации	<b>знать:</b> – соотношения и параметры, описывающие трёхфазное короткое замыкание и основные виды поперечных и продольных несимметричных режимов; – физические основы электромагнитных переходных процессов, происходящих в начальный момент внезапного нарушения режима синхронной машины <b>уметь:</b> – рассчитывать электромагнитные переходные процессы в сетях выше 1 кВ с помощью метода симметричных составляющих;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		– изображать графически расчетные токи и напряжения в заданной точке электроэнергетической системы

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока дисциплин 1 по направлению подготовки Бакалавр 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профили: Электроснабжение).

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «ТОЭ».

Результаты образования, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении дисциплин специализации и выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации <i>(по семестрам)</i>	Всего часов на раздел	Курс	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы								Содержание самостоятельной работы
				Контактная						СР	Конт - роль	
				Лек	Пр	Лаб	КПР	ИККП	П А			
1	Основные сведения об электромагнитных переходных процессах в трёхфазных цепях. Расчёт трёхфазного короткого замыкания.	68,5	3	2	1	1	-	-	-	64,5	-	Проработка и повторение лекционного материала. Изучение литературы [1]с.23-26,с.27-31,с.32-47, с.48-79; [2]с. 9-76; [3] с.10-18, с. 19-51, с. 153-183
2	Несимметричные переходные процессы	61	3	3	3	1	-	-	-	54	-	Проработка и повторение лекционного материала. Изучение литературы [1]с.80-96,с.97-124,с.125-149, с. 277-298; [2]с. 77-130, с. 131-154; [3] с. 97-115, с.191-227, с. 228-238, с. 239- 286, с. 287-310
3	Переходные процессы в синхронной машине	55	3	1	-	-	-	-	-	54	-	Проработка и повторение лекционного материала. Изучение литературы [2]с.154-211, [3] с. 71-96, с. 115-136, с. 137-152
4	Расчетное задание (РГР)	20	3	-	-	-	-	-	-	20	-	Проработка лекционного материала и материалов практик. Согласно графику выполнения РГР.
5	Экзамен	11,5	3	-	-	-	-	-	2,5	-	9	Экзамен проводится в письменной форме по билетам с последующим устным ответом согласно программе экзамена
	Итого:	216		6	4	2	-	-	2,5	192,5	9	

### 3.2. Краткое содержание разделов

#### 3 курс

##### 1. Основные сведения об электромагнитных переходных процессах в трёхфазных цепях.

###### Расчёт трёхфазного короткого замыкания

Основные понятия и определения. Причины появления и виды коротких замыканий, их последствия. Назначение расчетов коротких замыканий. Основные допущения, принимаемые при расчетах. Составление схем замещения и расчет их параметров. Приближённый учёт системы. Системы именованных и относительных единиц. Приведение параметров схемы к основной ступени напряжения. Преобразование схем замещения. Трёхфазное короткое замыкание в электрической сети. Трёхфазное КЗ в простейшей цепи. Ударный ток КЗ. Действующее значение полного и ударного токов КЗ. Приближённое определение периодической составляющей тока КЗ. Алгоритм определения начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания. Расчёт токов КЗ в произвольный момент времени.

###### 2. Несимметричные переходные процессы

Основные допущения, принимаемые при расчетах. Параметры элементов для токов обратной и нулевой последовательности. Схемы замещения различных последовательностей. Распределение и трансформации токов и напряжений. Однофазное короткое замыкание. Двухфазное короткое замыкание. Двухфазное короткое замыкание на землю. Учет переходного сопротивления в месте замыкания. Правило эквивалентности прямой последовательности. Однократная продольная несимметрия. Разрыв одной фазы трехфазной цепи. Разрыв двух фаз. Несимметрия от включения сопротивлений. Правило эквивалентности прямой последовательности при продольной несимметрии.

###### 3. Переходные процессы в синхронной машине

Основные положения. ЭДС и реактивности синхронной машины. Сверхпереходные ЭДС и сверхпереходные индуктивности синхронной машины. Сравнение реактивностей синхронной машины. Практический расчет начального сверхпереходного и ударного тока в синхронной машине. Форсировка возбуждения в синхронной машине. Гашение магнитного поля.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Составление схем замещения с исключением трансформаторных связей путем приведения параметров всех элементов расчетной схемы к одной ступени напряжения.
- 2-3-4. Расчет переходных процессов при несимметричных коротких замыканиях.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Расчет токов трехфазного КЗ, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.
2. Несимметричные КЗ в разветвленной сети.

### 3.5. РГР

**Тема:** Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в электрической сети (по вариантам).

### 3.6. Курсовой проект (курсовая работа) учебным планом не предусмотрен.

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Номер и наименование результатов образования по дисциплине (в соответствии с разделом 3)	Индекс компетенции	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.4.1)					Формы контроля
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
методы составления схем замещения и определения параметров элементов при расчете электромагнитных переходных процессов	ПК-1.1	X	X	X	X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
соотношения и параметры, описывающие трёхфазное короткое замыкание и основные виды поперечных и продольных несимметричных режимов	ПК-1.2	X	X	X	X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
физические основы электромагнитных переходных процессов, происходящих в начальный момент внезапного нарушения режима синхронной машины	ПК-1.2			X		X	экзамен
<b>Уметь:</b>							
анализировать исходные данные, необходимые для расчета параметров симметричных и несимметричных электромагнитных переходных процессов	ПК-1.1	X	X	X	X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
рассчитывать параметры элементов электроэнергетических систем, изображать их графически в виде схем замещения и проводить их преобразования к простейшему виду	ПК-1.1	X	X		X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
рассчитывать электромагнитные переходные процессы в сетях выше 1 кВ с помощью метода симметричных составляющих	ПК-1.2	X	X		X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
изображать графически расчетные токи и напряжения в заданной точке электроэнергетической системы	ПК-1.2	X	X		X	X	отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
<i>Всего часов на раздел дисциплины (в соответствии с п.4.1)</i>		68,5	61	55	20	11,5	



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПОДИСЦИПЛИНЕ**

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

– отчеты по лабораторным работам:

**ЛБ 1.** Расчет токов трехфазного КЗ, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.

**ЛБ 2.** Несимметричные КЗ в разветвленной сети.

– РГР: Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в электрической сети (по вариантам).

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен.

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

В приложение к диплому выносится оценка за **3 курс**.

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

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

### **5.1. Основная литература:**

1. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / И.П. Крючков [и др.]; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – Электрон.текстов. дан. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. - Режим доступа:

<http://www.nelbook.ru/reader/?book=174>

2. Котова Е. Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебно-метод. пособие / Е. Н. Котова, Т. Ю. Паниковская. - Екатеринбург : Изд-во Урал, унта, 2014. - 216 с.

- Режим доступа:

<http://www.nelbook.ru/reader/?book=175>

3. 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, 2008 – 416 с.

4. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: РД 153-34.0-20.527-98. – Электрон.текстов. дан. – М.: НЦ ЭНАС, 2013. - 152 с. - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=38586](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=38586)

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

Microsoft Word, Mathcad 14, Microsoft Excel, Power Point.

### **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://нэб.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**

Учебное помещение, оснащено:

- доска маркерная передвижная – 1 шт.;
- персональный компьютер – 1 шт.;
- проектор – 1 шт.;
- экран – 1 шт.;
- столы и стулья на 35 посадочных мест.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное компьютерной техникой (20 компьютеров), с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Учебная аудитория для проведения занятий практического типа

- доска маркерная передвижная – 1 шт.;
- телевизор – 2 шт.;
- персональные компьютеры со специализированным программным обеспечением – 11 шт.;
- столы и стулья на 24 посадочных места.

Лабораторные работы проводятся в лаборатории Электротехники и электроники.

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

(название дисциплины)

**3 курс**

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

КМ-1 **Отчет ЛБ 1.** Расчет токов трехфазного КЗ, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.

КМ-2 **Отчет ЛБ 2.** Несимметричные КЗ в разветвленной сети.

КМ-3 РГР: Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в электрической сети

**Вид промежуточной аттестации – экзамен**

Трудоемкость дисциплины= 6 з.е.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	Экзамен
1	Основные сведения об электромагнитных переходных процессах в трёхфазных цепях. Расчёт трёхфазного короткого замыкания.		+		+	+
2	Несимметричные переходные процессы			+	+	+
3	Переходные процессы в синхронной машине					+
	Вес КМ, мин. баллы:		5	5	30	20
	Вес КМ, макс. баллы:		10	10	40	40

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

**Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Программа бакалавриата: Электроснабжение**

**Уровень образования: бакалавриат**

**Форма обучения: заочная**

**Оценочные материалы по дисциплине**

**Б1.В.06 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**Волжский 2022**

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

**Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Коды индикаторов достижения компетенции	Оценочное средство (тип и наименование)
<b>Знать:</b>		
методы составления схем замещения и определения параметров элементов при расчете электромагнитных переходных процессов	ПК-1.1	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
соотношения и параметры, описывающие трёхфазное короткое замыкание и основные виды поперечных и продольных несимметричных режимов	ПК-1.2	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
физические основы электромагнитных переходных процессов, происходящих в начальный момент внезапного нарушения режима синхронной машины	ПК-1.2	Контрольная работа №3; экзамен
<b>Уметь:</b>		
анализировать исходные данные, необходимые для расчета параметров симметричных и несимметричных электромагнитных переходных процессов	ПК-1.1	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
рассчитывать параметры элементов электроэнергетических систем, изображать их графически в виде схем замещения и проводить их преобразования к простейшему виду	ПК-1.1	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
рассчитывать электромагнитные переходные процессы в сетях выше 1 кВ с помощью метода симметричных составляющих	ПК-1.2	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен
изображать графически расчетные токи и напряжения в заданной точке электроэнергетической системы	ПК-1.2	Контрольные работы №1, №2; отчеты лабораторных работ, РГР, экзамен

### Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

**А) Для текущего контроля успеваемости:**

**Кр №1** Расчет симметричных КЗ в электрической системе

**Кр №2** Расчет переходных процессов при однократной поперечной несимметрии.

**Кр №3** Переходные процессы в синхронной машине.

**ЛБ 1-2.** Расчет токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах.

**ЛБ 3-4.** Расчет токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах.

**ЛБ 5-6.** Расчет токов трехфазного КЗ, используя точное приведение элементов схемы

замещения в относительных единицах.

**ЛБ 7-8.** Расчет токов трехфазного КЗ, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.

**ЛБ 9.** Определение токов трехфазного короткого замыкания методом расчетных и типовых кривых.

**ЛБ 10.** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Двухфазное КЗ.

**ЛБ 11.** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Однофазное КЗ

**ЛБ 12.** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Двухфазное КЗ на землю.

**ЛБ 13-14.** Продольные несимметрии в разветвленной сети. Обрыв одной фазы.

**ЛБ 15-16.** Продольные несимметрии в разветвленной сети. Обрыв двух фаз

Расчетное задание

## Содержание оценочных средств:

### 1. Контрольная работа №1.

Тема: Расчет симметричных КЗ в электрической системе.

#### Задание:

Параметры элементов схемы:

линии  $W$ :  $L_1 = 100$  км;  $L_2 = 80$  км;  $L_3 = 100$  км;  $L_4 = 80$  км;  $X_{\text{пог1}} = 0,43$  Ом/км;  $R_{\text{пог1}} = 0,13$  Ом/км;  $X_0/X_1 = 2$

нагрузка:  $S_H = 350$  МВ·А;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $U_{\text{ном}} = 220$  кВ;

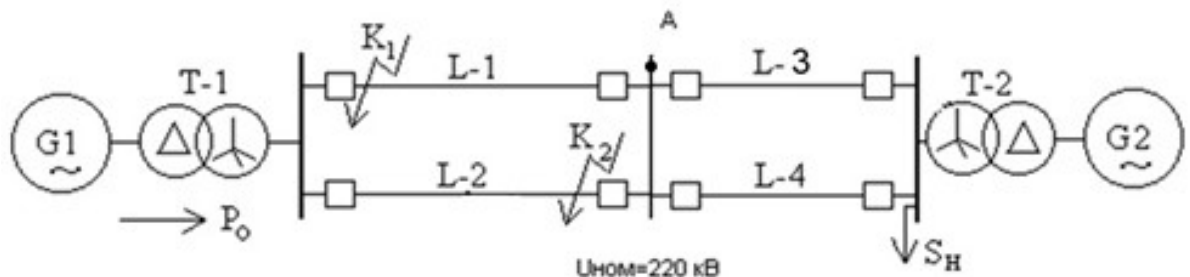
трансформатор  $T1$ : ТДЦ-400000/220;  $S_{\text{ном}} = 400$  МВ·А;  $u_k = 11\%$ ;  $n_T = 242/15,75$  кВ;

трансформатор  $T2$ : ТДЦН-63000/220;  $S_{\text{ном}} = 63$  МВ·А;  $u_k = 10\%$ ;  $n_T = 230/10,5$  кВ;

ТГ  $2 \times G1$ : ТВВ-160-2;  $U_{\text{ном}} = 15,75$  кВ;  $P_{\text{ном}} = 160$  МВт;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $X''_{d(\text{ном})} = 0,213$ ;  $X_{2(\text{ном})} = 0,25$ ;

ГТ  $G2$ : СВ655/110-32;  $U_{\text{ном}} = 10,5$  кВ;  $S_{\text{ном}} = 37,5$  МВА;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $X''_{d(\text{ном})} = 0,22$ ;  $X_{2(\text{ном})} = 0,46$ .

При трехфазном КЗ в точке  $K1(K2)$  схемы, представленной на рис., определить



начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ и ударный ток КЗ. Расчет провести в ИЕ при точном приведении параметров. Принять, что до КЗ генераторы работали в номинальном режиме. Ударный коэффициент принять 1,85.

Примечание: При решении представить расчетную схему замещения с нанесенными ступенями и классами напряжения, точкой КЗ, рассчитанными параметрами элементов, а также упрощенную схему, полученную в результате эквивалентных преобразований.

### По результатам Кр выставляется:

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### 2. Контрольная работа №2.

Тема: Расчет переходных процессов при однократной поперечной несимметрии.

#### Задание:

Параметры элементов схемы:

линии  $W$ :  $L_1 = 15$  км;  $L_2 = 15$  км;  $L_3 = 5$  км;  $L_4 = 20$  км;  $X_{\text{пор1}} = 0,4$  Ом/км;  $R_{\text{пор1}} = 0,15$  Ом/км;  $X_0/X_1 = 3$

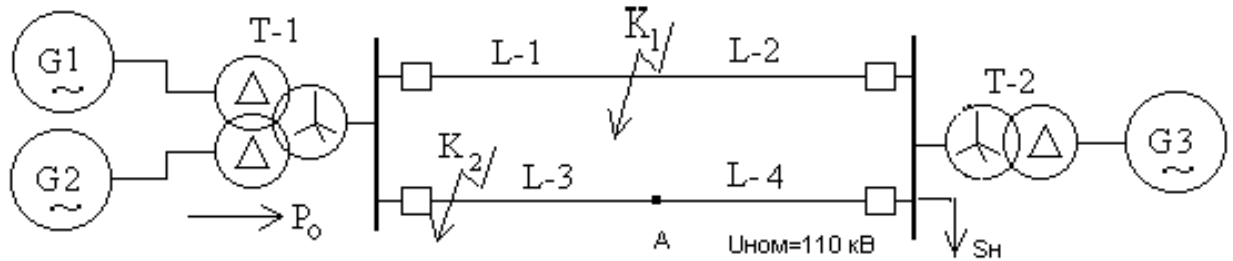
нагрузка:  $S_n = 150$  МВ·А;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $U_{\text{ном}} = 110$  кВ;

трансформатор T1: ТДЦН-16000/110;  $S_{\text{ном}} = 160$  МВ·А;  $u_k = 12\%$ ;  $n_t = 115/11-11$  кВ;

трансформатор T2: ТДЦ-80000/110;  $S_{\text{ном}} = 80$  МВ·А;  $u_k = 13,8\%$ ;  $n_t = 242/15,75$  кВ;

ТГ G1, G2: ТВФ-60-2;  $U_{\text{ном}} = 15,75$  кВ;  $S_{\text{ном}} = 75$  МВА;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $X''_{d(\text{ном})} = 0,146$ ;  $X_{2(\text{ном})} = 0,18$ ;

ТГ G3: СВ840/150-52;  $U_{\text{ном}} = 13,8$  кВ;  $P_{\text{ном}} = 45$  МВт;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $X''_{d(\text{ном})} = 0,2$ ;  $X_{2(\text{ном})} = 0,21$ .



При однофазном КЗ в точке K1(K2) схемы, представленной на рис., определить начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ. Принять, что до КЗ генераторы работали в номинальном режиме.

Примечание: При решении представить расчетные схемы замещения ПП, ОП, НП с нанесенными ступенями и классами напряжения, точкой КЗ, рассчитанными параметрами элементов, а также упрощенные схемы, полученные в результате эквивалентных преобразований.

**По результатам Кр выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### 3. Контрольная работа №3.

Тема: Переходные процессы в синхронной машине.

Задание 1: Ответить на вопросы теста

1. Трёхфазная система токов в трех неподвижных контурах статора синхронной машины создает
  - a. Пульсирующее поле.
  - b. Неизменное во времени поле.
  - c. Вращающееся поле.
  - d. Электростатическое поле.
2. Наибольшее отличие сопротивлений  $x_d$  и  $x_q$ 
  - a. У генераторов ТЭЦ.
  - b. У генераторов АЭС.
  - c. У генераторов ГЭС.
  - d. У генераторов КЭС.
3. Каково соотношение между синхронным  $x_d$ , переходным  $x'_d$  и сверхпереходным  $x''_d$  сопротивлениями синхронной машины?
  - a.  $x_d < x'_d < x''_d$ .
  - b.  $x_d > x'_d > x''_d$ .
  - c.  $x_d = x'_d = x''_d$ .
  - d.  $x_d < x'_d > x''_d$ .

4. Продольная ось синхронной машины – это
  - a. Вертикальная ось статора машины.
  - b. Ось с наименьшим магнитным сопротивлением, совпадающая с осью полюсов ротора.
  - c. Ось с наибольшим магнитным сопротивлением, совпадающая с осью междуполюсного пространства ротора.
  - d. Горизонтальная ось статора машины.
  
5. Поперечная ось синхронной машины – это
  - a. Вертикальная ось статора машины.
  - b. Ось с наименьшим магнитным сопротивлением, совпадающая с осью полюсов ротора.
  - c. Ось с наибольшим магнитным сопротивлением, совпадающая с осью междуполюсного пространства ротора.
  - d. Горизонтальная ось статора машины.
  
6. Постоянные времени ротора при разомкнутом  $T_{d0}$  и замкнутом  $T'_d$  статоре связаны соотношением
  - a.  $T_{d0} = T'_d$ .
  - b.  $T_{d0} > T'_d$ .
  - c.  $T_{d0} < T'_d$ .
  
7. Соотношение между синхронной  $E_q$  и переходной  $E'_q$  ЭДС
  - a.  $E_q = E'_q$ .
  - b.  $E_q > E'_q$ .
  - c.  $E_q < E'_q$ .
  
8. Синхронная ЭДС  $E_q$  синхронной машины
  - a. Пропорциональна квадрату потока, обусловленному током возбуждения.
  - b. Равна току возбуждения.
  - c. Пропорциональна потоку рассеяния.
  - d. Пропорциональна потоку, обусловленному током возбуждения.

Задание 2: Ответить на один из вопросов по заданию преподавателя

1. Построить схему замещения синхронной машины (СМ) без демпферных контуров и пояснить ее преобразование в эквивалентную схему и все параметры, описывающие эту СМ.
2. Построить схему замещения синхронной машины (СМ) с демпферными контурами и пояснить ее преобразование в эквивалентную схему и все параметры, описывающие эту СМ.
3. Построить векторную диаграмму синхронной машины (СМ) и записать основные соотношения, определяемые из нее.

**По результатам Кр выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

#### **4. Отчет лабораторной работы №1-2.**

**Тема:** Расчет токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Для каких практических расчетов используется расчет токов при трехфазном КЗ?
2. Назовите основные допущения, используемые при расчете токов КЗ.
3. Дайте определение удаленных и близких КЗ. Какие КЗ можно считать удаленными для синхронных генераторов, синхронных и асинхронных двигателей?
4. Назовите отличия принципиальной схемы, расчетной схемы и схемы замещения.



5. Как определяются коэффициенты трансформации каскадно включенных трансформаторов при выбранной основной (базисной) ступени напряжения?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

#### **5. Отчет лабораторной работы №3-4.**

**Тема:** Расчет токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Что понимается под термином «относительные единицы»?
2. Как рассчитываются параметры источника бесконечной мощности (ИБМ)?
3. Приведите формулы для пересчета параметров, заданных в относительных единицах, в именованные: для генератора и трансформатора.
4. Приведите формулу для расчета сверхпереходной ЭДС генератора, поясните знаки в уравнении.
5. На чем основаны точное и приближенное приведение параметров элементов короткозамкнутой цепи в схемах замещения?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

#### **6. Отчет лабораторной работы №5-6.**

**Тема:** Расчет токов трехфазного КЗ, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения ЭЭС?
6. Что такое ударный коэффициент? Поясните его физический смысл.
7. Как рассчитывается действующее значение ударного тока КЗ?
8. Какими параметрами вводятся в схему замещения синхронные и асинхронные машины, а также обобщенная нагрузка при расчете сверхпереходного тока КЗ?
9. Приведите формулы для приближенного приведения в о.е. сопротивлений элементов короткозамкнутой цепи (генераторов, трансформаторов, ЛЭП и ректоров) в схемах замещения?
10. Приведите формулы для определения индуктивных сопротивлений схемы замещения трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора.

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

#### **7. Отчет лабораторной работы №7-8.**

**Тема:** Расчет токов трехфазного КЗ, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Зависит ли результат расчёта токов КЗ от выбора базисных условий? Ответ поясните.
2. Дайте понятие ударному току КЗ. При каких условиях ударный ток принимает максимальное значение?

3. Как рассчитывается ударный коэффициент?
4. Приведите формулы для точного приведения в о.е. сопротивлений элементов короткозамкнутой цепи (генераторов, трансформаторов, ЛЭП и ректоров) в схемах замещения?
5. Приведите формулы для эквивалентных преобразований при замене нескольких источников одним эквивалентным.
6. Приведите формулы для определения эквивалентных сопротивлений с использованием коэффициента токораспределения (перенос общего сопротивления в параллельные ветви).

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **8. Отчет лабораторной работы №9.**

**Тема:** Определение токов трехфазного короткого замыкания методом расчетных и типовых кривых.

Контрольный опрос по вопросам:

1. В каких случаях возникает необходимость обращаться к типовым кривым для расчета периодической составляющей тока КЗ?
2. Порядок расчета метода типовых кривых при определении тока трехфазного к.з. в заданный момент времени  $t$  по общему изменению.
3. Поясните достоинства и недостатки метода типовых кривых.
4. Как определить приближенное значение сопротивления системы, если известна мощность отключения выключателя, установленного на ее шинах?
5. Основные допущения при использовании практического метода типовых кривых.
6. Поясните, как определить удаленность генератора от места к.з.
7. Порядок расчета метода типовых кривых при определении тока трехфазного к.з. в заданный момент времени  $t$  с учетом индивидуального влияния каждого источника системы неограниченной мощности.
8. Каков физический смысл постоянной времени  $T_a$ ?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **9. Отчет лабораторной работы №10.**

**Тема:** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Двухфазное КЗ.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Сформулируйте правило эквивалентности прямой последовательности.
2. Как определяются симметричные составляющие ПП напряжения особой фазы для каждого вида несимметрии?
3. В чем отличие схем замещения обратной и нулевой последовательностей от прямой последовательности?
4. В чём особенность учёта сопротивления в нейтрали трансформатора в схеме нулевой последовательности?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **10. Отчет лабораторной работы №11.**

**Тема:** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Однофазное КЗ.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Приведите общие уравнения (3) для расчета поперечной несимметрии.
2. Как определяется полный ток особой фазы для каждого вида несимметрии?
3. Какие узлы являются началом и концом схем замещения различных последовательностей при поперечной несимметрии?
4. По каким обобщенным выражениям рассчитываются симметричные составляющие напряжений в месте короткого замыкания?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **11. Отчет лабораторной работы №12.**

**Тема:** Несимметричные КЗ в разветвленной сети. Двухфазное КЗ на землю.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Что такое граничные условия? Приведите граничные условия для каждого вида поперечной несимметрии.
2. Как определяются симметричные составляющие ПП тока особой фазы для каждого вида несимметрии?
3. Что является источником токов обратной и нулевой последовательностей?
4. Как изменяются симметричные составляющие остаточных напряжений по мере удаления от точки несимметричного замыкания?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **12. Отчет лабораторной работы №13-14.**

**Тема:** Продольные несимметрии в разветвленной сети. Обрыв одной фазы.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Приведите общие уравнения (3) для расчета продольной несимметрии.
2. Что такое граничные условия? Приведите граничные условия для каждого вида продольной несимметрии (обрыва одной и двух фаз).
3. Как определяются симметричные составляющие ПП напряжения особой фазы для каждого вида продольной несимметрии?
4. В чём особенность учёта сопротивления воздушных линий в схеме нулевой последовательности?
5. Как изменяются симметричные составляющие остаточных напряжений по мере удаления от места продольной несимметрии?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

### **13. Отчет лабораторной работы №15-16.**

**Тема:** Продольные несимметрии в разветвленной сети. Обрыв двух фаз.

Контрольный опрос по вопросам:

1. Сформулируйте правило эквивалентности прямой последовательности для случая продольной несимметрии.
2. Как определяются симметричные составляющие ПП тока особой фазы для каждого вида продольной несимметрии?

3. Как определяется полный ток особой фазы для каждого вида продольной несимметрии?
4. Какие узлы являются началом и концом схем замещения различных последовательностей при продольной несимметрии?
5. По каким обобщенным выражениям рассчитываются симметричные составляющие напряжений в месте продольной несимметрии?

**По результатам Отчета за ЛБ выставляется:**

- 3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий.
- 2 балла, если правильно выполнено 50...79% заданий.

#### **14. Расчетное задание.**

Тема: Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в электрической сети.

Расчетное задание выполняется в форме домашнего задания.

##### **I. Выполнить:**

Для приведенной схемы электрической сети определить следующие расчетные величины:

- действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в месте КЗ в начальный момент возникновения повреждения;
- ударный ток и мощность трёхфазного короткого замыкания в начальный момент возникновения повреждения;
- амплитудное и действующее значения аperiodической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания и полный ток трёхфазного короткого замыкания в месте КЗ в начальный момент возникновения повреждения;
- начальные значения токов отдельных последовательностей для заданного вида несимметричного короткого замыкания в месте короткого замыкания;
- начальное значение полного тока для заданного вида несимметричного короткого замыкания в месте короткого замыкания.

##### **II. Исходные данные для задания:**

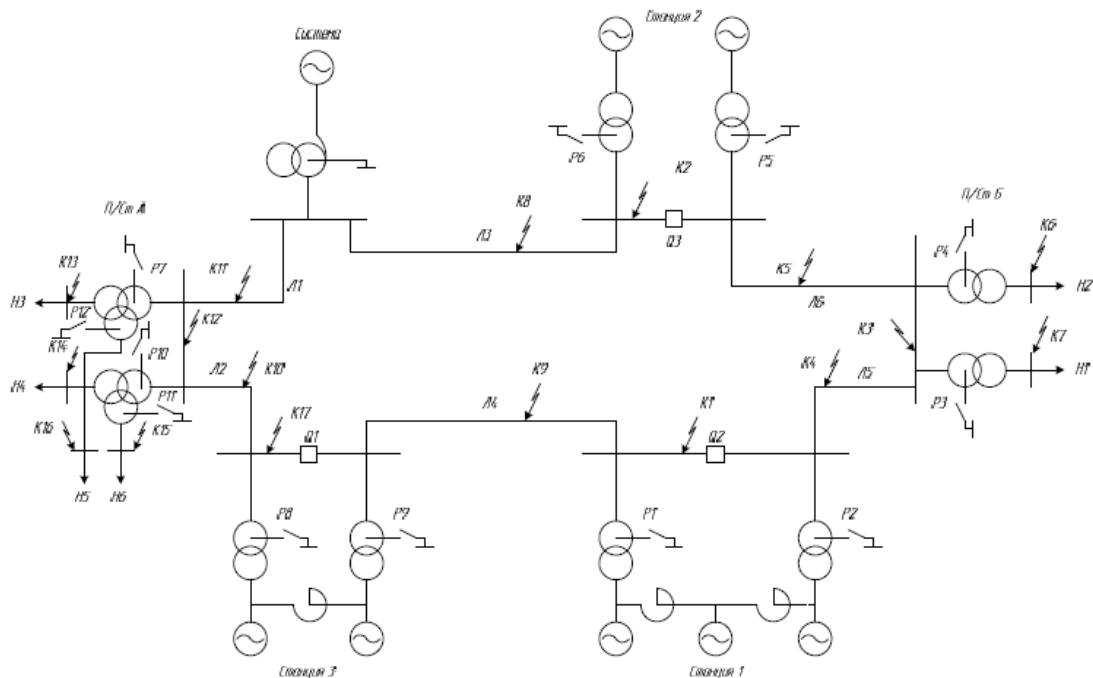
Удельные сопротивления воздушных линий напряжением

110 кВ -  $X_{уд}=0,44$  Ом/км ,  $R_{уд}=0,14$  Ом/км;

220 кВ -  $X_{уд}=0,42$  Ом/км ,  $R_{уд}=0,08$  Ом/км;

330 кВ -  $X_{уд}=0,32$  Ом/км ,  $R_{уд}=0,04$  Ом/км;

Молниезащита воздушных линий 1 и 2 выполнена тросами марки АС, линий 3 и 4 - стальными тросами, а на линии 5 тросовая защита не установлена.



### III. Технология выполнения задания:

#### 1. Расчет симметричного трехфазного КЗ

##### 1.1. Составление схемы замещения

##### 1.2. Определение параметров элементов схемы замещения

##### 1.3. Действующее значение периодической составляющей тока к.з. в сверхпереходном и установившемся режимах при трехфазном к.з. в заданной точке

##### 1.4. Ударный ток к.з.

##### 1.5. Действующее значение полного тока к.з. за первый период его изменения

##### 1.6. Мощность в начальный момент к.з.

##### 1.7. Начальное значение тока при заданном виде несимметричного к.з.

#### 2. Расчет несимметричного КЗ

##### 2.1. Составление схем замещения отдельных последовательностей

##### 2.2. Определение параметров элементов схемы замещения

##### 2.3. Нахождение тока прямой последовательности при несимметричном к.з. в заданной точке

##### 2.4. Определение полного тока несимметричного КЗ в начальный и заданный моменты времени

##### 2.6. Векторные диаграммы токов и напряжений в месте к.з. в заданной точке при несимметричном к.з.

Минимальный объем расчетного задания 15 страниц печатного текста шрифт 14 Times New Roman, интервал 1,5.

### IV. Срок выполнения расчетного задания: 14 учебная неделя 6 семестра.

### V. Дополнительные сведения

а) При выполнении работы следует использовать учебное пособие 5.

в) Домашнее задание выполняется на компьютере в машинописной/рукописной форме.

### По результатам расчетного задания выставляется:

- 21 балл, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 18...20 баллов, если правильно выполнено 71...89% заданий.
- 14...17 баллов, если правильно выполнено 50...70% заданий.

### Б) Для промежуточной аттестации:

## Экзамен

Проводится в письменной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут.

*Варианты вопросов к экзаменационным билетам:*

1. Основные понятия и определения электромагнитных переходных процессов: параметры режима и системы, виды режимов, причины возникновения и последствия КЗ.
2. Основные понятия и определения электромагнитных переходных процессов: КЗ, виды КЗ и их относительная вероятность, назначение расчетов КЗ, порядок расчета электромагнитных переходных процессов.
3. Виды повреждений в трехфазных системах. Основные допущения, принимаемые при анализе электромагнитных переходных процессов в ЭЭС.
4. Представление параметров схем замещения в именованных и относительных единицах.
5. Приведение параметров схемы замещения к одной ступени напряжения. Точное и приближенное приведение параметров.
6. Расчет параметров схемы замещения: для системы и генераторов.
7. Расчет параметров схемы замещения: для трансформаторов (двух или трехобмоточных и с расщепленной обмоткой).
8. Расчет параметров схемы замещения: для электродвигателей, нагрузки, реакторов и линий электропередач.
9. Принципы преобразования схем замещения: последовательное, параллельное преобразование, преобразование звезды в треугольник и треугольника в звезду.
10. Принципы преобразования схем замещения: условие замены однотипных источником одним эквивалентным, замена нескольких генераторов, сходящихся в одном узле одним эквивалентным.
11. Принципы преобразования схем замещения: методы расщепления узла, совмещения точек одинакового потенциала, преобразование звезды в треугольник и треугольника в звезду.
12. Принципы преобразования схем замещения: метод разделения связанных цепей.
13. Электромагнитные переходные процессы в простейших трехфазных цепях. Постановка задачи и допущения. Основные понятия: простейшая трехфазная схема, источник бесконечной мощности, неудаленные и удаленные КЗ.
14. Внезапное трехфазное короткое замыкание в простейшей схеме. Изменение во времени тока и его слагаемых.
15. Внезапное трехфазное короткое замыкание в простейшей схеме. Векторные диаграммы тока и напряжения. Анализ процессов при изменении фазы ЭДС.
16. Условия, при которых мгновенное значение полного тока КЗ достигает наибольшей величины (ударный ток). Действующее значение полного и ударного тока КЗ.
17. Эквивалентная постоянная времени затухания апериодической слагающей тока КЗ, ударный коэффициент.
18. Расчет периодической составляющей тока трехфазного КЗ в произвольной момент времени. Метод типовых кривых.
19. Особенности и порядок расчета токов КЗ в системах собственных нужд электростанций.
20. Принципы анализа электромагнитных переходных процессов при однократном нарушении симметрии трехфазной системы. Метод симметричных составляющих.
21. Основные положения классической теории переходных процессов. Законы коммутации. Анализ протекания переходного процесса при активно-индуктивной нагрузке.
22. Однократная поперечная несимметрия: сопротивления элементов электрических схем токам прямой и обратной последовательности.

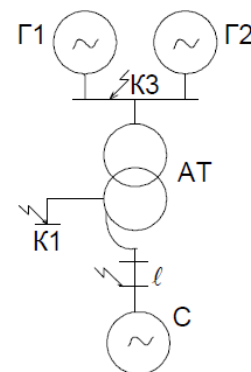
23. Однократная поперечная несимметрия: сопротивления элементов электрических схем токам нулевой последовательности.
24. Однократная поперечная несимметрия: составление схем замещения отдельных последовательностей. Эквивалентирование схем и составление общих уравнений для каждой последовательности.
25. Однократная поперечная несимметрия: расчет токов и напряжений при двухфазном КЗ (граничные условия, вывод основных соотношений, векторные диаграммы).
26. Однократная поперечная несимметрия: расчет токов и напряжений при однофазном КЗ (граничные условия, вывод основных соотношений, векторные диаграммы).
27. Однократная поперечная несимметрия: расчет токов и напряжений при двухфазном КЗ на землю (граничные условия, вывод основных соотношений, векторные диаграммы).
28. Однократная поперечная несимметрия: правило эквивалентности прямой последовательности.
29. Распределение напряжений в схемах прямой, обратной и нулевой последовательностей при однократной поперечной несимметрии. Векторные диаграммы напряжений в различных точках системы.
30. Однократная поперечная несимметрия: соотношения между токами при различных видах КЗ.
31. Трансформация токов и напряжений различных последовательностей: принцип трансформации и векторные диаграммы при однофазном КЗ.
32. Трансформация токов и напряжений различных последовательностей: принцип трансформации и векторные диаграммы при двухфазном КЗ.
33. Однократная продольная несимметрия: составление схем замещения отдельных последовательностей. Эквивалентирование схем и составление общих уравнений для каждой последовательности.
34. Однократная продольная несимметрия: расчет токов и напряжений при обрыве одной фазы (граничные условия, вывод основных соотношений, эпюры напряжений).
35. Однократная продольная несимметрия: расчет токов и напряжений при обрыве одной фазы (граничные условия, вывод основных соотношений, векторные диаграммы).
36. Однократная продольная несимметрия: расчет токов и напряжений при обрыве двух фаз (граничные условия, вывод основных соотношений, векторные диаграммы).
37. Однократная продольная несимметрия: расчет токов и напряжений при обрыве двух фаз (граничные условия, вывод основных соотношений, эпюры напряжений).
38. Однократная продольная несимметрия: правило эквивалентности прямой последовательности.
39. Особенности расчета токов КЗ сетей промышленных предприятий.
40. Однофазное замыкание на землю в системе с изолированной нейтралью.
41. Компенсация ёмкостных токов в системе с изолированной нейтралью. Достоинства и недостатки сетей с изолированной нейтралью.
42. Ограничение токов КЗ: схемные решения и деление сети.
43. Ограничение токов КЗ: токоограничивающие реакторы и трансформаторы (автотрансформаторы) с расщепленной обмоткой.
44. Ограничение токов КЗ: оптимизация режима работы нейтрали.
45. Схема замещения и параметры синхронной машины в установившемся режиме.
46. Схема замещения и параметры синхронной машины в переходном режиме.
47. Сверхпереходные ЭДС и реактивности синхронной машины.
48. Сравнение реактивностей синхронной машины.
49. Гашение магнитного поля системы возбуждения генератора.
50. Устройства автоматического регулирования возбуждения генераторов.
51. Влияние АРВ генератора при коротком замыкании.

52. Установившийся режим КЗ синхронной машины. Расчет при наличии и отсутствии АРВ.

Варианты задач к экзаменационным билетам:

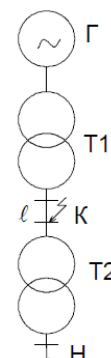
1. Рассчитать начальное значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ в точке К1.

Система характеризуется как источник бесконечной мощности. Для линии принимать  $X_0 = 0,4$  Ом/км.



Генераторы			Трансформатор							Линия
Г1, Г2			АТ							$\ell$ , км
$S_H$	$U_H$	$X''_d$	$S_H$	$U_B$	$U_C$	$U_H$	$U_K$ в-с	$U_K$ в-н	$U_K$ с-н	
66,0	10,5	0,19	120	154	115	10,5	12	12	16	145

2. Определить ток трехфазного КЗ на шинах ВН Т2 в момент времени  $t=0,5$  с. Для трансформаторов принимать: при ВН 230 кВ  $U_K=14\%$ . Для одноцепной линии принимать  $X_0=0,4$  Ом/км. Схема соединения обмоток трансформаторов: Т1 – треугольник - звезда с глухозаземленной нейтралью; Т – треугольник - звезда с глухозаземленной нейтралью.



Вид К.З	Генератор			Трансформатор					Линия		Нагрузка
	S <sub>н</sub> , МВА	X'' <sub>d</sub> , о.е.	X <sub>2</sub> , о.е.	Т1		Т2			ℓ, км	$\frac{x_0}{x_1}$	
				S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>в</sub> , кВ	S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>в</sub> , кВ	U <sub>н</sub> , кВ			
(1)	264.7	0.19	0.27	120	115	90	115	10.5	50	3.5	75

По результатам ответа на экзамене выставляется:

- 36-40 баллов, если правильно выполнено практическое задание, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных фактов или решения задач;
- 26-35, если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки;
- 20-25 баллов, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.