

**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: Эксплуатация релейной защиты, автоматики и электрооборудования электростанций**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических  
системах**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гусев О.Ю.
	Идентификатор	Ra9cc2490-GusevOY-4e595360

(подпись)

О.Ю. Гусев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

(подпись)

А.А.

Волошин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

(подпись)

А.А.

Волошин

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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.

Формируемые у обучающегося компетенции:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности
- ИД-4 Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования, расчета режимов и эксплуатации

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

- Тест №1. Короткие замыкания в электроустановках до 1000 В (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

- Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
- Контрольная работа №2 Метод типовых кривых (Контрольная работа)
- Расчетное задание №1 (Расчетно-графическая работа)
- Расчетное задание №2 (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	2	4	6	8	8
Общие сведения об электромагнитных переходных процессах						
Общие сведения об электромагнитных переходных процессах	+	+			+	
Трехфазные короткие замыкания						
Трехфазные короткие замыкания	+	+			+	
Составление расчетной схемы и эквивалентной схемы замещения						
Составление расчетной схемы и эквивалентной схемы замещения	+	+			+	
Изменение во времени периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины						
Изменение во времени периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины				+		
Несимметричные короткие замыкания						

Несимметричные короткие замыкания				+	
Расчет токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях					
Расчет токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях				+	
Сопротивления элементов электроэнергетической системы по отношению к токам обратной и нулевой последовательности					
Сопротивления элементов электроэнергетической системы по отношению к токам обратной и нулевой последовательности				+	
Уравнения электромагнитного переходного процесса в машине переменного тока					
Уравнения электромагнитного переходного процесса в машине переменного тока			+	+	
Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ					
Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ					+
Вес КМ:	15	30	15	30	10

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования, расчета режимов и эксплуатации	<p>Знать:</p> <p>особенности расчета токов коротких замыканий в электроустановках напряжением до 1 кВ</p> <p>построение векторных диаграмм токов и напряжений при коротких замыканиях</p> <p>основы составления схем замещения</p> <p>Уметь:</p> <p>рассчитывать токи при несимметричных коротких замыканиях с учетом затухания периодической составляющей тока</p> <p>рассчитывать токи при коротких замыканиях с учетом затухания периодической составляющей тока</p> <p>рассчитывать токи при трехфазных коротких замыканиях в начальный</p>	<p>Контрольная работа №1 (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание №1 (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Контрольная работа №2 Метод типовых кривых (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание №2 (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Тест №1. Короткие замыкания в электроустановках до 1000 В (Тестирование)</p>

		МОМЕНТ ВРЕМЕНИ	
--	--	----------------	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Контрольная работа №1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

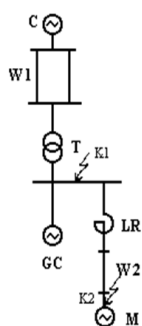
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа по определению действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени

#### Краткое содержание задания:

Для индивидуальной расчетной схемы, пример представлен на рисунке, определить периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени и ударный ток короткого замыкания

##### Вариант 1

Определить параметры короткого замыкания: периодическую составляющую тока в начальный момент КЗ и ударный ток. Расчетная точка КЗ - К1.



Система:  $S_{ном} = 600 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ;  $X_{c(ном)}^* = 1,5$ .

Линия W1:  $l = 20 \text{ км}$ ;  $X_{уд} = 0,42 \text{ Ом/км}$ ;

$R_{уд} = 0,18 \text{ Ом/км}$ .

Линия W2:  $l = 2,0 \text{ км}$ ;

$X_{уд} = 0,09 \text{ Ом/км}$ ;  $R_{уд} = 0,89 \text{ Ом/км}$ .

Трансформатор Т:  $S_{ном} = 16 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ;  $u_k = 10,5 \%$ ;

$n_T = 36,7/6,6 \text{ кВ}$ ;  $\Delta P_k = 85 \text{ кВт}$ .

Синхронный компенсатор GC:  $S_{ном} = 10 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ;

$U_{ном} = 6,3 \text{ кВ}$ ;  $X_{d(ном)}^* = 0,2$ ;  $X_{q2(ном)}^* = 0,24$ ;

$S_0 / S_{ном} = 0,8$ ;  $R = 0,016 \text{ Ом}$ .

Двигатель М:  $P_{ном} = 8 \text{ МВт}$ ;  $\cos \phi_{ном} = 0,9$ ;

$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ ;  $P_o / P_{ном} = 0,9$ ;  $I_n / I_{ном} = 6$ ;

$M_n / M_{ном} = 0,9$ .

Реактор LR:  $I_{ном} = 630 \text{ А}$ ;  $U_{ном} = 5,6 \text{ кВ}$ ;

$\Delta P_k = 2,5 \text{ кВт}$ ;  $X_p = 0,25 \text{ Ом}$ .

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основы составления схем замещения	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Составить схему замещения для определения периодической составляющей тока короткого замыкания</li> <li>2. Свернуть схему замещения, определить параметры эквивалентов</li> </ol>
Уметь: рассчитывать токи при трехфазных коротких замыканиях в начальный момент времени	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить индуктивные сопротивления схемы замещения</li> <li>2. Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени</li> </ol>

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## **КМ-2. Расчетное задание №1**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение расчетного задания на определение периодического и ударного токов КЗ для типовых схем подстанций и электростанций

### **Краткое содержание задания:**

В соответствии с полученным заданием составить расчётную схему с указанием места короткого замыкания.

Произвести расчёт параметров элементов расчётной схемы и составить схему её замещения.

Расчёт индуктивных и активных сопротивлений элементов расчётной схемы следует определять в относительных единицах при произвольно выбранных базисных условиях с учётом действительных коэффициентов трансформации трансформаторов (автотрансформаторов).

Свернуть схему относительно точки короткого замыкания, рассчитать параметры эквивалентов каждой независимой части схемы.

Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени.

Рассчитать ударный ток короткого замыкания от каждой из независимых частей схемы.

Рассчитать ударный ток в мест короткого замыкания.

### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основы составления схем замещения</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Составить схему замещения для расчета значения периодической составляющей тока короткого замыкания</li><li>2.Составить схему замещения для расчета значения ударного тока короткого замыкания</li><li>3.Свернуть схему замещения, определить параметры эквивалентов</li></ol>
<p>Уметь: рассчитывать токи при трехфазных коротких замыканиях в начальный момент времени</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Определить индуктивные сопротивления схемы замещения</li><li>2.Определить активные сопротивления схемы замещения</li><li>3.Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени</li><li>4.Рассчитать ударный ток короткого замыкания от каждой из независимых частей схемы</li><li>5.Рассчитать ударный ток в мест короткого замыкания</li></ol>



## Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## КМ-3. Контрольная работа №2 Метод типовых кривых

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

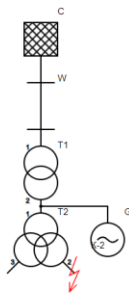
Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа по определению действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания с учетом затухания периодической составляющей от генераторов и асинхронных двигателей

### Краткое содержание задания:

Для индивидуальной расчетной схемы, пример представлен на рисунке, определить периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени и заданный момент времени.

Исходные данные:



C:

$$S_{\text{max}} = 800 \text{ МВА}, z_{\text{(max)}} = 1.05 \text{ о.е.}$$

W:

$$L = 50 \text{ км}, X_{\text{л}} = 0.4 \text{ Ом/км}, R_{\text{л}} = 0.16 \text{ Ом/км}$$

T1:

$$S_{\text{max}} = 250 \text{ МВА}, u_k = 11 \%, U_{\text{HT}} = 242 \text{ кВ},$$

$$U_{\text{HT}} = 15 \text{ кВ}, \Delta P_s = 600 \text{ кВт}$$

G:

$$P_{\text{max}} = 110 \text{ МВт}, \cos \varphi = 0.8, U_{\text{HT}} = 15.75 \text{ кВ},$$

$$z_{\text{(max)}} = 0.19 \text{ о.е.}, z_{\text{(min)}} = 0.23 \text{ о.е.}, T_s^{(3)} = 0.41 \text{ с},$$

$$P_{(0)}/P_{\text{max}} = 0.9 \text{ о.е.}$$

T2:

$$S_{\text{max}} = 25 \text{ МВА}, u_k = 10 \%, U_{\text{HT}} = 15.75 \text{ кВ},$$

$$U_{\text{HT}} = 6.3 \text{ кВ}, U_{\text{HT2}} = 6.3 \text{ кВ}, \Delta P_s = 115 \text{ кВт}$$

Короткое замыкание в точке К-2

Найти  $I_{\text{eff}}$  для момента времени  $t = 0.3 \text{ с}$

### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассчитывать токи при коротких замыканиях с учетом затухания периодической составляющей тока

1. Определить индуктивные сопротивления схемы замещения
2. Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени
3. Оценить необходимость учёта затухания периодической составляющей от каждой независимой части схемы
4. Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в заданный момент времени

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-4. Расчетное задание №2**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Расчетное задание по определению значений фазных токов и напряжений при несимметричном коротком замыкании

**Краткое содержание задания:**

В соответствии с полученным заданием составить расчётную схему с указанием места короткого замыкания.

Составить схему замещения прямой последовательности.

Составить схему замещения обратной последовательности.

Составить схему замещения нулевой последовательности.

Рассчитать индуктивных сопротивления прямой последовательности элементов расчётной схемы.

Рассчитать индуктивных сопротивления обратной последовательности элементов расчётной схемы.

Рассчитать индуктивных сопротивления нулевой последовательности элементов расчётной схемы.

Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени.

Построить векторную диаграмму токов в точке короткого замыкания.

Построить векторную диаграмму напряжений в точке короткого замыкания.

Построить векторную диаграмму токов в указанной в задании ветви.

Построить векторную диаграмму напряжений в указанной в задании точке.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы составления схем замещения	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Составить схему замещения прямой последовательности</li> <li>2.Составить схему замещения обратной последовательности</li> <li>3.Составить схему замещения нулевой последовательности</li> </ol>
Знать: построение векторных диаграмм токов и напряжений при коротких замыканиях	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Построить векторную диаграмму токов в точке короткого замыкания</li> <li>2.Построить векторную диаграмму напряжений в</li> </ol>

	точке короткого замыкания 3. Построить векторную диаграмму токов в указанной в задании ветви 4. Построить векторную диаграмму напряжений в указанной в задании точке
Уметь: рассчитывать токи при несимметричных коротких замыканиях с учетом затухания периодической составляющей тока	1. Рассчитать индуктивных сопротивления прямой последовательности элементов расчётной схемы 2. Рассчитать индуктивных сопротивления обратной последовательности элементов расчётной схемы 3. Рассчитать индуктивных сопротивления нулевой последовательности элементов расчётной схемы 4. Рассчитать действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-5. Тест №1. Короткие замыкания в электроустановках до 1000 В**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тест из 9 вопросов. Для каждого вопроса приводится несколько вариантов ответа, один из которых верный.

**Краткое содержание задания:**

Выберите верные ответы.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности расчета токов коротких замыканий в электроустановках напряжением до 1 кВ	1. Как соотносятся между собой погонное активное сопротивление двух алюминиевых кабельных линий одинакового сечения, одна на номинальное напряжение 1 кВ, вторая на – 110 кВ? · Активное сопротивление высоковольтной кабельной линии выше · <b>Активные сопротивление этих кабельных линий примерно равно</b> · Активное сопротивление низковольтной кабельной линии выше
---	---

	<p>2. Как соотносятся между собой погонное индуктивное сопротивление двух алюминиевых кабельных линий одинакового сечения, одна на номинальное напряжение 1 кВ, вторая на – 110 кВ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Индуктивное сопротивление высоковольтной кабельной линии выше</b></li> <li>· Индуктивное сопротивление этих кабельных линий примерно равно</li> <li>· Индуктивное сопротивление низковольтной кабельной линии выше</li> </ul> <p>3. Отметьте факторы, влияющие на активное сопротивление кабельных линий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Температура окружающей среды</b></li> <li>· Тип изоляции кабеля</li> <li>· Высота прокладки кабельной линии над землей</li> <li>· <b>Нагрев кабелей током протекающим по ним</b></li> </ul> <p>4. При увеличении температуры кабельной линии на 50 °С, как, приблизительно, изменится его активное сопротивление?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Увеличится на 40%</li> <li>· Уменьшится на 40%</li> <li>· Увеличится на 4%</li> <li>· Уменьшится на 4%</li> <li>· <b>Увеличится на 20%</b></li> <li>· Уменьшится на 20%</li> </ul> <p>5. Что такое тепловой спад тока?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Уменьшение тока короткого замыкания из-за увеличения температуры окружающей среды</li> <li>· <b>Уменьшение тока короткого замыкания из-за нагрева кабельной линии этим током</b></li> <li>· Уменьшение температуры кабельной линии при снижении тока в ней</li> <li>· Уменьшение активного сопротивления кабельной линии из-за снижения температуры окружающей среды</li> </ul> <p>6. Если сравнивать металлическое короткое замыкание и дуговое в электроустановке 0,4 кВ, при всех остальных параметрах неизменных, можно ожидать, что в начальный момент времени</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· ток металлического короткого замыкания сопоставим с током дугового</li> <li>· ток металлического короткого замыкания больше, примерно в 3 раза, чем дугового</li> <li>· <b>ток металлического короткого замыкания больше на 10-40%, чем дуговой</b></li> <li>· ток металлического короткого замыкания меньше дугового</li> </ul> <p>7. Как на ток короткого замыкания влияют асинхронные двигатели в электроустановках 0,4 кВ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Увеличивают ток короткого замыкания на протяжении 0,5 с, затем переходят в шунтирующий режим</li> </ul>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>В начальный момент подпитывают ток короткого замыкания, но уже через 10-30 мс переходят в шунтирующий режим</b></li> <li>· Снижают ток короткого замыкания находясь постоянно в шунтирующем режиме</li> <li>· Увеличивают ток короткого замыкания, на протяжении всей продолжительности короткого замыкания</li> </ul> <p>8. Полное сопротивление автоматических выключателей можно приблизительно определить</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· по выделяемой тепловой мощности в нормальном режиме, указанной в справочных данных</li> <li>· <b>по номинальному току выключателя</b></li> <li>· только экспериментальным путем</li> <li>· по полному времени отключения выключателя</li> </ul> <p>9. Сопротивление нулевой последовательности кабельной для четырехжильной кабельной линии определяется в первую очередь</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>наличием и сечением нейтрального проводника</b></li> <li>· металлоконструкциями вдоль кабельного канала</li> <li>· наличием/отсутствием экранов и брони</li> </ul>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения задания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения задания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

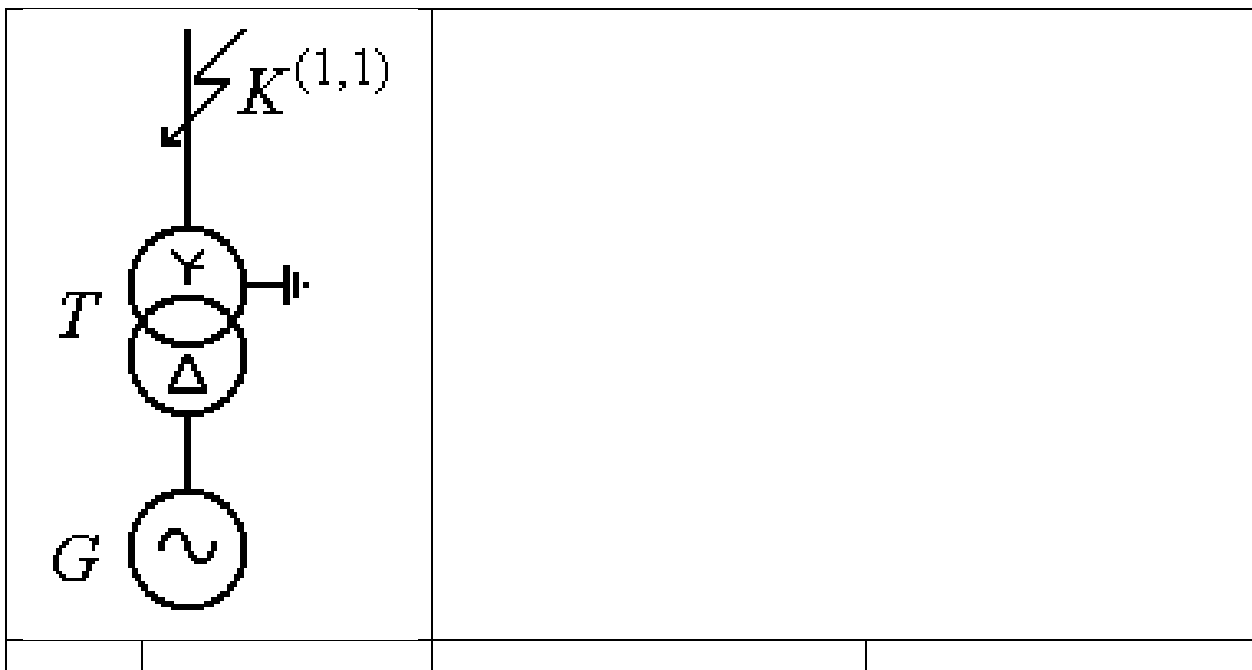
6 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра Электрические станции	<i>Утверждаю Зав. Кафедрой</i>
		Дисциплина: Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах Институт электроэнергетики
<p>1. Изменение во времени действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины без демпферных контуров с учетом действия АРВ.</p> <p>2. Применение метода типовых кривых для расчета несимметричных коротких замыканий.</p>		

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра Электрические станции	<i>Утверждаю Зав. Кафедрой</i>
		Дисциплина: Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах Институт электроэнергетики
<p>Задача</p> <p>Определить ток в поврежденной фазе трансформатора через <b>0,3 с</b> после момента возникновения двухфазного короткого замыкания на землю в точке <math>K(1,1)</math>.</p> <p>Генератор: <math>P_{ном} = 160</math> МВт; <math>U_{ном} = 13,8</math> кВ; <math>\cos\varphi_{ном} = 0,9</math>; <math>X_d'' = 0,18</math>; <math>X_2 = 0,22</math></p> <p>До КЗ генератор работал с номинальной нагрузкой.</p> <p>Трансформатор: <math>S_{ном} = 200</math> МВ×А; <math>U_{ном ВН} = 230</math> кВ; <math>U_{ном НН} = 13,8</math> кВ; <math>u_k = 11\%</math>; Y0/D - 11.</p>		



### Процедура проведения

Экзамен в устной форме по билетам. Время на подготовку 60 минут. Время на устный ответ - не более 15 минут.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-4ПК-1 Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования, расчета режимов и эксплуатации

### Вопросы, задания

#### 1. Часть 1. Переходные процессы в синхронной машине

1. Основные допущения, принимаемые при исследовании электромагнитных переходных процессов в энергосистемах.
2. Переходный процесс при трехфазном коротком замыкании в цепи без трансформаторов, подключенной к источнику синусоидального напряжения.
3. Дифференциальные уравнения переходного процесса в синхронной машине в фазных координатах. Трудности их решения.
4. Собственные и взаимные индуктивности между обмотками синхронной машины для системы координат  $(A, B, C)$ .
5. Переход от трехфазной системы координат  $(A, B, C)$  к системе координат  $d, q, 0$ .
6. Собственные и взаимные индуктивности между обмотками синхронной машины для системы координат  $(d, q, 0)$ . Пренебрежение частичными потоками взаимоиндукции.
7. Дифференциальные уравнения переходных процессов синхронных машин (уравнения Парка-Горева). Понятие о трансформаторной ЭДС и ЭДС вращения.
8. Схема расположения контуров синхронной машины относительно системы координат  $d, q, 0$ . Выражения для потокосцеплений различных обмоток синхронной машины с демпферными контурами.

9. Синхронная машина без демпферных контуров в начальный момент короткого замыкания. Определение начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания от синхронной машины. Векторная диаграмма напряжений и токов. Схема замещения синхронной машины без демпферных контуров.
10. Синхронная машина с демпферными контурами в начальный момент короткого замыкания. Расчет начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины. Векторные диаграммы напряжений и токов до короткого замыкания и в начальный момент короткого замыкания. Схемы замещения синхронной машины с демпферными контурами по продольной и поперечной осям. Определение поперечной и продольной сверхпереходных ЭДС синхронной машины с демпферными контурами из векторной диаграммы.
11. Назначение АРВ синхронной машины. Форсировка возбуждения машины. Фактическая и эквивалентная зависимости ЭДС обмотки возбуждения от времени при  $T_e \neq 0$  и  $T_e \rightarrow 0$ .
12. Изменения во времени действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины без учета влияния демпферных контуров при отключенном АРВ. Объяснение хода зависимости.
13. Изменение во времени действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронной машины без демпферных контуров с учетом действия АРВ. Объяснение хода зависимости и вклада от АРВ.
14. Изменение во времени действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания и напряжения на выводах синхронного генератора (без учета влияния демпферных контуров) в случае, когда сопротивление внешней сети превышает критическое. Понятие о критическом времени. Объяснение зависимостей.
15. Влияние сопротивления внешней сети на характер изменения во времени действующего значения тока короткого замыкания синхронной машины без демпферных контуров при включенном АРВ.
16. Характер изменения во времени тока короткого замыкания и напряжения на выводах синхронного генератора при включенном АРВ, когда  $T_e \neq 0$  и  $T_e = 0$ , при внешнем сопротивлении больше, равно и меньше критического.
17. Влияние трансформаторных ЭДС и активного сопротивления обмотки якоря синхронной машины на переходный процесс при коротком замыкании в цепи якоря.
18. Свободные составляющие токов в обмотке возбуждения и ястре синхронной машины (без учета влияния демпферных контуров) при трехфазном коротком замыкании на ее выводах.
19. Свободные составляющие токов в обмотке возбуждения и ястре синхронной машины (с учетом влияния демпферных контуров) при трехфазном коротком замыкании на ее выводах.
20. Образование второй гармонической составляющей в токе якоря синхронной машины при трёхфазном коротком замыкании.
21. Переходный процесс при форсировке возбуждения синхронной машины.
22. Переходный процесс при гашении магнитного поля синхронной машины.

## **Часть 2. Методы расчета токов короткого замыкания**

1. Использование системы относительных единиц для расчета токов КЗ. Порядок использования системы относительных единиц при расчетах токов КЗ с точным и приближенным учетом коэффициентов трансформации трансформаторов. Преимущества и недостатки системы относительных единиц по сравнению с системой именованных единиц при расчетах токов КЗ.
2. Понятие об ударном токе короткого замыкания, ударном коэффициенте. Методы определения ударного коэффициента.



3. Методика расчета апериодической составляющей тока короткого замыкания при сложной расчетной схеме. Методы определения эквивалентной постоянной времени.
4. Влияние и учет нагрузки в начальный момент короткого замыкания.
5. Расчёт тока симметричного трехфазного короткого замыкания в произвольный момент времени аналитическим способом для синхронной машины без учета демпферных контуров.
6. Расчёт тока несимметричного короткого замыкания в произвольный момент времени аналитическим способом для синхронной машины без учета демпферных контуров.
7. Сущность метода типовых кривых. Порядок расчета тока короткого замыкания с использованием этого метода для четырех расчетных случаев.
8. Расчет тока короткого замыкания в схеме с несколькими генераторами при использовании метода типовых кривых.
9. Применение метода типовых кривых для расчета несимметричных коротких замыканий.
10. Определение удалённости точки несимметричного короткого замыкания от синхронной машины при расчёте тока короткого замыкания методом типовых кривых.
11. Однофазное короткое замыкание. Граничные условия. Основные соотношения для симметричных составляющих токов и напряжений. Векторные диаграммы напряжений и токов. Комплексные схемы замещения (точная и приближенная).
12. Двухфазное короткое замыкание на землю. Граничные условия. Основные соотношения для симметричных составляющих токов и напряжений. Векторные диаграммы токов и напряжений в месте короткого замыкания. Комплексная схема замещения.
13. Двухфазное короткое замыкание. Граничные условия. Основные соотношения для симметричных составляющих токов и напряжений. Векторные диаграммы напряжений и токов в месте короткого замыкания. Комплексная схема замещения.
14. Двойное короткое замыкание. Расчетные виды двойных КЗ. Формулы для расчета тока двойного КЗ. Область использования токов двойных КЗ при проверке электрического оборудования.
15. Правило эквивалентности тока прямой последовательности при несимметричных коротких замыканиях и основанное на нем следствие.
16. Особенности схем замещения нулевой последовательности. Порядок их составления (привести пример).
17. Эпюры распределения симметричных составляющих напряжений в простейшей электрической цепи при коротких замыканиях разных видов (однофазное, двухфазное, двухфазное на землю).
18. Соотношение токов однофазного, двухфазного, двухфазного на землю и трёхфазного короткого замыкания при коротких замыканиях в одной и той же точке.
19. Расчет токов КЗ в электрических сетях с инверторными установками ВЭС и накопителей электроэнергии.
20. Использование компьютерных программ для расчета токов КЗ. Отечественные и зарубежные программы, преимущества и недостатки. Разработка расчетной модели. Принципы параметризации элементов расчетной модели.
21. Особенности расчета токов короткого замыкания в сети номинальным напряжением до 1 кВ. Особенности составления схемы замещения для расчета короткого замыкания в сети 0,4 кВ (учет переходных сопротивлений контактов аппаратов, электрической дуги, увеличения активного сопротивления КЛ и т.д.).

### **Часть 3. Расчет сопротивлений элементов**

1. Сопротивления схемы замещения синхронной машины  $X_d, X_d', X_d''$ . Отличие значений сопротивлений, выраженных в относительных единицах для одного и того же синхронного генератора. В какой момент времени КЗ можно использовать указанные сопротивления для замещения синхронной машины?.
2. Сопротивление обратной последовательности синхронной машины при трехфазных КЗ.
3. Сопротивление обратной последовательности синхронной машины при несимметричных КЗ.
4. Сопротивление нулевой последовательности двухобмоточных трансформаторов.
5. Сопротивление нулевой последовательности трехобмоточных трансформаторов.
6. Сопротивление нулевой последовательности одноцепной воздушной линии без заземлённого грозозащитного троса.
7. Сопротивление нулевой последовательности одноцепной воздушной линии с грозозащитными тросами.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При расчете коротких замыканий в высоковольтных электроустановках, предпочтительно использовать:

Ответы:

- А) Именованные единицы
- Б) Относительные единицы

Верный ответ: Б

2. При выборе базисной мощности равной 100 МВА и базисного напряжения первой ступени равному 230 кВ, какой будет базисный ток первой ступени?

Ответы:

- А) 0,5 кА
- Б) 0,25 кА
- В) 1 кА
- Г) 2 кА

Верный ответ: Б

3. Составление схемы замещения нулевой последовательности обязательно при расчете:

Ответы:

- А) Трехфазных коротких замыканий
- Б) Двухфазных коротких замыканий
- В) Однофазных коротких замыканий

Верный ответ: В)

4. При каком виде короткого замыкания обязательно составление схемы замещения обратной последовательности, но не обязательно составление схемы замещения нулевой последовательности?

Ответы:

- А) Трехфазных коротких замыканий
- Б) Двухфазных коротких замыканий
- В) Однофазных коротких замыканий

Верный ответ: Б

5. При каком виде короткого замыкания не обязательно составление схемы замещения обратной и нулевой последовательности?

Ответы:

- А) Трехфазных коротких замыканий
- Б) Двухфазных коротких замыканий
- В) Однофазных коротких замыканий

Верный ответ: А

6. В какое время, от начала возникновения короткого замыкания, можно ожидать ударный ток короткого замыкания в высоковольтных сетях?

Ответы:

- А) 1 с.
- Б) около 0,1 с.
- В) около 0,01 с.

Верный ответ: В

7.  $I_{п0}$  - это обозначение:

Ответы:

- А) Действующее значение тока короткого замыкания в начальный момент времени
- Б) Постоянная времени апериодической составляющей
- В) ударный ток короткого замыкания

Верный ответ: А

8.  $i_{уд}$  - это обозначение:

Ответы:

- А) Действующее значение тока короткого замыкания в начальный момент времени
- Б) Постоянная времени апериодической составляющей
- В) ударный ток короткого замыкания

Верный ответ: В)

9.  $T_a$  - это обозначение:

Ответы:

- А) Действующее значение тока короткого замыкания в начальный момент времени
- Б) Постоянная времени апериодической составляющей
- В) ударный ток короткого замыкания

Верный ответ: Б

10. В каком случае обязательно учитывать активные сопротивления?

Ответы:

- А) При расчетах в электроустановках выше 1 кВ
- Б) При расчетах в электроустановках до 1 кВ

Верный ответ: Б

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Итоговая оценка по курсу определяется исходя из оценок семестровой и экзаменационной составляющей согласно Положению о балльно-рейтинговой структуре НИУ "МЭИ"