

**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: Электроэнергетика и электротехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**


**Форма обучения: Очная**

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

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:


Разработчик

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

О.Ю. Гусев


## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

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

В.Н.  
Тулский

Заведующий  
выпускающей кафедрой

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

В.Н.  
Тулский

## 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:

1. ПК-1 Способен применять знание особенностей и характеристик элементов электроэнергетических систем, способов производства и использования электроэнергии в профессиональной деятельности

ИД-4 Демонстрирует знание свойств электроэнергетических систем в переходных режимах и умеет выполнять расчёты переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)

2. Расчетное задание №1 (Расчетно-графическая работа)

3. Расчетное задание №2 (Расчетно-графическая работа)

4. Тест 1 "Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания"  
(Контрольная работа)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	6	8	12	14
Раздел 1						
Общие сведения об электромагнитных переходных процессах	+	+	+	+	+	
Раздел 2						
Переходный процесс при трёхфазном коротком замыкании в электрической цепи, подключенной к источнику синусоидального напряжения	+	+	+			+
Раздел 3						
Уравнения электромагнитных переходных процессов в синхронной машине	+	+	+			+

Раздел 4					
Расчёт начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания		+	+	+	+
Раздел 5					
Изменение во времени действующего значения тока короткого замыкания от синхронной машины	+	+	+		+
Раздел 6					
Практические методы расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания		+	+	+	+
Раздел 7					
Расчёты несимметричных коротких замыканий		+	+	+	+
Раздел 8					
Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ				+	+
Вес КМ:	5	10	30	35	20

\$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-4ПК-1 Демонстрирует знание свойств электроэнергетических систем в переходных режимах и умеет выполнять расчёты переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем	<p>Знать:</p> <p>методы расчета токов трехфазных КЗ в ненулевой момент времени</p> <p>методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени</p> <p>методы расчета токов несимметричных КЗ</p> <p>Уметь:</p> <p>рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ</p> <p>объяснять осциллограммы переходных процессов при КЗ, форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой</p> <p>использовать компьютерные программы</p>	<p>Тест 1 "Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания" (Контрольная работа)</p> <p>Контрольная работа №1 (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание №1 (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Расчетное задание №2 (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)</p>

		для расчета КЗ	
--	--	----------------	--

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

### КМ-1. Тест 1 "Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания"

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** КМ-1. Тест 1 "Составление схем замещения для расчета токов короткого замыкания"

#### Краткое содержание задания:

Для представленной схемы:

- отметить ступени напряжения;
- рассчитать базисные условия с точным приведением коэффициентов трансформации трансформаторов;
- рассчитать базисные условия с приближенным приведением коэффициентов трансформации трансформаторов;

нарисовать схему замещения для расчета тока короткого замыкания

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: объяснять осциллограммы переходных процессов при КЗ, форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой	1.отметить ступени напряжения на схеме 2.рассчитать базисные условия с точным приведением коэффициентов трансформации трансформаторов 3.рассчитать базисные условия с точным приведением коэффициентов трансформации трансформаторов
--	--

#### 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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. Контрольная работа №1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

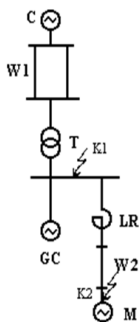
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа по определению периодической составляющей тока короткого замыкания ( $I_{п0}$ ) и ударного тока короткого замыкания ( $i_{уд}$ )

### 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:  $S_{ном} = 600 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ;  $X_{с(ном)} = 1,5$ .

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

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

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

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

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

$M_{п} / M_{ном} = 0,9$ .

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: методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.составить схему замещения для определения периодической составляющей тока короткого замыкания</li> <li>2.составить схему замещения для определения ударного тока короткого замыкания</li> </ol>
Уметь: рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.определить индуктивные сопротивления схемы замещения</li> <li>2.определить активные сопротивления схемы замещения</li> <li>3.провести эквивалентирование исходной расчетной схемы замещения для определения периодического тока короткого замыкания</li> <li>4.определить ударный ток короткого замыкания (<math>i_{уд}</math>)</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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-3. 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:

Обучаемому выдается индивидуальный вариант задания, состоящих из трех цифр. Для выданного варианта задания:

- составить расчетную схему (цифра №1 задания);
- сформировать исходные данные по оборудованию расчетной схемы (цифра №2 задания);
- определить точку короткого замыкания (цифра №3 задания);
- составить схему замещения и рассчитать периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени;
- составить схему замещения и рассчитать ударный ток короткого замыкания.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени	1.Составить схему замещения для расчета значения периодической составляющей тока короткого замыкания 2.Составить схему замещения для расчета значения ударного тока короткого замыкания
Уметь: рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ	1.Составить схему замещения для расчета значения ударного тока короткого замыкания 2.определить активные сопротивления схемы замещения для трехфазного короткого замыкания 3.определить активные сопротивления схемы замещения для трехфазного короткого замыкания 4.определить составляющие тока короткого замыкания с отклонением не более 5% от эталонных значений

#### 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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

#### **КМ-4. Расчетное задание №2**

**Формы реализации:** Письменная работа

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

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

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

#### **Краткое содержание задания:**

Обучаемому выдается индивидуальный вариант задания, состоящих из трех цифр. Для выданного варианта задания:

- составить расчетную схему (цифра №1 задания);
- сформировать исходные данные по оборудованию расчетной схемы (цифра №2 задания);
- определить точку короткого замыкания (цифра №3 задания);
- составить схему замещения и рассчитать симметричные составляющие токов и напряжений несимметричного короткого замыкания в месте короткого замыкания;
- определить значения фазных токов и напряжений на заданных участках расчетной схемы;

построить векторные диаграммы фазных токов и напряжений на заданных участках расчетной схемы с учетом перехода через трансформатор.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета токов несимметричных КЗ	1.составить схему замещения прямой последовательности 2.составить схему замещения обратной последовательности 3.составить схему замещения нулевой последовательности
Уметь: рассчитывать значения токов трехфазных и несимметричных КЗ	1.провести эквивалентирование исходных схем замещения расчетной схемы неимметричного короткого замыкания по последовательностям 2.определить токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности в месте короткого замыкания, соответствующие виду несимметричного короткого замыкания 3.определить токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности в месте короткого замыкания, соответствующие виду несимметричного короткого замыкания 4.определить напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности на заданном элементе расчетной схемы

**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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-5. Защита лабораторных работ**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение и защита лабораторных работ №1, №2, №3 и №4. Средняя оценка с округлением до целого балла

**Краткое содержание задания:**

ЛР-1: Рассчитать ток трехфазного короткого замыкания для расчетной схеме, соответствующей первому расчетному заданию. Провести сопоставление результатов расчета токов короткого замыкания между расчетным заданием и лабораторной работой.

ЛР-2: Разработать расчетную модель и провести опыт близкого короткого замыкания в электрической сети с синхронной машиной. Рассчитать осциллограммы токов и напряжений синхронной машины при переходном процессе в случае возникновения близкого короткого замыкания

ЛР-3: Смоделировать конструкцию воздушной или кабельной линии электропередачи в специальной компьютерной программе и рассчитать сопротивления и проводимости прямой и нулевой последовательности

ЛР-4: Для схемы из расчетного задания №2 рассчитать значения фазных токов и напряжений для заданных элементов при несимметричном коротком замыкании.

Сопоставить результаты расчета расчетного задания №2 и данной лабораторной работы.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета токов несимметричных КЗ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.(ЛР-3) расчетные формулы для определения сопротивлений прямой и нулевой последовательности</li> <li>2.(ЛР-3) факторы, влияющие на значение сопротивлений и проводимостей линии электропередачи</li> <li>3.(ЛР-4) составление схемы замещения нулевой последовательности элементов</li> <li>4.(ЛР-4) режим нейтрали силовых трансформаторов и его влияние на ток несимметричного короткого</li> </ol>
---	---

	<p>замыкания</p> <p>5.(ЛР-4) дорасчет параметров нулевой последовательности элементов при параметризации расчетной схемы</p> <p>6.(ЛР-4) способы учёта сопротивлений взаимной индукции нулевой последовательности линий электропередачи, проходящих в одном коридоре</p>
<p>Знать: методы расчета токов трехфазных КЗ в ненулевой момент времени</p>	<p>1.(ЛР-2) схема замещения синхронной машины без учета демпферных контуров</p> <p>2.(ЛР-2) схема замещения синхронной машины с учетом демпферных контуров;</p> <p>3.(ЛР-2) составляющие и характер изменения во времени напряжения на выводах статорной обмотки синхронной машины</p> <p>4.(ЛР-2) составляющие и характер изменения во времени тока статорной обмотки синхронной машины</p> <p>5.(ЛР-2) составляющие и характер изменения во времени тока и напряжения обмотки возбуждения синхронной машины</p> <p>6.(ЛР-2) влияние автоматического регулятора возбуждения на характер изменения токов и напряжений синхронной машины</p>
<p>Знать: методы расчета токов трехфазных КЗ в нулевой момент времени</p>	<p>1.(ЛР-1) способы параметризации элементов расчетной схемы трехфазного короткого замыкания с использованием специальной компьютерной программы</p> <p>2.(ЛР-1) методика расчета трехфазного короткого замыкания</p>
<p>Уметь: использовать компьютерные программы для расчета КЗ</p>	<p>1.(ЛР-1) разработать топологическую модель расчетной схемы в компьютерной программе</p> <p>2.(ЛР-1) произвести ввод необходимых исходных данных в элементы расчетной модели</p> <p>3.(ЛР-1) выполнить настройку параметров расчета трехфазного короткого замыкания в компьютерной программе</p> <p>4.(ЛР-1) задокументировать результаты расчета трехфазного короткого замыкания</p> <p>5.(ЛР-3) дорасчет и параметризация расчетного модуля компьютерной программы геометрическими данными линии электропередачи</p> <p>6.(ЛР-3) параметризации свойств проводников и слоёв изоляции, входящих в состав линии электропередачи</p> <p>7.(ЛР-4) параметризация элементов расчетной схемы для расчета несимметричного короткого замыкания</p> <p>8.(ЛР-4) настройка параметров расчета несимметричного короткого замыкания</p> <p>9.(ЛР-4) расчет токов при несимметричном коротком замыкании в различных элементах расчетной схемы</p> <p>10.(ЛР-4) расчет напряжений при несимметричном коротком замыкании в различных узлах расчетной</p>

	схемы 11.(ЛР-4) документирование результатов расчета несимметричного короткого замыкания
Уметь: объяснять осциллограммы переходных процессов при КЗ, форсировке возбуждения синхронных машин, гашении их магнитного поля и включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой	1.(ЛР-2) разработка расчетной модели с использованием специальной программы 2.(ЛР-2) анализ осциллограмм токов и напряжений синхронной машины 3.(ЛР-2) документирование результатов математического моделирования переходных процессов при коротком замыкании синхронной машины

**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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

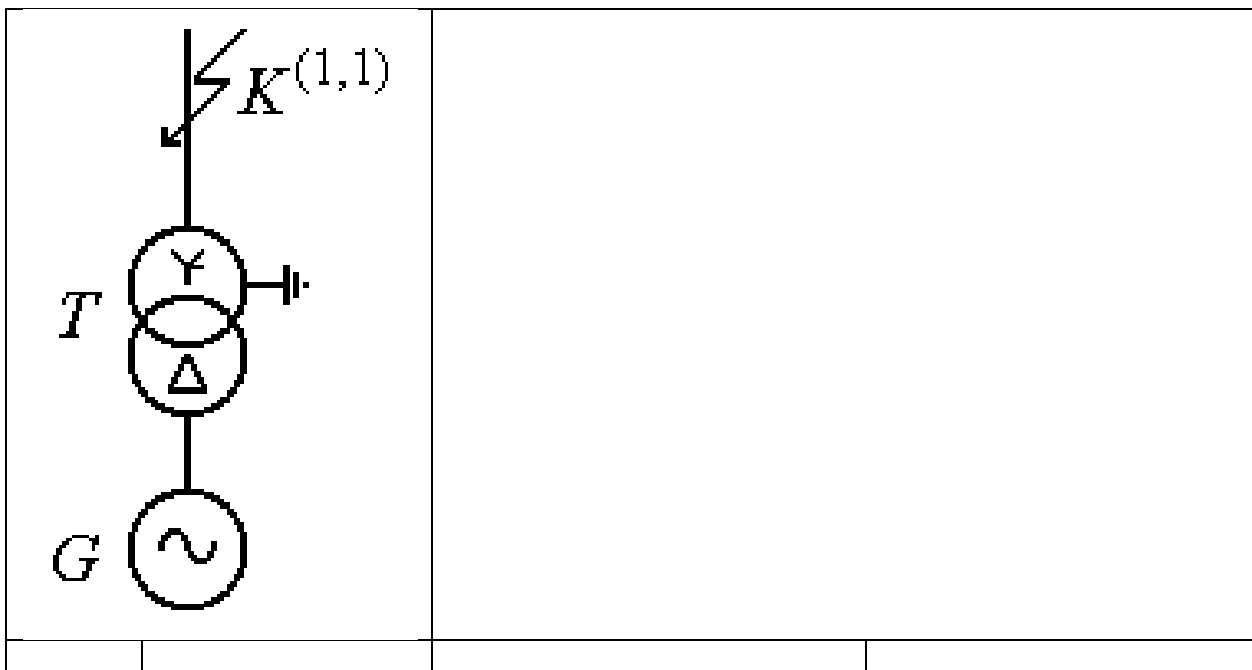
6 семестр

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>. 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. 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-4<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание свойств электроэнергетических систем в переходных режимах и умеет выполнять расчёты переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем

### 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, равном 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 якоре синхронной машины (без учета влияния демпферных контуров) при трехфазном коротком замыкании на ее выводах.
19. Свободные составляющие токов в обмотке возбуждения и якоре 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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***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"