

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Курганский государственный университет»  
(КГУ)

Кафедра «Цифровая энергетика»

УТВЕРЖДАЮ:  
Первый проректор

\_\_\_\_\_ / Т.Р. Змызгова /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

## Рабочая программа учебной дисциплины

### **Переходные процессы в электроэнергетических системах** (наименование дисциплины)

образовательной программы высшего образования –  
программы бакалавриата  
**13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника**

Направленность:  
**Электроснабжение**

Формы обучения: очная, заочная

Курган 2024

Рабочая программа дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетических системах» составлена в соответствии с учебными планами по программе бакалавриата Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение), утвержденными:

- для очной формы обучения «28» июня 2024 года;
- для заочной формы обучения «28» июня 2024 года.

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры «Цифровая энергетика» «06» сентября 2024 года, протокол № 1.

Рабочую программу составил  
ст. преподаватель

Д.Н. Шестаков

Согласовано:

Заведующий кафедрой  
«Цифровая энергетика»

В.И. Мошкин

Специалист по учебно-методической  
работе учебно-методического отдела

Г.В. Казанкова

Начальник управления образовательной  
деятельности

И.В. Григоренко

## 1. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Всего: 8 зачетных единиц трудоемкости (288 академических часа)

### Очная форма обучения

Вид учебной работы	На всю дисциплину	Семестр	
		6	7
<b>Аудиторные занятия (контактная работа с преподавателем), всего часов</b>	<b>84</b>	<b>36</b>	<b>48</b>
<b>в том числе:</b>			
Лекции	48	16	32
Лабораторные работы	12	4	8
Практические занятия	24	16	8
<b>Самостоятельная работа, всего часов</b>	<b>204</b>	<b>108</b>	<b>96</b>
<b>в том числе:</b>			
Курсовая работа	36	36	–
Подготовка к экзамену (зачету)	45	18	27
Другие виды самостоятельной работы (самостоятельное изучение тем (разделов) дисциплины)	123	54	69
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	<b>З, Э</b>	<b>Зачет</b>	<b>Экзамен</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины и трудоемкость по семестрам, часов</b>	<b>288</b>	<b>144</b>	<b>144</b>

### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	На всю дисциплину	Семестр	
		7	8
<b>Аудиторные занятия (контактная работа с преподавателем), всего часов</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>в том числе:</b>			
Лекции	6	4	2
Лабораторные работы	4	–	4
Практические занятия	2	2	–
<b>Самостоятельная работа, всего часов</b>	<b>276</b>	<b>138</b>	<b>138</b>
<b>в том числе:</b>			
Курсовая работа	36	36	–
Подготовка к экзамену (зачету)	45	18	27
Другие виды самостоятельной работы (самостоятельное изучение тем (разделов) дисциплины)	195	84	111
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	<b>З, Э</b>	<b>Зачет</b>	<b>Экзамен</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины и трудоемкость по семестрам, часов</b>	<b>288</b>	<b>144</b>	<b>144</b>

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

Дисциплина «Переходные процессы в электроэнергетических системах» относится к обязательным дисциплинам части формируемой участниками образовательных отношений Блока 1.

Изучение дисциплины базируется на результатах обучения, сформированных при изучении следующих дисциплин:

- Физика;
- Математика;
- Информатика;
- Электроснабжение.

Результаты обучения по дисциплине необходимы для изучения дисциплин: «Эксплуатация систем электроснабжения», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

## **3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Целью освоения «Переходные процессы в электроэнергетических системах» является: дать представление о переходных процессах и методах их количественной оценки с целью выбора силового электрооборудования, установок релейной защиты, устойчивости и оценки последствий аварийных режимов, возникающих в системе электроснабжения.

Задачами дисциплины являются: научить обучающихся применять знания, полученные в курсах математики, теоретических основ электротехники, электрических машин для расчета переходных процессов в электроэнергетических системах; научиться строить математические модели переходных процессов.

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины:

- готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-3);
- способность составлять и оформлять типовую техническую документацию (ПК-9).

Индикаторы и дескрипторы части соответствующей компетенции, формируемой в процессе изучения дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетических системах», оцениваются при помощи оценочных средств.

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах», индикаторы достижения компетенции ПК-3, ПК-9, перечень оценочных средств

№ п/п	Код индикатора достижения компетенции	Наименование индикатора достижения компетенции	Код планируемого результата обучения	Планируемые результаты обучения	Наименование оценочных средств
1.	ИД-1 <sub>ПК-3</sub>	Знать: метод симметричных составляющих и его применение для расчёта несимметричных режимов	З (ИД-1 <sub>ПК-3</sub> )	Знает: метод симметричных составляющих и его применение для расчёта несимметричных режимов	Комплект задач для практических занятий
2.	ИД-2 <sub>ПК-3</sub>	Уметь: составлять и преобразовывать схемы замещения всех последовательностей	У (ИД-2 <sub>ПК-3</sub> )	Умеет: составлять и преобразовывать схемы замещения всех последовательностей	Комплект задач для практических занятий
3.	ИД-3 <sub>ПК-3</sub>	Владеть: методами расчёта токов короткого замыкания	В (ИД-3 <sub>ПК-3</sub> )	Владеет: методами расчёта токов короткого замыкания	Вопросы для сдачи зачета (экзамена)
4.	ИД-1 <sub>ПК-9</sub>	Знать: принципы построения математических моделей электромеханических переходных процессов для оценки устойчивости электроэнергетической системы	З (ИД-1 <sub>ПК-9</sub> )	Знает: принципы построения математических моделей электромеханических переходных процессов для оценки устойчивости электроэнергетической системы	Тестовые вопросы
5.	ИД-2 <sub>ПК-9</sub>	Уметь: оценивать и рассчитывать устойчивость электроэнергетических систем по выбранным критериям устойчивости	У (ИД-2 <sub>ПК-9</sub> )	Умеет: оценивать и рассчитывать устойчивость электроэнергетических систем по выбранным критериям устойчивости	Вопросы для сдачи зачета (экзамена)
6.	ИД-3 <sub>ПК-9</sub>	Владеть: методиками расчета устойчивости электроэнергетических систем	В (ИД-3 <sub>ПК-9</sub> )	Владеет: методиками расчета устойчивости электроэнергетических систем	Тестовые вопросы

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Учебно-тематический план

#### Очная форма обучения

Рубеж	Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество часов контактной работы с преподавателем		
			Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия
<b>6 семестр</b>					
Рубеж 1	1	Введение. Цель, задачи изучения и содержание курса. Общие сведения о переходных процессах в системах электроснабжения	2	–	–
	2	Переходный процесс при коротком замыкании в системе, питающейся от источника бесконечной мощности	4	4	2

	3	Переходные ЭДС и реактивные сопротивления синхронной машины	4	–	4
		Рубежный контроль № 1	–	–	2
Рубеж 2	4	Переходные процессы при коротком замыкании синхронной машины. Влияние АРВ	2	–	–
	5	Практические методы расчета переходного процесса короткого замыкания	–	–	2
	6	Несимметричные режимы в системах электроснабжения	2	–	2
	7	Особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения напряжением до 1 кВ	2	–	2
		Рубежный контроль № 2	–	–	2
<b>Итого за 6 семестр</b>			<b>16</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
<b>7 семестр</b>					
Рубеж 1	8	Схема замещения и векторная диаграмма синхронного генератора для анализа электромеханических переходных процессов (ЭМП). Уравнение механического движения ротора генератора.	6	4	–
	9	Регулирование возбуждения, его задачи.	4	–	–
	10	Задачи и методы исследования статической устойчивости ЭЭС. Угловые характеристики мощности.	4	–	2
	11	Понятие динамической устойчивости. Способ площадей, допущения и область применения. Метод последовательных интервалов.	6	4	2
		Рубежный контроль № 1	–	–	2
Рубеж 2	12	Асинхронные режимы в ЭЭС.	6	–	–
	13	Переходные процессы в узлах нагрузки ЭЭС. Задачи исследования. Практические критерии для узлов комплексных нагрузок.	6	–	–
		Рубежный контроль № 2	–	–	2
<b>Итого за 7 семестр</b>			<b>32</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>Итого</b>			<b>48</b>	<b>12</b>	<b>24</b>

## Заочная форма обучения

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество часов контактной работы с преподавателем		
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия
<b>7 семестр</b>				
1	Введение. Цель, задачи изучения и содержание курса. Общие сведения о переходных процессах в системах электроснабжения	0,5	–	–
2	Переходный процесс при коротком замыкании в системе, питающейся от источника бесконечной мощности	0,5	–	–
3	Переходные ЭДС и реактивные сопротивления синхронной машины	0,5	–	–
4	Переходные процессы при коротком замыкании синхронной машины. Влияние АРВ	0,5	–	–
5	Практические методы расчета переходного процесса короткого замыкания	–	–	2
6	Несимметричные режимы в системах электроснабжения	0,5	–	–
7	Особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения напряжением до 1 кВ	0,5	–	–
8	Схема замещения и векторная диаграмма синхронного генератора для анализа электромеханических переходных процессов (ЭМПП). Уравнение механического движения ротора генератора.	0,5	4 (8 семестр)	–
9	Регулирование возбуждения, его задачи.	0,5	–	–
<b>8 семестр</b>				
10	Задачи и методы исследования статической устойчивости ЭЭС. Угловые характеристики мощности.	0,5	–	–
11	Понятие динамической устойчивости. Способ площадей, допущения и область применения. Метод последовательных интервалов.	0,5	–	–
12	Асинхронные режимы в ЭЭС.	0,5	–	–
13	Переходные процессы в узлах нагрузки ЭЭС. Задачи исследования. Практические критерии для узлов комплексных нагрузок.	0,5	–	–
<b>Всего:</b>		<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

### 4.2. Содержание лекционных занятий

***Тема 1 Введение. Цель, задачи изучения и содержание курса. Общие сведения о переходных процессах в системах электроснабжения.***  
 Причины возникновения коротких замыканий. Система относительных еди-

ниц. Составление расчетной схемы и схемы замещения сети. Преобразование схем замещения. Точное и приближенное приведение параметров.

Основные понятия и определения электроэнергетических систем (ЭЭС). Классификация режимов ЭЭС и задачи управления ими. Переходные режимы и процессы. Рекомендуемая литература.

### ***Тема 2 Переходный процесс при коротком замыкании в системе, питающейся от источника бесконечной мощности.***

Постановка задачи и ее ограничения. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи. Начальное значение периодической составляющей тока к.з., ударный ток. Действующее значение тока короткого замыкания. Переходный процесс в неподвижных магнитосвязанных цепях. Основные уравнения и соотношения. Переходный процесс включения трансформатора на трехфазное короткое замыкание. Включение трансформатора на холостой ход.

### ***Тема 3 Переходные ЭДС и реактивные сопротивления синхронной машины.***

Основные характеристики и параметры синхронной машины. Приведение параметров ротора к напряжению статора. Влияние и учет нагрузки. Расчет установившегося тока короткого замыкания при отсутствии АРВ. Влияние АРВ на установившийся режим короткого замыкания.

Сравнение реактивных сопротивлений синхронной машины. Характеристики двигателей и нагрузки. Расчет начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания и ударного тока. Основные допущения при составлении уравнений переходного процесса в синхронной машине. Система осей  $d$ ,  $q$ , ее применение для записи уравнений Парка-Горева.

### ***Тема 4 Переходные процессы при внезапном коротком замыкании синхронной машины. Влияние АРВ.***

Внезапное короткое замыкание синхронной машины без демпферных обмоток. Приближенный учет демпферных обмоток. Влияние АРВ на характер изменения тока короткого замыкания в переходном режиме.

Форсировка возбуждения при электромашинном возбудителе. Изменение ЭДС холостого хода и переходной ЭДС при внезапном коротком замыкании генератора.

### ***Тема 5 Практические методы расчета переходного процесса короткого замыкания.***

Приближенный учет системы. Выбор электрооборудования по условиям коротких замыканий. Метод расчетных кривых. Метод типовых кривых. ГОСТ Р 52735-2007. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.

### ***Тема 6 Несимметричные режимы в системах электроснабжения.***

Применение метода симметричных составляющих для расчета несимметричных режимов в системах электроснабжения. Параметры элементов системы

для токов обратной и нулевой последовательностей и их схемы замещения. Однократная поперечная несимметрия: однофазное короткое замыкание, двухфазное короткое замыкание, двухфазное короткое замыкание на землю. Комплексные схемы замещения. Сравнение токов при различных видах короткого замыкания. Распределение симметричных составляющих в системе. Однократная продольная несимметрия: обрыв в одной фазе, обрыв в двух фазах. Сложные виды несимметрий. Применимость практических методов к расчету переходного процесса при различных видах несимметрии.

***Тема 7 Особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения напряжением до 1 кВ.***

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1 кВ.

***Тема 8 Схема замещения и векторная диаграмма синхронного генератора для анализа электромеханических переходных процессов (ЭМП).***

Схема замещения и векторная диаграмма синхронного турбогенератора и гидрогенератора при анализе ЭМП. Уравнение переходного процесса в обмотке возбуждения генератора.

Векторная диаграмма простейшей электрической системы. Выражения для мощностей через различные ЭДС генератора.

***Тема 9 Регулирование возбуждения, его задачи.***

Ручное регулирование возбуждения, его влияние на статическую устойчивость и режимные характеристики ЭЭС. Анализ статической устойчивости простейшей ЭЭС с учетом автоматического регулятора возбуждения (АРВ) пропорционального действия. Статическая устойчивость ЭЭС с АРВ сильного действия.

***Тема 10 Задачи и методы исследования статической устойчивости ЭЭС. Угловые характеристики мощности.***

Статическая устойчивость ЭЭС. Задачи и методы исследования. Основные допущения и области применения. Математическое описание переходных процессов при анализе статической устойчивости. Метод малых колебаний. Необходимые и достаточные условия статической устойчивости. Статическая устойчивость и малые колебания в нерегулируемой системе. Алгебраические и частотные критерии устойчивости.

Определение угловых характеристик мощности через собственные и взаимные сопротивления.

***Тема 11 Понятие динамической устойчивости. Способ площадей, допущения и область применения. Метод последовательных интервалов.***

Причины и характер больших возмущений в электрической системе. Задачи исследования динамической устойчивости. Допущения, принимаемые при анализе динамической устойчивости. Энергетические соотношения, характеризующие движение ротора генератора.

Способ площадей, допущения и область применения. Определение предельного угла отключения короткого замыкания, отключения линии, включения АВР для синхронного генератора (СГ) и синхронного двигателя (СД).

Численное решение уравнения движения ротора генератора. Метод последовательных интервалов. Учет электромагнитных переходных процессов. Влияние демпфирования. Анализ процессов с учетом форсировки возбуждения генератора. Особенности расчета переходных процессов в сложной системе.

### ***Тема 12 Асинхронные режимы в ЭЭС.***

Общая характеристика асинхронных режимов и основные задачи их исследования. Причины возникновения асинхронного режима. Понятие результирующей устойчивости. Процесс выпадения из синхронизма, необходимое условие ресинхронизации. Практические способы восстановления синхронного режима.

### ***Тема 13 Переходные процессы в узлах нагрузки ЭЭС. Задачи исследования. Практические критерии для узлов комплексных нагрузок.***

Статические и динамические характеристики нагрузки. Уравнение движения и схема замещения асинхронного двигателя (АД). Практический критерий статической устойчивости АД. Изменение условий статической устойчивости АД при его работе от источника соизмеримой мощности. Лавина напряжения - причина возникновения и средства подавления. Статические характеристики и регулирующие эффекты мощности нагрузок по напряжению.

## **4.3. Практические занятия**

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Наименование практического занятия	Норматив времени, час.	
			Очная форма обучения	Заочная форма обучения
<b>6 семестр (ОФО), 7 семестр (ЗФО)</b>				
2	Переходный процесс при коротком замыкании в системе, питающейся от источника бесконечной мощности	Трехфазное короткое замыкание в точке системы, питающейся от источника бесконечной мощности	2	–
3	Переходные ЭДС и реактивные сопротивления синхронной машины	Начальный момент внезапного нарушения режима синхронной машины. Схемы замещения синхронной машины в переходном и сверхпереходном режимах.	2	–

		Уравнения электромагнитного переходного процесса синхронной машины. Преобразования уравнений и переход к машине с вращающейся обмоткой статора. Уравнения Парка-Горева.	2	–
	Рубежный контроль №1		2	–
5	Практические методы расчета переходного процесса короткого замыкания	Практические методы расчета периодической составляющей тока короткого замыкания.	2	2
6	Несимметричные режимы в системах электроснабжения	Параметры элементов для токов обратной и нулевой последовательностей. Расчет тока несимметричного короткого замыкания.	2	–
7	Особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения напряжением до 1 кВ	Расчет трехфазного и однофазного токов короткого замыкания в системе напряжением до 1 кВ.	2	–
	Рубежный контроль №2		2	–
		<b>Итого за 6 (7) семестр</b>	<b>16</b>	<b>2</b>
<b>7 семестр (ОФО)</b>				
10	Задачи и методы исследования статической устойчивости ЭЭС. Угловые характеристики мощности.	Угловые характеристики одномашиной системы, работающей на шины бесконечной мощности. Статическая устойчивость нерегулируемой системы при нагрузке, заданной постоянным сопротивлением или статическими характеристиками	2	–
	Рубежный контроль №1		2	–
11	Понятие динамической устойчивости. Способ площадей, допущения и область применения. Метод последовательных интервалов.	Расчет динамической устойчивости электропередачи с одним генератором, работающей на шины бесконечной мощности	2	–
	Рубежный контроль №2		2	–
		<b>Итого за 7 семестр</b>	<b>8</b>	<b>–</b>
		<b>Итого</b>	<b>24</b>	<b>2</b>

#### 4.4. Лабораторные занятия

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Наименование лабораторной работы	Норматив времени, час.	
			Очная форма обучения	Заочная форма обучения
2	Переходный процесс при коротком замыкании в системе, питающейся от источника бесконечной мощности	Расчет тока трёхфазного к.з. Изучение методики расчета токов к.з. на ПК в программе RastrWin. Расчет тока несимметричного к. з.	6 семестр	–
			4	
8	Схема замещения и векторная диаграмма синхронного генератора для анализа электромеханических переходных процессов (ЭМП).	Исследование системы работы генератора с сетью на ПК в программе RastrWin.	7 семестр	8 семестр
			4	4
11	Понятие динамической устойчивости.	Исследование динамической устойчивости синхронного генератора.	7 семестр	–
			4	
<b>Всего:</b>			<b>12</b>	<b>4</b>

#### 4.5. Курсовая работа

(для очной и заочной формы обучения)

Целью курсовой работы является расчет токов короткого замыкания, который необходим для выбора и проверки электрооборудования по условиям короткого замыкания; для выбора установок и оценки возможного действия релейной защиты и автоматики; для определения влияния токов нулевой последовательности линий электропередачи на линии связи; для выбора заземляющих устройств.

***Содержание и объем курсовой работы «Расчет токов короткого замыкания в системах электроснабжения» (все формы обучения)***

№	Наименование и содержание разделов курсовой работы	Объем расчетной и графической части	Процент выполнения
1	Составление и анализ расчетной схемы относительно точек короткого замыкания (к.з)	3...5с.	10%
2	Выбор метода расчета токов к.з. и определение параметров элементов расчетной		

	схемы при симметричном и несимметричном режимах.	10...15с.	30%
3	Определение начальных значений периодической составляющей тока к.з. при симметричном и несимметричном режимах.	10...15с.	30%
4	Определение значений ударных токов к.з. и периодической составляющей тока к.з. для заданного момента времени. Определение действующего значения аварийного тока.	3...5с.	20%
5	Анализ результатов и выводы. Оформление графической части в записке.	1...2с.	10%
	Всего	27...42с	100%

При выполнении курсовой работы, а также при проведении практических и лабораторных занятий используются комплексы программ MUSTANG, TKZ - 3000, RASTR и другие.

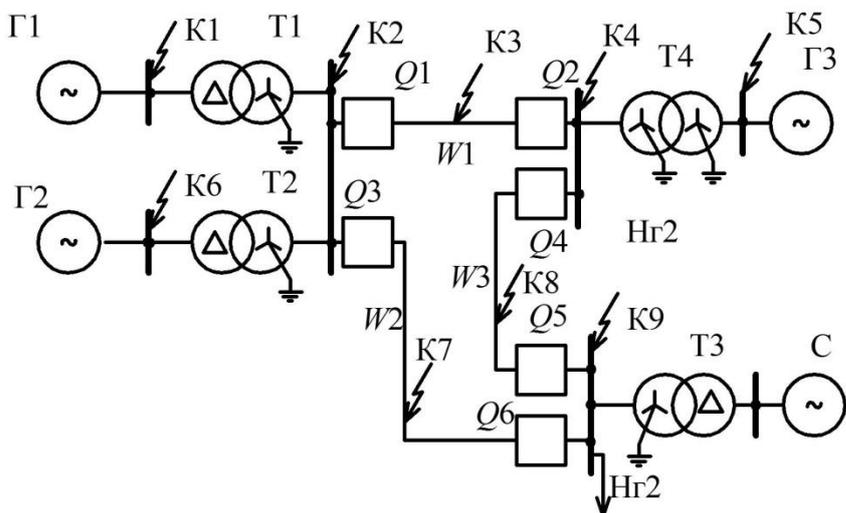
**Пример задания на курсовую работу по дисциплине: «Переходные процессы в электроэнергетических системах»**

Исходные данные:

Обозначение	Технические данные оборудования и линий электропередачи
ТГ1	$P_{\text{НОМ}} = 25 \text{ МВт}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; \cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,8; x''_{d*} = 0,13 \text{ о.е.}; x_{2*} = 0,159 \text{ о.е.}$
ТГ2	$P_{\text{НОМ}} = 160 \text{ МВт}; U_{\text{НОМ}} = 18 \text{ кВ}; \cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,85; x''_{d*} = 0,213 \text{ о.е.}; x_{2*} = 0,25 \text{ о.е.}$
ТГ3	$P_{\text{НОМ}} = 22 \text{ МВт}; U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}; \cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,8; x''_{d*} = 0,21 \text{ о.е.}; x_{2*} = 0,231 \text{ о.е.}$
Т1	$S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11,5 \%; k = 10,5/230 \text{ кВ}$
Т2	$S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 12,5 \%; k = 230/18 \text{ кВ}$
Т3	$S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11 \%; k = 121/242 \text{ кВ}$
Т4	$S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \%; k = 230/6,3 \text{ кВ}$
Л1-Л3	$L_1 = 200 \text{ км}; L_2 = 170 \text{ км}; L_3 = 110 \text{ км}$
Н1	$P_{\text{Н}} = 95 \text{ МВт}; \cos\varphi_{\text{Н}} = 0,77$
Н2	$P_{\text{Н}} = 74 \text{ МВт}; \cos\varphi_{\text{Н}} = 0,81$
С	$S_{\text{кз}} = 1000 \text{ МВ}\cdot\text{А}$

**Вариант задания № 6-7**

Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Точка к.з. и вид аварии	
Вкл.	Вкл.	Вкл.	Откл.	Откл.	Вкл.	К4 <sup>(3)</sup>	К4 <sup>(1)</sup>



В курсовой работе необходимо выполнить следующее:

- 1 – начертить расчетную схему согласно **своему** номеру задания;
- 2 – рассчитать аналитическим способом сверхпереходный и ударный ток трехфазного к.з., используя приближенное приведение параметров в именованных единицах;
- 3 – рассчитать аналитическим способом сверхпереходный и ударный токи заданного несимметричного к.з., построить векторные диаграммы токов и напряжений.

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При прослушивании лекций рекомендуется в конспекте отмечать все важные моменты, на которых заостряет внимание преподаватель, в частности те, которые направлены на качественное выполнение соответствующей лабораторной работы, практической работы.

Преподавателем запланировано использование при чтении лекций технологии учебной дискуссии. Поэтому рекомендуется фиксировать для себя интересные моменты с целью их активного обсуждения на дискуссии в конце лекции.

Залогом качественного выполнения лабораторных работ является самостоятельная подготовка к ним накануне путем повторения материалов лекций. Рекомендуется подготовить вопросы по неясным моментам и обсудить их с преподавателем в начале лабораторной работы.

Преподавателем запланировано применение на лабораторных занятиях технологий развивающейся кооперации, коллективного взаимодействия, разбора конкретных ситуаций. Поэтому приветствуется групповой метод выполнения лабораторных работ и защиты отчетов, а также взаимооценка и обсуждение результатов выполнения лабораторных работ.

Практические занятия по дисциплине посвящены решению задач.

Для текущего контроля успеваемости по очной форме обучения преподавателем используется балльно-рейтинговая система контроля и оценки акаде-

мической активности. Поэтому настоятельно рекомендуется тщательно прорабатывать материал дисциплины при самостоятельной работе, участвовать во всех формах обсуждения и взаимодействия, как на лекциях, так и на лабораторных занятиях в целях лучшего освоения материала и получения высокой оценки по результатам освоения дисциплины.

Выполнение самостоятельной работы подразумевает самостоятельное изучение разделов дисциплины, подготовку к лабораторным занятиям, к практическим занятиям, к рубежным контролям (для обучающихся очной формы обучения), выполнение курсовой работы, подготовку к экзамену.

Рекомендуемая трудоемкость самостоятельной работы представлена в таблице:

### Рекомендуемый режим самостоятельной работы

Наименование вида самостоятельной работы	Рекомендуемая трудоемкость, акад. час.	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
<b>Самостоятельное изучение тем дисциплины:</b>	<b>79</b>	<b>189</b>
Расчет токов к.з. методами типовых кривых когда: - расчетная схема представлена одним эквивалентным генератором. Учет удаленности точки к.з.; - расчетная схема представлена двухлучевой схемой типа «генератор-система» (Г-С); - когда расчетная схема представлена двухлучевой схемой типа «двигатель-система» (Д-С); - расчетная схема представлена несколькими генераторными ветвями, радиально связанными с местом к.з.;	10	27
Метод симметричных составляющих и его использование при анализе несимметричных режимов. Математическая модель для различных несимметричных режимов. Схемы замещения генераторов, трансформаторов, линий, нагрузки и реакторов в системах прямой, обратной и нулевой последовательности.	10	27
Уравнение движения ротора синхронного генератора. Постоянная инерции. Момент инерции. Маховой момент генератора и генераторного агрегата. Расчетная модель узла нагрузки для анализа статической устойчивости в виде постоянного сопротивления или статических характеристик мощности. Характеристики комплексной нагрузки. Характеристики механизмов.	12	27
Угловые характеристики мощности при сложной связи генератора и системы. Собственные и взаимные проводимости и сопротивления схемы замещения. Углы по-	12	27

терь собственного и взаимного сопротивлений.		
Идеальный и действительный пределы передаваемой мощности при одном и нескольких эквивалентных генераторах. Виды нарушения статической устойчивости: самовозбуждение, сползание и самораскачивание.	12	27
Метод малых колебаний при расчете статической устойчивости. Способы линеаризации уравнения движения ротора для его решения. Использование характеристического уравнения линеаризованной системы для суждения об устойчивости. Необходимое и достаточное условия.	12	27
Алгебраические критерии устойчивости линеаризованной системы. Критерии Рауса и Гурвица. Частотные критерии устойчивости линеаризованной системы. Критерий Найквиста и Михайлова.	11	27
<b>Подготовка к лабораторным занятиям</b> (по 2 часа на каждое занятие)	<b>12</b>	<b>4</b>
<b>Подготовка к практическим занятиям</b> (по 2 часа на каждое занятие)	<b>24</b>	<b>2</b>
<b>Подготовка к рубежным контролям</b> (по 2 часа на каждый рубеж)	<b>8</b>	<b>–</b>
<b>Выполнение курсовой работы</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>Подготовка к зачету</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>Подготовка к экзамену</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Всего:</b>	<b>204</b>	<b>276</b>

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 6.1. Перечень оценочных средств

1. Балльно-рейтинговая система контроля и оценки академической активности обучающихся в КГУ (для очной формы обучения).
2. Курсовая работа.
3. Отчеты обучающихся по лабораторным работам.
4. Банк задач для практических занятий.
5. Банк тестовых заданий к рубежным контролям № 1, № 2 (6 семестр) (для очной формы обучения).
6. Банк тестовых заданий к рубежным контролям № 1, № 2 (7 семестр) (для очной формы обучения).
7. Перечень вопросов к зачету.
8. Перечень вопросов к экзамену.

## 6.2. Система балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся по дисциплине

### Очная форма обучения

№	Наименование	Содержание						
1	Распределе-ние баллов за семестры по видам учебной работы, сроки сдачи учебной работы (доводятся до сведения обучающихся на первом учебном занятии)	Распределение баллов за 6 семестр						
		Вид УР:	Посеще-ние лек-ций	Выполне-ние и защи-та отчетов по лабора-торным работам	Работа на практических занятиях	Рубежный контроль №1	Рубежный контроль №2	Зачет
		Балльная оценка:	До 16	До 8	До 12	До 17	До 17	До 30
		Примечания:	8 лекций по 2 балла	До 8 баллов за 4-х часовую лабораторную работу, (1 л.р. 4-х часовая)	6 занятия по 0...2 балла (в зависимости от активности)	На 4 прак-тическом занятии	На по-следнем практиче-ском заня-тии	
		Распределение баллов за 7 семестр						
		Вид УР:	Посеще-ние лек-ций	Выполнение и защита отчетов по лаборатор-ным рабо-там	Работа на практических занятиях	Рубежный контроль №1	Рубежный контроль №2	Экзамен
		Балльная оценка:	До 16	До 16	До 8	До 15	До 15	До 30
		Примечания:	16 лек-ций по 1 баллу	До 8 баллов за 4-х часовую лабора-торную ра-боту, (2 л.р. 4-х часовых)	2 занятия по 0...4 балла (в зави-симости от активности)	На 2 прак-тическом занятии	На по-следнем практиче-ском заня-тии	
		Курсовая работа (6 семестр)						
		Объект оценки:	Качество поясни-тельной записки	Качество графиче-ской части	Качество доклада	Ритмич-ность вы-полнения	Качество защиты	Всего
Балльная оценка:	До 20	До 20	До 20	Коэффи-циент от 0,8 до 1,2	До 40	100		
2	Критерий пересчета баллов в традиционную оценку по итогам работы в семестре и зачета	60 и менее баллов – неудовлетворительно; 61...73 – удовлетворительно; 74... 90 – хорошо; 91...100 – отлично						

3	Критерии допуска к промежуточной аттестации, возможности получения автоматического зачета (экзаменационной оценки) по дисциплине, возможность получения бонусных баллов	<p>Для допуска к промежуточной аттестации по дисциплине за семестр обучающийся должен набрать по итогам текущего и рубежного контролей не менее 51 балла. В случае если обучающийся набрал менее 51 балла, то к аттестационным испытаниям он не допускается.</p> <p>Для получения экзамена или зачета без проведения процедуры промежуточной аттестации обучающемуся необходимо набрать в ходе текущего и рубежных контролей не менее 61 балла. В этом случае итог балльной оценки, получаемой обучающимся, определяется по количеству баллов, набранных им в ходе текущего и рубежных контролей. При этом, на усмотрение преподавателя, балльная оценка обучающегося может быть повышена за счет получения дополнительных баллов за академическую активность.</p> <p>Обучающийся, имеющий право на получение оценки без проведения процедуры промежуточной аттестации, может повысить ее путем сдачи аттестационного испытания. В случае получения обучающимся на аттестационном испытании 0 баллов итог балльной оценки по дисциплине не снижается.</p> <p>За академическую активность в ходе освоения дисциплины, участие в учебной, научно-исследовательской, спортивной, культурно-творческой и общественной деятельности обучающегося могут быть начислены дополнительные баллы. Максимальное количество дополнительных баллов за академическую активность составляет 30.</p> <p>Основанием для получения дополнительных баллов являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнение дополнительных заданий по дисциплине; дополнительные баллы начисляются преподавателем;</li> <li>- участие в течение семестра в учебной, научно-исследовательской, спортивной, культурно-творческой и общественной деятельности КГУ.</li> </ul>
4	Формы и виды учебной работы для неуспевающих (восстановившихся на курсе обучения) обучающихся для получения недостающих баллов в конце семестра	<p>В случае если к промежуточной аттестации (зачету, экзамену) набрана сумма менее 51 балла, обучающемуся необходимо набрать недостающее количество баллов за счет выполнения дополнительных заданий, до конца последней (зачетной) недели семестра.</p> <p>Ликвидация академических задолженностей, возникших из-за разности в учебных планах при переводе или восстановлении, проводится путем выполнения дополнительных заданий, форма и объем которых определяется преподавателем.</p>

5	Критерии оценки курсовой работы (проекта)	<p>По курсовой работе выставляется отдельная оценка. Максимальная сумма по курсовой работе устанавливается в 100 баллов.</p> <p>При оценке качества выполнения работы и уровня защиты рекомендуется следующее распределение баллов:</p> <p>а) качество пояснительной записки и графической части – до 40 баллов;</p> <p>б) качество доклада – до 20 баллов;</p> <p>в) качество защиты работы – до 40 баллов.</p> <p>При рассмотрении качества пояснительной записки и графической части работы принимается к сведению ритмичность выполнения работы, отсутствие ошибок, логичность и последовательность построения материала, правильность выполнения и полнота расчетов, соблюдение требований к оформлению и аккуратность исполнения работы.</p> <p>При оценке качества доклада учитывается уровень владения материалом, степень аргументированности, четкости, последовательности и правильности изложения материала, а также соблюдение регламентов.</p> <p>При оценке уровня качества ответов на вопросы принимается во внимание правильность, полнота и степень ориентированности в материале.</p> <p>Комиссия по приему защиты курсовой работы оценивает вышеуказанные составляющие компоненты и определяет итоговую оценку.</p>
---	---	---

### 6.3. Процедура оценивания результатов освоения дисциплины

Рубежный контроль проводится в форме письменного тестирования.

Перед проведением каждого рубежного контроля преподаватель прорабатывает с обучающимися основной материал соответствующих разделов дисциплины в форме краткой лекции-дискуссии.

Варианты тестовых заданий для рубежных контролей в 6 семестре состоят из 17 вопросов, в 7 семестре состоят из 15 вопросов.

На каждое тестирование при рубежном контроле обучающемуся отводится время не менее 20 минут

Преподаватель оценивает в баллах результаты тестирования каждого обучающегося по количеству правильных ответов и заносит в ведомость учета текущей успеваемости.

Зачет проводится по билетам. Билет для зачета состоит из вопроса, на который обучающийся дает развернутый ответ. За правильный ответ на вопрос обучающийся максимально может получить 30 баллов. Время, отводимое обучающемуся у на билет для зачета, составляет 0,25 астрономического часа.

Экзамен проводится по билетам. Экзаменационный билет состоит из 2 вопросов, на которые обучающийся дает развернутый ответ. За правильный ответ на каждый вопрос обучающийся максимально может получить 15 баллов. Время, отводимое обучающемуся на экзаменационный билет, составляет 0,5 астрономического часа.

Результаты текущего контроля успеваемости экзамена (зачета) заносятся преподавателем в экзаменационную (зачетную) ведомость, которая сдается в

организационный отдел института в день экзамена (зачета), а также выставляются в зачетную книжку обучающегося.

#### **6.4. Примеры оценочных средств для рубежных контролей, зачета и экзамена**

**Рубежный контроль 1** состоит из теоретического вопроса, на который обучающийся дает развернутый ответ.

##### **Примерный перечень вопросов к рубежному контролю №1 (6 семестр):**

1. Дать определение терминам:
  - энергетическая система (энергосистема);
  - электроэнергетическая система;
  - единая энергетическая система;
  - межсистемная связь;
  - электростанция.

2. На что расходуется энергия, выделяемая в проводнике во время неустановившегося теплового процесса в аварийном режиме работы электроустановки?

3. Охарактеризуйте одноцепный режим сдвоенного реактора.

4. Выбор и проверка реакторов (сдвоенные бетонные реакторы при продольном режиме). Их параметры.

5. Выбор и проверка реакторов (сдвоенные бетонные реакторы) при сквозном режиме.

6. Пояснить противоречие в конструкции одиночного реактора между желаемым повышением сопротивления по условиям ограничения тока к.з. и пределом в величине этого сопротивления из условий допустимого падения напряжения на реакторе. Особенности сдвоенного реактора.

7. Каким образом находят электродинамическое усилие, возникающее в каждом проводнике с током, находящимся в магнитном поле (проводники расположены параллельно)?

##### **Примеры тестовых заданий для рубежного контроля №2 (6 семестр):**

**Задание 1.** Расчетным видом к. з. при проверке электрических аппаратов и жестких проводников на электродинамическую стойкость является...

Варианты ответов:

- 1)  $K^{(2)}$ ;                      2)  $K^{(3)}$ ;                      3)  $K^{(1)}$ ;                      4)  $K^{(3)}$  или  $K^{(1)}$ .

**Задание 2.** Чем характеризуется двухфазное короткое замыкание фаз В, С?

Варианты ответов:

- 1) Снижение  $U$  в фазах А, В, С и увеличение  $I$  в фазах А, В, С.
- 2) Снижение  $U$  в фазах А, В и увеличение  $I$  в фазах В, С.
- 3) Снижение  $U$  в фазах В, С и увеличение  $I$  в фазах В, С.
- 4) Снижение  $U$  в фазах А, С и увеличение  $I$  в фазах А, С.

**Задание 3.** Для трехфазного трансформатора с параметрами  $S_n = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ,  $u_k = 5\%$ ,  $10/0.4 \text{ кВ}$  его сопротивление на высшем напряжении равно:

Варианты ответов 1) 0,5 Ом; 2) 20 Ом; 3) 5 Ом; 4)  $5\sqrt{3}$  Ом.

**Задание 4.** За трансформатором, подключенным к шинам бесконечной мощности, произошло двухфазное короткое замыкание. При этом установившийся ток короткого замыкания оказался равным  $4I_n$ . Найти напряжение короткого замыкания этого трансформатора.

Варианты ответов: 1) 12,5%; 2) 10,5%; 3) 11%; 4) 15%.

**Задание 5.** В предварительно ненагруженной цепи, питающейся от шин бесконечной мощности, произошло короткое замыкание. Оказалось, что мгновенное значение периодической составляющей тока короткого замыкания описывается выражением  $i_n = 1000 \sin \omega t$ . Найти ударный коэффициент короткозамкнутой цепи.

Варианты ответов: 1)  $K_y = 0$ ; 2)  $K_y = 1$ ; 3)  $K_y = \sqrt{2}$ ; 4)  $K_y = 2$ .

**Задание 6.** В трехфазной системе  $\dot{U}_A = 100 \text{ кВ}$ ,  $\dot{U}_B = \dot{U}_C = -50 \text{ кВ}$ . Чему равен угол между векторами токов фаз В и С?

Варианты ответов: 1) 0; 2)  $\frac{\pi}{3}$ ; 3)  $\pi$ ; 4)  $\frac{2\pi}{3}$ .

**Задание 7.** В фазе С вторичной обмотки силового трансформатора  $Y_0/\Delta-11$ , соединенной по схеме звезды с заземленной нейтралью, произошло однофазное короткое замыкание. Тогда линейные токи на стороне обмотки, соединенной в треугольник, будут равны:

Варианты ответов: 1)  $\dot{I}_A = -\dot{I}_B$ ; 2)  $\dot{I}_B = -\dot{I}_C$ ; 3)  $\dot{I}_A = \dot{I}_B$ ; 4) 0.

**Задание 8.** Величина относительной переходной ЭДС  $E'_{q0}$  синхронной машины с параметрами  $X_d = 2$ ;  $X'_d = 0,5$ ;  $\cos \varphi = 0,8$ , работающей в номинальном режиме на систему бесконечной мощности, будет равна:

Варианты ответов:

1)  $E'_{q0} = 2,72$ ; 2)  $E'_{q0} = 1,36$ ; 3)  $E'_{q0} = 1,0$ ; 4)  $E'_{q0} = 1,29$ .

**Задание 9.** На зажимах локальной системы электроснабжения известны линейные напряжения:

$\dot{U}_{AB} = 100 \text{ В}$ ;  $\dot{U}_{BC} = j100 \text{ В}$ ;  $\dot{U}_{CA} = 141 e^{-j45^\circ} \text{ В}$ . Симметричная составляющая напряжения нулевой последовательности этой системы равна...

1)  $\dot{U}_0 = 0$ ; 2)  $\dot{U}_0 = 300 \text{ В}$ ; 3)  $\dot{U}_0 = j100 \text{ В}$ ; 4)  $\dot{U}_0 = 100 - j100 \text{ В}$ .

### Примеры тестовых заданий для рубежного контроля №1 (7 семестр)

**1. Что понимают под нарушением устойчивости электроэнергетической системы?**

- 1) Нарушение синхронной работы генераторов электростанций и/или "опрокидывание" двигателей узлов нагрузки в течение длительного времени.
- 2) Изменение угла нагрузки генераторов электростанции и изменение механической нагрузки асинхронных двигателей.
- 3) Изменение угла нагрузки генераторов электростанции и/или пусковые режимы асинхронных двигателей.
- 4) Нарушение синхронной работы генераторов электростанций и пусковые режимы асинхронных двигателей.

**2. Какова величина по нормам запаса статической устойчивости по мощности (для электропередачи) в нормальном режиме?**

- 1) 28%;
- 2) 8%;
- 3) 20%;
- 4) 15%.

**3. Какую зависимость называют угловой характеристикой мощности?**

- 1) Зависимость полной мощности от угла  $\delta$  между векторами напряжения на шинах приёмной системы и ЭДС синхронной машины.
- 2) Зависимость активной мощности от угла  $\delta$  между векторами напряжения на шинах приёмной системы и ЭДС синхронной машины.
- 3) Зависимость тока возбуждения от угла  $\delta$  между векторами напряжения на шинах приёмной системы и ЭДС синхронной машины.
- 4) Зависимость основной ЭДС от угла  $\delta$  между векторами напряжения на шинах приёмной системы и ЭДС синхронной машины.

**4. Какова величина по нормам запаса статической устойчивости по мощности (для электропередачи) в послеаварийном режиме?**

- 1) 28%;
- 2) 8%;
- 3) 20%;
- 4) 15%.

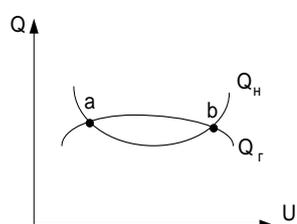
**5. Как зависит от частоты вращения (скольжения) момент сопротивления механизма, имеющего вентиляторную характеристику?**

- 1) Момент сопротивления не зависит от скорости вращения.
- 2) Момент сопротивления зависит от скорости вращения линейно.
- 3) Момент сопротивления зависит от скорости вращения во второй степени.
- 4) Момент сопротивления зависит от скорости вращения обратно пропорционально.

**6. Какова величина по нормам запаса статической устойчивости по напряжению (для узлов нагрузки) в нормальном режиме?**

- 1) 28%;
- 2) 8%;
- 3) 20%;
- 4) 15%.

**7. На рисунке приведены характеристики реактивной мощности: нагрузки  $Q_n = f(U)$  и генератора  $Q_g = f(U)$ . Оценить режим работы в точках пересечения характеристик.**



Варианты ответов:

- 1) устойчив в обеих точках;
- 2) неустойчив в обеих точках;
- 3) устойчив только в точке  $a$ ;

4) устойчив только в точке b.

**8. К универсальному критерию устойчивости любой системы относится:**

1)  $\frac{dP}{d\delta} > 0$ ; 2)  $\frac{dQ}{dE_s} = -\infty$ ; 3)  $\frac{dP}{ds} = 0$ ; 4)  $\frac{d\Delta W_{r\bar{\Sigma}}}{d\delta} < 0$ .

**Примеры тестовых заданий для рубежного контроля №2 (7 семестр)**

**1. Как учитывается в расчётах наличие на синхронной машине автоматического регулятора возбуждения пропорционального действия (АРВ-ПД)?**

- 1) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за сверхпереходным сопротивлением  $X''_d$ .
- 2) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за установившимся сопротивлением  $X_d$ .
- 3) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за переходным сопротивлением  $X'_d$ .
- 4) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за нулевым сопротивлением.

**2. Какова величина по нормам запаса статической устойчивости по напряжению (для узлов нагрузки) в послеаварийном режиме?**

- 1) 28%; 2) 8%; 3) 20%; 4) 10%; 5) 15%.

**3. Как учитывается в расчётах наличие на синхронной машине автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ-СД)?**

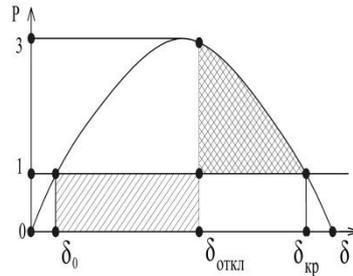
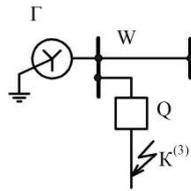
- 1) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за переходным сопротивлением  $X'_d$ .
- 2) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством напряжения на её выводах.
- 3) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за сверхпереходным сопротивлением  $X''_d$ .
- 4) В схеме замещения синхронная машина с АРВ представлена постоянством ЭДС за установившимся сопротивлением  $X_d$ .

**4. Когда предел передаваемой мощности в простейшей электрической системе наибольший?**

- 1) При установке на генераторах АРВ-СД, поддерживающих напряжение за трансформатором связи с системой.
- 2) При установке на генераторах АРВ-ПД, поддерживающих напряжение за генератором.
- 3) При отсутствии у генераторов системы АРВ.
- 4) При работе генератора на асинхронную нагрузку.

**5. Определить, сохранится ли динамическая устойчивость электрической системы, имеющей характеристику мощности  $P(\delta)$ , показанную на рисунке,**

если РЗ отключит поврежденный участок через  $t=0,3$  с. Известно:  $P_{0*}=1,0$  о.е.;  
 $P_{\text{макс}*}=3,0$  о.е.;  
 $T_j=10$  с.



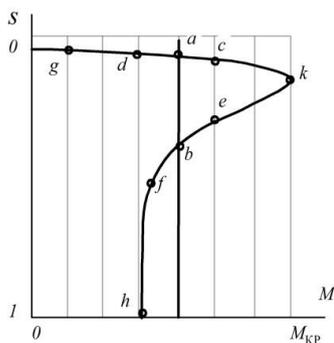
### 6. Если мощность генератора больше мощности турбины, то...

- 1) на валу системы турбина-генератор возникает избыточный ускоряющий момент;
- 2) напряжение генератора повышается;
- 3) сопротивление генератора уменьшается;
- 4) на валу системы турбина-генератор возникает избыточный тормозящий момент.

### 7. Величина пускового электромагнитного момента двигателя пропорциональна...

- 1) Напряжению на зажимах двигателя.
- 2) Квадрату частоты сети.
- 3) Квадрату напряжения на зажимах двигателя.
- 4) Частоте сети.
- 5) Пусковому току

### 8. Асинхронный двигатель из режима с на механической характеристике переместится в ...



- 1) точку  $e$ ;
- 2) точку  $b$ ;
- 3) точку  $f$ ;
- 4) точку  $a$ ;
- 5) точку  $k$ .

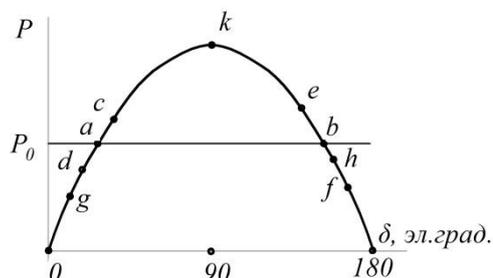
### 9. Какое напряжение при работе двигателя называют "критическим"?

- 1) Напряжение, при котором максимальный момент, развиваемый двигателем, равен моменту сопротивления механизма.
- 2) Напряжение, при котором максимальный момент, развиваемый двигателем, больше момента сопротивления механизма.

- 3) Напряжение, при котором максимальный момент, развиваемый двигателем, меньше момента сопротивления механизма.
- 4) Напряжение, при котором максимальный момент, развиваемый двигателем, равен номинальному.

### 10. Синхронный генератор из режима «с» на угловой характеристике переместится ...

- 1) в точку «e»;
- 2) в точку «k»;
- 3) в точку «b»;
- 4) в точку «a»;
- 5) в точку «f».



### Примерный перечень вопросов к зачету

1. Основные сведения об электромагнитных переходных процессах в СЭС. Виды к.з. и виды несимметрии.
2. Причины возникновения переходных процессов и их следствия (обрывы фазы трёхфазной сети, глубокое снижение напряжения и пр.).
3. Назначение расчетов переходных процессов (ПП) и требования к ним. Основные допущения при расчетах ПП.
4. Система относительных единиц. Базисные величины:  $S_B$ ,  $U_B$ ,  $I_B$ ,  $Z_B$ .
5. Трёхфазное к.з. в простейшей системе бесконечной мощности. Начальное значение периодической составляющей тока к.з.  $I_{п.о.}$
6. Периодическая и аperiodическая составляющие тока к.з.
7. Ударный ток и ударный коэффициент, расчетные условия при его определении. Конечное значение периодической и аperiodической составляющих тока к.з.
8. Расчетная схема и выбор расчетной точки к.з.
9. Особенности составления схемы замещения при наличии трансформаторов. Точное и приближенное приведение.
10. Приведение к базисным условиям сопротивлений генераторов, линий электропередачи, реакторов при приближенном приведении.
11. Приведение к базисным условиям сопротивлений генераторов, линий электропередачи, реакторов при точном приведении.
12. Характеристики трехфазных синхронных генераторов. Реакция якоря.
13. Уравнение электрического состояния фазы статора СГ с учетом реакции якоря. Схема замещения и векторная диаграмма при автономной активно-индуктивной нагрузке. Внешняя характеристика СГ.
14. Электромагнитная мощность синхронного генератора. U-образные характеристики. Векторная диаграмма СГ. Регулирование реактивной мощности.
15. Характеристика короткого замыкания синхронного генератора. Отношение короткого замыкания (ОКЗ) для СГ.

16. Система дифференциальных уравнений в фазных координатах с демпферными обмотками и без них, описывающая переходные процессы в синхронной машине.
17. Обобщенный вектор трехфазной системы и трехосная система координат для описания переходных процессов в синхронной машине.
18. Уравнения переходных процессов в двухосной системе координат  $d$ - $q$ , связанной с ротором машины.
19. Представление обобщенного вектора магнитного потока в двухосной системе  $d$ ,  $q$ , 0. Уравнения Горева-Парка.
20. Постоянные времени синхронной машины и магнитные потоки, которые их характеризуют.
21. Переходная ЭДС  $E'_q$  и переходное индуктивное сопротивление  $X'_d$  синхронной машины.
22. Баланс магнитных потоков по продольной оси  $d$ - $d$  в режимах к.з. (начальный момент и установившийся режим к.з.). Схема замещения СМ в переходном режиме.
23. Векторная диаграмма СГ в нормальном режиме для определения переходной ЭДС  $E'_{q101}$ .
24. Сверхпереходная ЭДС  $E''_q$  и сверхпереходное индуктивное сопротивление  $X''_d$  синхронной машины. Схема замещения в сверхпереходном режиме к.з.
25. Векторная диаграмма СГ в нормальном режиме для определения сверхпереходной ЭДС  $E''_{q101}$ .
26. Способы упрощения схем замещения. Учет нагрузки в начальный момент к.з.
27. Расчет токов к.з. методом типовых кривых для случая, когда расчетная схема представлена одним эквивалентным генератором. Учет удаленности точки к.з.
28. Расчет токов к.з. методом типовых кривых для случая, когда расчетная схема представлена двухлучевой схемой типа «генератор-система» (Г-С).
29. Расчет токов к.з. методом типовых кривых для случая, когда расчетная схема представлена двухлучевой схемой типа «двигатель-система» (Д-С).
30. Расчет токов к.з. методом типовых кривых для случая, когда расчетная схема представлена несколькими генераторными ветвями, радиально связанными с местом к.з.
31. Влияние автоматического регулирования возбуждения на установившийся режим к.з. Режим нормального напряжения и режим предельного возбуждения. Критическое сопротивление. Влияние нагрузки на процесс к.з.
32. Метод симметричных составляющих и его использование при анализе несимметричных режимов.
33. Математическая модель для различных несимметричных режимов.
34. Правило эквивалентности прямой последовательности и его использование при анализе несимметричных КЗ.
35. Однофазное КЗ.
36. Двухфазное КЗ.
37. Двухфазное КЗ на землю.

38. Схемы замещения генераторов в системах прямой, обратной и нулевой последовательности.
39. Схемы замещения трансформаторов и линий в системах прямой, обратной и нулевой последовательности.
40. Схемы замещения нагрузки и реакторов в системах прямой, обратной и нулевой последовательности.
41. Распределение токов и напряжений по схеме при различных видах несимметричных к.з.
42. Замыкание на землю в сетях без глухого замыкания нейтралей трансформаторов на землю. Уменьшение тока замыкания.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Электромеханические переходные процессы. Основные понятия. Понятия статической и динамической устойчивости. Коэффициенты запаса.
2. Статическая устойчивость простейшей одномашиной системы электроснабжения. Векторная диаграмма.
3. Угловые характеристики мощности неявнополюсного и явнополюсного генераторов без АРВ. Влияние явнополюсности генератора на характеристику мощности
4. Критерий статической устойчивости электрической системы.
5. Угловые характеристики мощности синхронного генератора с АРВ. Влияние АРВ генератора на предел передаваемой мощности.
6. Уравнение движения ротора синхронного генератора. Постоянная инерции. Момент инерции. Маховой момент генератора и генераторного агрегата.
7. Угловые характеристики мощности при сложной связи генератора и системы. Собственные и взаимные проводимости и сопротивления схемы замещения. Углы потерь собственного и взаимного сопротивлений.
8. Идеальный и действительный пределы передаваемой мощности при одном и нескольких эквивалентных генераторах.
9. Расчет собственных и взаимных сопротивлений при наличии нагрузки.
10. Расчетная модель узла нагрузки для анализа статической устойчивости в виде постоянного сопротивления или статических характеристик мощности. Характеристики комплексной нагрузки. Характеристики механизмов.
11. Виды нарушения статической устойчивости: самовозбуждение, сползание и самораскачивание.
12. Метод малых колебаний при расчете статической устойчивости. Способы линеаризации уравнения движения ротора для его решения.
13. Использование характеристического уравнения линеаризованной системы для суждения об устойчивости. Необходимое и достаточное условия.
14. Алгебраические критерии устойчивости линеаризованной системы. Критерии Рауса и Гурвица.
15. Частотные критерии устойчивости линеаризованной системы. Критерий Найквиста и Михайлова.

16. Статическая устойчивость двигательной нагрузки (асинхронной и синхронной). Регулирующий эффект нагрузки. Критическое напряжение. Лавина напряжения.

17. Динамическая устойчивость. Анализ динамической устойчивости простейшей системы графическим методом (метод площадей).

18. Динамическая устойчивость генератора при внезапном отключении линии или несимметричном к.з. на линии.

19. Предельный и критический углы отключения при несимметричном к.з. на линии.

20. Графический метод при анализе динамической устойчивости генератора при трехфазном к.з. в начале линии, набросе нагрузки синхронного двигателя.

21. Решение уравнения движения ротора генератора методом последовательных интервалов.

22. Пуск электродвигателей. Способы пуска.

23. Динамическая устойчивость двигательной нагрузки, заданной эквивалентным асинхронным двигателем.

24. Самозапуск двигателей. Условия самозапуска.

## **6.5. Фонд оценочных средств**

Полный банк заданий для текущего, рубежных контролей и промежуточной аттестации по дисциплине, показатели, критерии, шкалы оценивания компетенций, методические материалы, определяющие процедуры оценивания образовательных результатов, приведены в учебно-методическом комплексе дисциплины.

## **7. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **7.1. Основная учебная литература**

1. Переходные процессы в электроэнергетических системах: Учебник для вузов/И.П. Крючков, В.А. Старшинов и др. Под ред. И.П.Крючкова. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 416с.

2. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 283 с.

3. Расчёт коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие /И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев и др.-2-е изд.- М.:АКАДЕМИЯ, 2006. – 416 с.

4. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования./Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 152 с.

### **7.2. Дополнительная учебная литература**

1. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. – М.: Энергия, 1969. – 456с.

2. Авербух А.М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979.-235с.
3. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях./ Под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергия, 1967. – 456с.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.
5. Переходные процессы в СЭС / В.Н. Винославский и др. – Киев: Вища школа, 1989. – 422с.
6. Ульянов С.А, Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 517с.
7. Руководящие указания по расчету токов коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания. 1-я редакция. – М.: МЭИ, 1975. – 331 с.
8. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1985.-236с.
9. Столбов Ю.А. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения: Учебное пособие с примерами и иллюстрациями. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – 251 с.
10. Мошкин В.И., Афтаев В.И., Шестаков Д.Н., Данилов А.А., Об установке генераторных выключателей в блоках электростанций при их модернизации. Вестник Курганского государственного университета. Вып. 5.- Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – С 11-14.
11. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ - М.: Изд-во стандартов, 1988.- 40 с.
12. Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. – М.: Академия, 2014. – 192 с.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

1. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Методические указания к практическим занятиям./Сост. Мошкин В.И.– Курган: Изд-во Кург. гос. ун-та, 2016.– 64с.
2. Расчет токов короткого замыкания. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для обучающихся спец. «Электроснабжение». Сост. Мошкин В.И. – Курган: Изд-во Кург. гос. университета, 2016. – 39 с.
5. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Методические указания к практическим занятиям./Сост. Мошкин В.И.– Курган: Изд-во, Кург. гос. ун-та, 2016.–32 с.
6. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Методические указания к лабораторным занятиям / Сост. Мошкин В.И.– Курган: Изд-во Кург. гос. ун-та, 2016.– 20 с.
7. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических си-

стемах. Методические указания к контрольной работе / Сост. Мошкин В.И.– Курган: Изд-во, Кург. гос. ун-та, 2016.– 28 с.

## **9. РЕСУРСЫ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Система дистанционного обучения «Moodle»;
2. Платформа для собраний, чатов, звонков и совместной работы Microsoft Teams.
3. <http://electricalschool.info/material/> - Школа для электрика (статьи и схемы).
4. <http://electrichelp.ru/elektrotexnicheskie-materialy/> - Информационный проект для специалистов энергетических служб и обучающихся.

## **10. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. ЭБС «Лань»
2. ЭБС «Консультант студента»
3. ЭБС «Znanium.com»
4. «Гарант» - справочно-правовая система

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

Материально-техническое обеспечение по реализации дисциплины осуществляется в соответствии с требованиями ФГОС ВО по данной образовательной программе.

## **12. ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (далее ЭО и ДОТ) занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн. Объем дисциплины и распределение нагрузки по видам работ соответствует п. 4.1. Распределение баллов соответствует п. 6.2 либо может быть изменено в соответствии с решением кафедры, в случае перехода на ЭО и ДОТ в процессе обучения. Решение кафедры об используемых технологиях и системе оценивания достижений обучающихся принимается с учетом мнения ведущего преподавателя и доводится до обучающихся.

Аннотация к рабочей программе дисциплины  
**«Переходные процессы в электроэнергетических системах»**

образовательной программы высшего образования –  
программы бакалавриата

**13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника**

Направленность:  
**Электроснабжение**

Трудоемкость дисциплины: 8 ЗЕ (288 академических часа)

Семестр: 6, 7 (очная форма обучения), 7, 8 (заочная форма обучения)

Форма промежуточной аттестации: зачет, экзамен.

Содержание дисциплины

Расчет сопротивлений и ЭДС элементов энергосистемы электроснабжения. Составление и преобразование схем замещения, расчеты тока к.з. в именованных и относительных единицах. Ударный ток, порядок его расчета, определение активных сопротивлений элементов. Начальный момент внезапного нарушения режима синхронной машины. Понятие переходных и сверхпереходных ЭДС и реактивных сопротивлений генератора. Электромагнитный переходный процесс синхронного генератора. Составляющие переходного тока синхронного генератора. Влияние на переходный процесс апериодической составляющей тока к.з. Метод типовых кривых. Расчёт тока к.з. на ПК. Расчет тока для проверки выключателя по отключающей способности. Параметры элементов энергосистемы и схемы замещения для токов разных последовательностей. Однократная поперечная не симметрия. Правило эквивалентности прямой последовательности. Практический расчёт несимметричных к.з. Определение фазных величин в любой точке сети при несимметричном повреждении в другой. Однократная продольная несимметрия. Электромагнитные переходные процессы в распределительных сетях и системах электроснабжения.

Статическая и динамическая устойчивость энергосистем; процессы в узлах нагрузки, в том числе и асинхронной, при больших и малых возмущениях; критерии устойчивости и её оценка.

**ЛИСТ**  
**регистрации изменений (дополнений) в рабочую программу**  
**учебной дисциплины**  
**«Переходные процессы в электроэнергетических системах»**

**Изменения / дополнения в рабочую программу**  
**на 20\_\_ / 20\_\_ учебный год:**

---

---

---

---

---

---

Ответственный преподаватель \_\_\_\_\_ / Ф.И.О. \_\_\_\_\_ /

Изменения утверждены на заседании кафедры «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
Протокол № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Изменения / дополнения в рабочую программу**  
**на 20\_\_ / 20\_\_ учебный год:**

---

---

---

---

---

---

Ответственный преподаватель \_\_\_\_\_ / Ф.И.О. \_\_\_\_\_ /

Изменения утверждены на заседании кафедры «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
Протокол № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.