

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор/Декан  
института механики и энергетики  
Мастепаненко Максим Алексеевич

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ)**

**Б1.В.06** Переходные процессы в электроэнергетических системах

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Системы электроснабжения городов, промышленных предприятий, сельского хозяйства и их объектов

бакалавр

очная

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным темам исследований	ПК-1.1 Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний	<b>знает</b> цели и задачи проводимых исследований и разработок
		<b>умеет</b> применять нормативную документацию в соответствующей области знаний
		<b>владеет навыками</b> Навыками сбора, обработки, анализа и обобщения передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований
ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным темам исследований	ПК-1.2 Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок в соответствующей области знаний	<b>знает</b> Отечественный и международный опыт в соответствующей области исследований
		<b>умеет</b> применять методы проведения экспериментов
		<b>владеет навыками</b> навыками проведения экспериментов в соответствии с установленными полномочиями
ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным темам исследований	ПК-1.3 Подготовка элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ в соответствующей области знаний	<b>знает</b> методы и средства планирования и организации научных исследований и опытно-конструкторских разработок
		<b>умеет</b> оформлять проекты календарных планов и программ проведения отдельных элементов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
		<b>владеет навыками</b> Навыками разработки проектов календарных планов и программ проведения отдельных элементов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
ПК-2 Способен участвовать в разработке проекта и/или части проекта системы	ПК-2.1 Предпроектное обследование	<b>знает</b> особенности переходных процессов при различных схемах систем электроснабжения объектов капитального строительства

электрообеспечения объектов	ПД	объекта капитального строительства, для которого предназначена система электрообеспечения	<b>умеет</b> Осуществлять сбор, обработку и анализ справочной и реферативной информации по объекту капитального строительства, для которого предназначена система электрообеспечения
			<b>владеет навыками</b> Навыками подготовки материалов для отчета по результатам обследования объекта капитального строительства, для которого предназначена система электрообеспечения
ПК-2 Способен участвовать в разработке проекта и/или части проекта системы электрообеспечения объектов ПД	ПК-2.2 Подготовка к выпуску проектной документации системы электрообеспечения объектов капитального строительства	<b>знает</b> методики расчета переходных процессов для целей проектирования системы электрообеспечения объекта капитального строительства	
		<b>умеет</b> выполнять расчеты для разработки комплекта конструкторской документации для отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электрообеспечения объектов капитального строительства	
		<b>владеет навыками</b> навыками выбора оборудования для отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электрообеспечения объектов капитального строительства	
ПК-2 Способен участвовать в разработке проекта и/или части проекта системы электрообеспечения объектов ПД	ПК-2.3 Разработка концепции системы электрообеспечения объекта ПД	<b>знает</b> правила проектирования системы электрообеспечения объекта капитального строительства	
		<b>умеет</b> проводить технико-экономическое сравнение вариантов реализации систем электрообеспечения	
		<b>владеет навыками</b> навыками реализации технико-экономического сравнения вариантов реализации систем электрообеспечения	
ПК-2 Способен участвовать в разработке проекта и/или части проекта системы электрообеспечения объектов ПД	ПК-2.4 Разработка проектной и рабочей документации проекта системы электрообеспечения объектов ПД	<b>знает</b> Типовые проектные решения системы электрообеспечения объекта капитального строительства	
		<b>умеет</b> составлять и рассчитывать параметры схем замещения	
		<b>владеет навыками</b> Разработка пояснительной записки на различных стадиях проектирования системы электрообеспечения объектов капитального строительства	

## 2. Перечень оценочных средств по дисциплине

№	Наименование раздела/темы	Семестр	Код индикаторов достижения компетенций	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций
1.	1 раздел. Переходные процессы в электроэнергетических системах			
1.1.	Основные понятия и определения	6	ПК-1.1	Устный опрос
1.2.	Переходный процесс в электроэнергетической системе при трёхфазном коротком замыкании	6	ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2	Устный опрос, Задачи
1.3.	Электромагнитные переходные процессы при нарушении симметрии трехфазной цепи	6	ПК-1.3, ПК-2.3, ПК-2.4	Устный опрос, Задачи
1.4.	Переходный процесс при замыканиях в распределительных сетях и системах электроснабжения	6	ПК-2.1, ПК-2.2	Устный опрос, Задачи
1.5.	Начальный момент внезапного нарушения режима	6	ПК-1.3	Устный опрос, Задачи
1.6.	Экзамен	6	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4	
	Промежуточная аттестация			Эж

## 3. Оценочные средства (оценочные материалы)

Примерный перечень оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде (Оценочные материалы)
<b>Текущий контроль</b>			
<b>Для оценки знаний</b>			
1	Устный опрос	Средство контроля знаний студентов, способствующее установлению непосредственного контакта между преподавателем и студентом, в процессе которого преподаватель получает широкие возможности для изучения индивидуальных особенностей усвоения студентами учебного материала.	Перечень вопросов для устного опроса

Для оценки умений			
Для оценки навыков			
Промежуточная аттестация			
2	Курсовые работы (проектов)	Вид самостоятельной письменной работы, направленный на творческое освоение общепрофессиональных и профильных профессиональных дисциплин (модулей) и выработку соответствующих профессиональных компетенций. При написании курсовой работы студент должен полностью раскрыть выбранную тему, соблюсти логику изложения материала, показать умение делать обобщения и выводы.	Перечень тем курсовых работ (проектов)
3	Экзамен	Средство контроля усвоения учебного материала и формирования компетенций, организованное в виде беседы по билетам с целью проверки степени и качества усвоения изучаемого материала, определить необходимость введения изменений в содержание и методы обучения.	Комплект экзаменационных билетов

**4. Примерный фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) "Переходные процессы в электроэнергетических системах"**

***Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости***

***Примерные оценочные материалы  
для проведения промежуточной аттестации (зачет, экзамен)  
по итогам освоения дисциплины (модуля)***

Вопросы для устного опроса

Контрольная точка №1

1. Перечислите основные причины возникновения переходных процессов в ЭЭС.
2. Когда возможен расчет только электромагнитных переходных процессов?
3. Из каких устройств состоит ЭЭС?
4. Что такое параметры режима и параметры ЭЭС?
5. Какие виды режимов и переходных процессов имеют место в ЭЭС?
6. Назовите причины возникновения электромагнитных переходных процессов.
7. Что называют коротким замыканием?
8. Каковы системы токов и напряжений, применяемых в ЭЭС?

9. Перечислите стандартные классы и средние значения напряжений в ЭЭС.
10. Каковы причины возникновения переходных процессов?
11. Каковы последствия КЗ в ЭЭС?
12. Каковы основные виды КЗ в ЭЭС?
13. Какие виды КЗ наиболее вероятны в ЭЭС?
14. По каким признакам КЗ подразделяются на удаленные и не удаленные?
15. Как влияют устройства АВР генераторов на протекание переходного процесса в ЭЭС?
16. Какую трёхфазную сеть называют простейшей?
17. Как определяется начальное значение периодической составляющей тока КЗ?
18. При каких условиях полный ток КЗ в простейшей цепи будет иметь максимальное значение?
19. Что такое ударный ток?
20. В каких пределах изменяется величина ударного коэффициента и от чего она зависит?
21. Каков характер протекания переходного процесса в зависимости от величины постоянной времени затухания?
22. Как аналитически и графически определяется постоянная времени затухания?
23. Как определяется действующее значение полного тока КЗ и его составляющих?
24. Что понимают под расчетом электромагнитного переходного процесса?
25. Какие задачи решаются благодаря расчёту электромагнитного переходного процесса?
26. Какие условия и основные допущения принимают при расчётах КЗ?
27. Назовите основные этапы расчёта электромагнитных переходных процессов?
28. В чём заключается выбор расчетных условий?
29. Как составляется расчётная схема?
30. Какие параметры элементов СЭС необходимы для расчёта переходных процессов?
31. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения ЭЭС?
32. Зависит ли результат расчёта токов КЗ от выбора базисных условий?
33. На чём основаны точное и приближённое приведения сопротивлений элементов короткозамкнутой цепи (генераторов, трансформаторов, ЛЭП и ректоров) в схемах замещения?

#### Контрольная точка №2

1. Какие виды заземлений имеют место в СЭС?
2. Что такое коэффициент эффективности заземления нейтрали?
3. Чем обусловлено смещение нейтрали в сетях с незаземлёнными нейтралью?
4. Как определяются напряжения фаз относительно земли при замыкании одной фазы на землю в сети с незаземлённой нейтралью при и ?
5. Как определить ток замыкания на землю в сети с незаземлённой нейтралью?
6. Поясните характер протекания переходного процесса при пробое фазы на землю в сети с незаземлённой нейтралью или перемежающейся дуге?
7. Укажите область применения сетей с резонансным заземлением нейтрали.
8. Схемы включения дугогасящих катушек.
9. В чём смысл настройки дугогасящих катушек?
10. Чему равны напряжения фаз относительно земли в сети с эффективно заземлённой нейтралью в нормальном режиме и при К(1)?
11. Укажите область применения и достоинства сети с эффективным заземлением нейтрали.
12. Укажите основные положения метода симметричных составляющих.
13. Как определяются коэффициенты несимметрии и неуравновешенности трёхфазной системы?
14. К чему сводится расчёт несимметричных режимов при использовании метода симметричных составляющих?
15. Как определяются сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей для элементов СЭС?
16. Как определяются сопротивления обратной и нулевой последовательностей трёхобмоточных трансформаторов?
17. Как составляются схемы замещения прямой, обратной, нулевой последовательностей?
18. Какие виды КЗ относят к поперечной несимметрии?

19. Как определить токи и напряжения при различных видах поперечной несимметрии?
20. Правило эквивалентности прямой последовательности.
21. Каковы соотношения между токами различных видов поперечной несимметрии?
22. Какие виды повреждений относят к продольной несимметрии?
23. Какой вид имеют комплексные схемы замещения при продольной несимметрии?
24. Как формулируется правило эквивалентности прямой последовательности при продольной несимметрии?
25. Какие виды повреждений называют сложными?
26. Какие сложные виды повреждений наиболее часто имеют место в трёхфазных СЭС?
27. Каковы граничные условия для двойного замыкания на землю?
28. Каковы граничные условия для однофазного КЗ с одновременным разрывом той же фазы?
29. Какова последовательность действий при анализе сложных видов повреждений?
30. Каковы особенности расчетов токов КЗ в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ?
31. Какова последовательность расчета нагрева проводов и спада тока КЗ?
32. Каковы особенности расчёта токов трёхфазных и однофазных КЗ в сетях с напряжением 0,4 кВ?
33. Как определяется максимальный и минимальный ток КЗ в сети 0,4 кВ?
34. Как влияет группа соединений трансформатора на токи несимметричных КЗ?

#### Контрольная точка №3

1. Назовите условия, которым должны удовлетворять расчёты электрических систем (осуществимость, устойчивость, качество, экономичность)?
2. Какова связь устойчивости режима с её энергетическими свойствами?
3. Каковы практические критерии устойчивости простейших электрических систем?
4. Задачи расчёта устойчивости электрической системы?
5. Какими показателями можно характеризовать качество переходного процесса электрической системы?
6. Как проверить устойчивость работы синхронного генератора или асинхронного двигателя в установившемся режиме?
7. В чём разница между подходом к оценке статической и динамической устойчивости?
8. Почему основные характеристики мощности электрических систем строятся в зависимости от угла, как основного параметра?
9. В чём различие между статической характеристикой мощности простейшей системы, динамической характеристикой и характеристикой при постоянстве напряжения на зажимах генератора? Каким физическим условиям работы отвечают эти характеристики?
10. Что такое регулирующий эффект нагрузки (активной и реактивной мощностей) по частоте и напряжению?
11. Может ли активная мощность в начале передачи, имеющей только реактивное сопротивление, отличаться от мощности в конце передачи?
12. Что такое узлы нагрузки и в каких двух наиболее существенных аспектах могут рассматриваться происходящие в них переходные процессы?
13. Что такое критическое скольжение и как его определить?
14. Как изменится ток асинхронного двигателя при снижении напряжения?
15. При какой величине напряжения на шинах двигателя наступает его неустойчивость? От каких факторов зависит эта величина?
16. В чём состоит основное условие устойчивости простейшей электрической системы (синхронный генератор, работающий на шины неизменного напряжения)?
17. Как выявляются с помощью основного практического критерия устойчивость простейшей системы, критический режим и условия устойчивости?
18. В чём особенности различных практических критериев и каковы наиболее целесообразные условия использования того или иного критерия на практике?
19. Каковы условия устойчивости группы асинхронных двигателей?
20. Что такое лавина напряжения и каковы наиболее существенные причины её возникновения?
21. Какие наиболее эффективные средства и мероприятия режимного характера могут быть

применены для борьбы с лавиной напряжения?

22. Всегда ли конденсаторы, улучшающие коэффициент мощности нагрузки и её напряжение в нормальном режиме, оказывают благоприятное действие на устойчивость комплексной нагрузки?

23. Какие три стадии имеет процесс изменения частоты после появления в системе какого-либо небаланса мощности?

24. В чём причина возможной неустойчивости частоты и каковы меры её предотвращения?

25. Каково назначение устройства АРЧ и какова (примерно) его схема?

26. Что такое точная синхронизация и самосинхронизация. Условия их проведения?

27. В чём преимущества самосинхронизации?

28. Как производится электромеханический пуск синхронных генераторов и двигателей?

29. В каких случаях самосинхронизация нежелательна и предпочтительней точная синхронизация?

#### Задачи для контрольной точки №1

Задача 1. Определить действующее значение сверхпереходного тока, ударный ток и его действующее значение при трехфазном КЗ в точке К схемы, показанной на рисунке.

Исходные данные:

Г:  $S_{ном} = 150$  МВА,  $U_H = 10,5$  кВ,  $X_{dii} = 0,29$ ,  $X/R = 100$ ,  $\cos \varphi_H = 0,85$ ;

Т-1:  $S_{ном} = 160$  МВА,  $U_K = 10,5$  %,  $k_T = 115/10,5$  кВ,  $X/R = 20$ ;

Т-2:  $S_{ном} = 16$  МВА,  $U_K = 11,6$  %,  $k_T = 115/11$  кВ,  $X/R = 17$ ;

Л:  $l = 100$  км,  $X_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $R_{уд} = 0,08$  Ом/км;

Р: РБ-6-1000-6,  $X/R = 15$ .

Расчет выполнить в относительных единицах приближенно по среднономинальным напряжениям, за базисную мощность принять номинальную мощность генератора. Перед КЗ генератор работал в номинальном режиме.

Задача 2. Блок генератор–трансформатор–линия связан с системой с бесконечной мощности (рис.). Напряжение на шинах системы  $E_2 = 105$  кВ остается неизменным.

Исходные данные:

Г:  $S_{ном} = 117,5$  МВА,  $U_{ном} = 13,8$  кВ,  $d X_{dii} = 0,16$ ,  $T_a = 0,535$  с,  $\cos \varphi_H = 0,85$ ;

Т:  $S_H = 120$  МВА,  $U_K = 10,5$  %,  $k_T = 121/13,8$  кВ,  $X_T/R_T = 26,5$ ;

Л:  $l = 80$  км,  $X_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $R_{уд} = 0,105$  Ом/км.

Определить максимально возможное мгновенное значение тока генератора при его несинхронном включении в сеть; до включения генератор работал на холостом ходу с номинальным напряжением. Полученное значение тока сравнить с ударным током генератора при трехфазном коротком замыкании на его выводах при том же предшествующем режиме.

Задача 3. При трехфазном коротком замыкании (рис.) найти сверхпереходный ток в точке К и остаточное напряжение на неповрежденной секции.

Исходные данные:

С: КЗ  $S_{ii} = 2000$  МВ · А,  $U_C = 230$  кВ; Т: тип ТРДЦН 63,  $S_{ном} = 63$  МВА,  $U_K B_H = 12$  %,  $k_T = 230/11/11$  кВ.

Задача 4. Определить ударный ток трехфазного КЗ в точке К и остаточное напряжение на шинах генератора (рис.) Исходные данные: Г:  $S_H = 100$  МВА,  $U_{ном} = 10,5$  кВ,  $d X_{dii} = 0,18$ ,  $T_a = 0,43$  с,  $\cos \varphi_H = 0,85$ ; Т:  $S_{ном} = 60$  МВ · А,  $U_K = 12$  %,  $k_T = 115/10,5$  кВ,  $X_T/R_T = 20$ ; Л:  $l_1 = 50$  км,  $l_2 = 50$  км,  $l_3 = 100$  км, для всех линий:  $X_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $R_{уд} = 0,105$  Ом/км.

Задача. 5. На рис. 2.12 показана схема понижающей подстанции, которая питает, помимо обобщенной разнообразной мелкомоторной и осветительной нагрузки Н1 и Н2, крупные синхронные и асинхронные двигатели СД и АД. Вычислить сверхпереходный ток при трехфазном КЗ в точке К.

Параметры схемы:

С: ЕСф = 71 кВ, ХС = 11 Ом; Т: Sном = 40 МВА, 115/6,3/6,3 кВ, Uк ВН = 10,8 %, Uк Н1 Н2 = 18,4 % (отнесено к мощности расщепленной обмотки 20 МВ · А); СД: РСД ном = 2500 кВт, cos φСД = 0,845, Uном СД = 6 кВ, ηСД = 0,94; АД: РАД ном = 2 · 1600 кВт; cos φАД = 0,91, Uном АД = 6 кВ, Iпуск = 5, ηАД = 0,956; Н1 и Н2: Pнагр1 = 8500 кВт, cos φнагр1 = 0,85, Pнагр2 = 13 700 кВт · А, cos φнагр2 = 0,83. Нагрузка мелкомоторных электродвигателей соответствовала их номинальным данным.

Задача 6. Определить установившийся, начальный, сверхпереходной и ударный ток КЗ, а также остаточное напряжение генератора при КЗ в точке К (рис.). Рассматривается трехфазное КЗ. Г: Sн = 50 МВА, Uн = 6,3 кВ, Xdii = 0,12, ОКЗ = 0,75, If (пред) = 3,8, cos φ = 0,8, есть АРВ. Т: Sном = 10 МВА, 6,3/115 кВ, Uк = 10,5 %.Л: l = 100 км, ХЛ = 0,4 Ом/км.

Задача 7. Определить величину установившегося тока для точки короткого замыкания К, если известно остаточное напряжение на шинах генератора 0,7Uном. Найти также ударный ток и его действующее значение. Генератор с АРВ и без АРВ (рис. 2.14).

Параметры схемы:

Г: Xd = 1,5, d Xdii = 0,2, If пред = 3, Sном = 60 МВА;

Задача 8. Определить ударный ток и его действующее значение при трехфазном КЗ в точке К2 (рис.), если дано, что отключающая способность выключателя 600 МВ · А при КЗ в точке К1. Параметры схемы: Г: Sном = 100 МВА, d Xdii = 0,117, Xd = 1,8, cos φ = 0,8, Uном = 10,5 кВ, есть АРВ; Т: Sном = 120 МВ · А, КТ = 115/10,5 кВ, Uк = 10,5 %. Выключатель: Sii отк = 600 МВА. Система бесконечной мощности С: UC = 115 кВ. Л: l = 20 км, ХЛ = 0,4 Ом/км.

Задача 9. Определить ток КЗ при трехфазном КЗ в точке К (рис.) в начальный момент времени, ударный ток и его действующее значение. Номинальные данные: Г-1: Sном = 30 МВА, Uном = 10,5 кВ, d Xdii = 0,12; Г-2: Sном = 50 МВА, Uном = 10,5 кВ, d Xdii = 0,15. Трансформаторы Т-1, Т-2: Sном = 31,5 МВА, Uном = 10,5/121 кВ, Uк = 10,5 %. Реактор: Uном = 10 кВ, Iном = 2 кА, ХР = 8 %.

Задача 10. Определить начальный сверхпереходный ток при трехфазном КЗ в точке К схемы (рис.) и его составляющие от каждого источника ЭДС, а также ударный ток и действующее значение ударного тока в той же точке К.

Номинальные данные: Г-1 и Г-2: Sном = 80 МВ · А, Uном = 10,5 кВ, Xd □□ = 0,22, cos φ = 0,8; Т-1: Sном = 15 МВ · А, 10,5/230 кВ, Uк = 10 %. Т-2: Sном = 60 МВ · А, 230/115/10,5 кВ, Uк ВС = 20 %, Uк ВН = 12 %, Uк СН = 8 %. Нагрузки Н-1, Н-2, Н-3 по 5 МВ · А каждая. Линия: l = 80 км, ХЛ = 0,4 Ом/км.

Задача 11. Насколько увеличится ток в КЗ в точке К в начальный момент КЗ, если на шины генератора Г-1 (рис. 2.19) подключить генератор Г-2? При работе только одного генератора Г-1 остаточное напряжение составляло 0,65Uном. Определить ударный ток и его действующее значение. Генератор с АРВ.

Параметры схемы:

Г-1: Sн = 90 МВ · А, If пред = 4, Xd = 1,2, Xdii = 0,15;

Г-2: Sн = 60 МВ · А, If пред = 3,5, Xd = 1,5, Xdii = 0,2.

Задача 12. Определить наибольшее мгновенное значение тока трехфазного короткого замыкания на шинах синхронного генератора, не подключенного к системе и работающего на холостом ходу в предшествующем режиме.

Параметры схемы:

Г: Pн = 117,5 МВт, Uн = 13,8 кВ, Xdii = 0,2, Xdii = 1,6, X2 = 0,25, cos φ = 0,9, активное сопротивление составляет 1 % от сопротивления обратной последовательности.

Задача 13. Определить величину начального сверхпереходного тока, ударный ток и его действующее значение при трехфазном КЗ в точке К(3) для схемы, показанной на рис. Параметры схемы: система бесконечной мощности: UC = const = 115 кВ; Т1: Sном = 60 МВ · А, Uк = 7,5 %, X/R

= 25,  $kT = 115/37$  кВ; P: РБ-35-1000-10, X/R = 13.

### Задачи для контрольной точки №2

Задача 13. При однофазном КЗ в точке К (рис.) определить ток для начального момента времени. Расчет выполнить аналитически. Построить векторную диаграмму на шинах низкого напряжения трансформатора Т-1. Система С:  $SC = \infty$ . Генератор Г:  $S_H = 50$  МВА,  $X_{dii} = 0,12$ ,  $X_2 = 0,12$ ,  $X_0 = 0,3 d X_{dii}$ ,  $U_H = 6,6$  кВ. Трансформаторы Т-1:  $S_{ном} = 10$  МВА,  $U_k = 14$  %,  $6,6/118$  кВ; Т-2:  $S_{ном} = 100$  МВА,  $U_k = 10$  %,  $110/13,8$  кВ; Линия Л-1:  $l = 100$  км,  $x_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $x_0 = 2,5X_1$  Ом/км, Л-2:  $l = 50$  км,  $x_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $x_0 = 3,1X_1$  Ом/км.

Задача 14. При двухфазном КЗ на землю определить сверхпереходный ток поврежденной фазы. Построить векторную диаграмму на шинах низкого напряжения подстанции (рис.). Система С:  $SC = \infty$ ; Трансформатор Т:  $S_{ном} = 31$  МВА,  $U_k = 10,5$  %,  $13,8/114$  кВ. Линия Л-1:  $l = 50$  км,  $x_{уд} = 0,4$  Ом/км,  $X_0 = 3X_1$  Ом/км.

Задача 15. Определить приближенно ток двухфазного КЗ в точке К2, если известно, что мощность трехфазного КЗ в точке К1 составляет 400 МВА (рис.). Расчет выполнить любым методом для начального момента времени ( $t = 0$ ).

Система С:  $SC = \infty$ . Генератор Г:  $S_{ном} = 50$  МВА,  $U_H = 10,5$  кВ,  $X_{dii} = 0,2$ ,  $X_2 = X_{dii}$ .  
Трансформатор:  $S_{ном} = 60$  МВА,  $U_k = 14$  %.

Задача 16. Определить полный ток двухфазного КЗ в точке К2 схемы (рис.) аналитическим методом. Система С: КЗ  $S_{ii} = 1000$  МВА в точке К1. Генератор Г:  $S_{ном} = 30$  МВА,  $U_H = 6,3$  кВ,  $X_{dii} = 15$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ . Трансформатор:  $S_{ном} = 30$  МВА,  $U_k = 10$  %,  $230/6,6$  кВ. Реактор Р:  $X_P = 6$  %,  $U_{ном} = 6$  кВ,  $I_{ном} = 1000$  А. Построить векторную диаграмму на шинах высокого напряжения подстанции.

Задача 17. Составить комплексную схему замещения для расчета сверхпереходного тока при однофазном КЗ в точке К1 (рис.). На схеме указать включение приборов для замера симметричных составляющих токов и напряжений в обмотке низшего напряжения трансформатора Т1. Построить векторную диаграмму на шинах низкого напряжения трансформатора Т1.

### Задачи для контрольной точки №3

Задача 18. Составить комплексную схему замещения для расчета сверхпереходного тока при однофазном КЗ в точке К2 (рис.). На схеме указать включение приборов для замера симметричных составляющих токов и напряжений в обмотке низшего напряжения трансформатора Т1. Построить векторную диаграмму на шинах низкого напряжения трансформатора Т1.

### Вопросы к экзамену

1. Перечислите основные причины возникновения переходных процессов в ЭЭС.
2. Когда возможен расчет только электромагнитных переходных процессов?
3. Из каких устройств состоит ЭЭС?
4. Что такое параметры режима и параметры ЭЭС?
5. Какие виды режимов и переходных процессов имеют место в ЭЭС?
6. Назовите причины возникновения электромагнитных переходных процессов.
7. Что называют коротким замыканием?

8. Каковы системы токов и напряжений, применяемых в ЭЭС?
9. Перечислите стандартные классы и средние значения напряжений в ЭЭС.
10. Каковы причины возникновения переходных процессов?
11. Каковы последствия КЗ в ЭЭС?
12. Каковы основные виды КЗ в ЭЭС?
13. Какие виды КЗ наиболее вероятны в ЭЭС?
14. По каким признакам КЗ подразделяются на удаленные и не удаленные?
15. Как влияют устройства АВР генераторов на протекание переходного процесса в ЭЭС?
16. Какую трёхфазную сеть называют простейшей?
17. Как определяется начальное значение периодической составляющей тока КЗ?
18. При каких условиях полный ток КЗ в простейшей цепи будет иметь максимальное значение?
19. Что такое ударный ток?
20. В каких пределах изменяется величина ударного коэффициента и от чего она зависит?
21. Каков характер протекания переходного процесса в зависимости от величины постоянной времени затухания?
22. Как аналитически и графически определяется постоянная времени затухания?
23. Как определяется действующее значение полного тока КЗ и его составляющих?
24. Что понимают под расчетом электромагнитного переходного процесса?
25. Какие задачи решаются благодаря расчёту электромагнитного переходного процесса?
26. Какие условия и основные допущения принимают при расчётах КЗ?
27. Назовите основные этапы расчёта электромагнитных переходных процессов?
28. В чём заключается выбор расчетных условий?
29. Как составляется расчётная схема?
30. Какие параметры элементов СЭС необходимы для расчёта переходных процессов?
31. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения ЭЭС?
32. Зависит ли результат расчёта токов КЗ от выбора базисных условий?
33. Как определить ток замыкания на землю в сети с незаземлённой нейтралью?
34. Поясните характер протекания переходного процесса при пробое фазы на землю в сети с незаземлённой нейтралью или перемежающейся дуге?
35. Укажите область применения сетей с резонансным заземлением нейтрали.
36. Схемы включения дугогасящих катушек.
37. В чём смысл настройки дугогасящих катушек?
38. Чему равны напряжения фаз относительно земли в сети с эффективно заземлённой нейтралью в нормальном режиме и при К(1)?
39. Укажите область применения и достоинства сети с эффективным заземлением нейтрали.
40. Укажите основные положения метода симметричных составляющих.
41. Как определяются коэффициенты несимметрии и неуравновешенности трёхфазной системы?
42. К чему сводится расчёт несимметричных режимов при использовании метода симметричных составляющих?
43. Как определяются сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей для элементов ЭЭС?
44. Как определяются сопротивления обратной и нулевой последовательностей трёхобмоточных трансформаторов?
45. Как составляются схемы замещения прямой, обратной, нулевой последовательностей?
46. Какие виды КЗ относят к поперечной несимметрии?
47. Как определить токи и напряжения при различных видах поперечной несимметрии?
48. Каковы соотношения между токами различных видов поперечной несимметрии?
49. Какие виды повреждений относят к продольной несимметрии?
50. Какой вид имеют комплексные схемы замещения при продольной несимметрии?
51. Какие виды повреждений называют сложными?
52. Какие сложные виды повреждений наиболее часто имеют место в трёхфазных СЭС?
53. Каковы граничные условия для двойного замыкания на землю?

54. Каковы граничные условия для однофазного КЗ с одновременным разрывом той же фазы?
55. Какова последовательность действий при анализе сложных видов повреждений?
56. Каковы особенности расчетов токов КЗ в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ?

**Темы письменных работ (эссе, рефераты, курсовые работы и др.)**

Примерное задание для выполнения курсовой работы

1. Тема работы \_\_ Расчет аварийных режимов работы системы электроснабжения
2. Цель работы: Рассчитать установившийся ток для всех типов коротких замыканий и ударный ток для трехфазных коротких замыканий в заданных точках. В точке 1 рассчитать токи трехфазного, двухфазного на землю и однофазного на землю короткого замыкания, в точке 2 рассчитать токи двухфазного и трехфазного короткого замыкания, построить векторные диаграммы токов и напряжений установившегося аварийного режима в месте повреждения для несимметричных коротких замыканий. Для заданного элемента сети построить графики мгновенного значения тока в фазах  $i(t)$  в диапазоне  $t= 0..1$  с (за ноль принимается время возникновения аварийного режима) при трехфазном коротком замыкании в точке 2, без учета нагрузочного тока предшествующего режима.
3. Перечень рассматриваемых вопросов: Составление расчетных схем замещения при симметричном и несимметричном коротких замыканиях, расчёт параметров элементов схем замещения, преобразование схем замещения, расчет токов коротких замыканий в относительных и именованных единицах, построение векторных диаграмм токов и напряжений аварийных режимов, построение мгновенных значений токов в фазах заданного элемента сети в аварийных режимах.

3. Исходные данные: представлены в приложении к заданию

Приложение к заданию на курсовую работу по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах»

Данные для расчета

	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	T1	T2	T3	
	АС-150 20 км	45 км АС-150	АС-120								
	15 км	АС-50 4 км	10 км	ААБ-95							
	30 км	ТВФ-63-2У3		ТД-63000/110-У1		-		ТРДН-25000/110			
	Т4	LR1	LR2	SH1, МВА	SH2, МВА			SH3, МВА	SH4, МВА	Точка	
1	Точка										
	2	Элемент для построения $i(t)$									
	ТРДН-25000/110					-		РБДГ		10-2500-	
0,25	10	10	3	2	К1	К4	Л6				

Рисунок 1 – Схема для выполнения расчетов

При расчетах принять следующее:

1. РПН трансформаторов в среднем положении (номинальный коэффициент трансформации)
2. Базовые номинальные напряжения ступеней:
  - I – 10,5 кВ
  - II – 115 кВ
  - III – 10,5 кВ
  - IV – 38,5 кВ
  - V – 230 кВ
3. Базовая мощность  $S_b=1000$  МВА, нагрузки рассчитываются с использованием усредненных

параметров  $X'' = 0,35$

4. Средние значения ЭДС в момент возникновения КЗ в относительных единицах при номинальных условиях для:

- электроэнергетических систем GS 1,0
- турбогенераторов мощностью до 100 МВт 1,08
- турбогенераторов мощностью 100–500 МВт 1,13
- гидрогенераторов с демпферными обмотками 1,13
- синхронных компенсаторов 1,20
- синхронных электродвигателей 1,1
- асинхронных электродвигателей 0,9
- обобщенной нагрузки 0,85

5. Значения активных сопротивлений для отдельных элементов схемы замещения определяются приближенно из рекомендованных для элементов ЭЭС соотношений  $x/r$ .

- для системы GS  $x/r = 50$
- генераторов G1, G2,  $x/r = 45$

Для линий, трансформаторов используются соответствующие параметры, рассчитываемы из их паспортных данных (таблица 2-4 руководящие указания к РЗ, вып. 11), для нагрузки принять  $\cos\varphi = 0,8$ .

6. Для системы принять  $SGS = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $X(1) = 0,25$ ,  $X(1) = X(2)$ ;  $X(0) = 1,5 \cdot X(1)$ ; Для трансформаторов и для обобщенной нагрузки принять  $X(1) = X(2) = X(0)$ .

7. Для воздушных ВЛ принять  $X(1) = X(2)$ ,  $X(0) = 3,5 \cdot X(1)$  для одноцепных ВЛ,  $X(0) = 5,5 \cdot X(1)$  для двухцепных ВЛ

#### Вопросы к защите курсовой работы

- 1 События в энергосистеме, приводящие к появлению переходных процессов
- 2 Что такое короткое замыкание
- 3 Типы коротких замыканий в энергосистемах
- 4 Понятие о симметричных составляющих токов и напряжений в энергосистемах
- 5 Методы расчета токов коротких замыканий
- 6 Из каких составляющих состоит ток коротких замыканий
- 7 Чем определяется величина периодической составляющей тока короткого замыкания
- 8 Чем определяется величина апериодической составляющей тока короткого замыкания
- 9 Каким образом определить величину постоянной времени переходного процесса по осциллограмме тока переходного процесса
- 10 Что такое ударный ток короткого замыкания
- 11 Схемы замещения при расчетах токов короткого замыкания, методы составления
- 12 Допущения, применяемые при расчетах токов короткого замыкания
- 13 Понятия абсолютных и относительных единиц при расчетах переходных процессов
- 14 Применение принципа наложения при расчетах переходных процессов
- 15 Понятие мощности короткого замыкания
- 16 Влияние автоматической регулировки возбуждения генератора на ток короткого замыкания
- 17 Характеристики синхронной машины при коротких замыканиях
- 18 Переходные и сверхпереходные ЭДС синхронной машины
- 19 Реактивное сопротивление синхронного генератора
- 20 Учет влияния синхронных и асинхронных двигателей при расчете токов короткого замыкания
- 21 Расчеты сверхпереходного и ударного тока короткого замыкания при питании сети от синхронного генератора
- 22 Общие уравнения, описывающие поведение синхронной электрической машины при коротком замыкании
- 23 Общее описание методов расчета электромагнитного переходного процесса синхронной электромагнитной машины
- 24 Понятие и принципы работы форсировки возбуждения синхронной машины
- 25 Понятие демпферных обмоток и их влияние на переходной процесс в синхронной

машине

- 26 Принципы учета взаимного влияния синхронных машин при переходном процессе
- 27 Методы расчетов переходных процессов
- 28 Виды несимметричных коротких замыканий в электроэнергетических системах
- 29 Понятие прямой, обратной и нулевой последовательности
- 30 Параметры схемы замещения трансформаторов для нулевой последовательности
- 31 Параметры схемы замещения кабельных линий для нулевой последовательности
- 32 Параметры схем замещения нулевой последовательности для воздушных линий
- 33 Параметры схем замещения электрических машин для нулевой последовательности
- 34 Режимы работы нейтрали сети в зависимости от класса напряжения
- 35 Замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью
- 36 Сети с компенсированной и резистивно заземленной нейтралью
- 37 Расчеты переходных процессов при однофазном коротком замыкании в сети с заземленной нейтралью
- 38 Методы приближительного расчета тока замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью
- 39 Общие принципы применения методов симметричных составляющих при расчетах токов однофазного короткого замыкания
- 40 Оценка токов однофазных замыканий на землю в электродвигателях и генераторах
- 41 Процентное соотношение по видам коротких замыканий в зависимости от типа электрических сетей
- 42 Причины возникновения и влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания
- 43 Параметры схем замещения обратной последовательности для линий и трансформаторов
- 44 Параметры схем замещения обратной последовательности для электрических машин
- 45 Особенности построения схемы замещения при включении трансформатора по схеме «звезда/треугольник-11»
- 46 Векторная диаграмма остаточного напряжения в месте двухфазного короткого замыкания
- 47 Составление схем замещения по прямой и обратной последовательности
- 48 Составление схем замещения автотрансформаторов и трёхобмоточных трансформаторов
- 49 Особенности расчет токов короткого замыкания за трансформаторами со схемой включения «звезда/треугольник-11»
- 50 Расчет токов несимметричных коротких замыканий при применении принципа наложения
- 51 Расчет токов несимметричных коротких замыканий по данным ЭДС генераторов
- 52 Правило эквивалентности прямой последовательности
- 53 Сопротивления обратной и прямой последовательности синхронных генераторов.
- 54 Основные типы и причины возникновения продольной несимметрии
- 55 Обрыв одной фазы, основные методы расчета
- 56 Обрыв двух фаз, основные методы расчета
- 57 Поведение нагрузки при возникновении продольной несимметрии
- 58 Методы учета а нагрузок при расчёте токов коротких замыканий
- 59 Применение принципа наложения при расчетах режимов с продольной несимметрией
- 60 Составление схем замещения при расчетах продольной не симметрии
- 61 Распределение напряжений в сети при продольной несимметрии
- 62 В чём состоит графическая интерпретация правила эквивалентности прямой последовательности для однократной поперечной несимметрии?
- 63 Приведите качественные векторные диаграммы токов и напряжений для различных видов однократной продольной несимметрии?
- 64 В чём состоит принцип составления комплексных схем замещения для однократной поперечной несимметрии?
- 65 Что означает начало и конец схем замещения различных последовательностей?
- 66 Как изменяется ток в неповрежденных фазах линии при обрыве одной и при обрыве

двух фаз?

67 Что такое комплексные несимметрии

68 Последовательность расчета комплексных несимметрий

69 Понятие комплексных схем замещения

70 Принцип составления комплексной схемы замещения для двухфазного замыкания на

землю

71 Принцип составления комплексной схемы замещения для однофазного замыкания на

землю с разрывом фазы

72 Особенности расчета переходных процессов в распределительных сетях

73 Расчет токов коротких замыканий в сетях до 1000 В

74 Учет сопротивления источника питания в сетях напряжением до 1000 В

75 Понятие устойчивости энергосистем

76 Аварийные режимы работы энергосистем

77 Расчет переходных процессов в именованных и относительных единицах

78 Характеристики двигателей и нагрузки в начальный момент внезапного нарушения

режима работы сети

79 Методика расчета токов в сети при обрыве одной фазы в линии