

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

**Балахнинский филиал ННГУ**

---

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением методической комиссии  
Балахнинского филиала ННГУ  
протокол от  
«10» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ**

Уровень высшего образования  
**БАКАЛАВРИАТ**

Направление подготовки  
**13.03.02. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Направленность (профиль) образовательной программы  
**ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА**

Квалификация

**БАКАЛАВР**

Формы обучения  
**ОЧНАЯ, ОЧНО-ЗАОЧНАЯ**

Балахна  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.01.02), ориентирована на подготовку выпускников к решению проектного и эксплуатационного типов задач профессиональной деятельности и частичное формирование компетенции ПКР-4, определяемое индикаторами ПКР- 4.1, 4.2, 4.3 и компетенции ПКР-10, определяемое индикаторами ПКР-10, 1, 10.2, 10.3.

Формирование компетенции ПКР-4 начато в ходе освоения дисциплин: Основы теории цепей, Электрорадиотехнические цепи и устройства приема и передачи сигналов, будет продолжено при освоении дисциплин: Линии передачи электроэнергии и сигналов, Электродинамика и распространение радиоволн, Электроника, Методы анализа, проектирования и моделирования электрорадиотехнических систем, Силовая электроника, защита и автоматизация электроэнергетических систем, Теория электрической связи, данной дисциплины, Источники электропитания радиотехнических систем и электрический привод, Воздействие радиации и электромагнитных импульсов на электро- и радиотехнические системы, Основы релейной защиты и автоматики и завершено в ходе выполнения Преддипломной практики и подготовки Выпускной квалификационной работы - бакалаврской работы.

Формирование компетенции ПКР-10 было начато в ходе освоения данной дисциплины и дисциплин: Линии передачи электроэнергии и сигналов Источники электропитания радиотехнических систем и электрический привод, будет продолжено при освоении дисциплин: Силовая электроника, защита и автоматизация электроэнергетических систем, Прием, анализ и обработка сигналов, Электрические станции и подстанции и будет завершено в ходе выполнения Преддипломной практики и подготовки Выпускной квалификационной работы - бакалаврской работы.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.01.02, Переходные процессы в электрических цепях</i> относится к части ООП направления подготовки 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПКР-4. Способен участвовать в проектных работах при разработке объектов профессиональной	ПКР-4.1. Показывает способности участвовать в проектных работах. ПКР-4.2. Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования,	Знает и понимает физику переходных процессов и возможности их учёта при проектировании электрических цепей. Умеет выбирать методы защиты	Вопросы к зачёту, вопросы и задачи к практическим занятиям, вопросы для собеседования,

деятельности.	конструирования и эксплуатации. ПКР-4.3. Владеет современными технологиями компьютерного проектирования и моделирования.	от аварийных и ненормальных режимов, рассчитывать требуемые параметры устройств защиты. Владеет навыками использования методов расчёта токов короткого замыкания, а также оптимизации и координации уровней токов короткого замыкания	индивидуальные задания лабораторной (контрольной) работы
ПКР-10. Способен участвовать в обеспечении и контроле эксплуатации объектов профессиональной деятельности.	ПКР-10.1. Применяет методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации объектов профессиональной деятельности. ПКР-10.2. Демонстрирует знания и умения организации технического обслуживания и ремонта объектов профессиональной деятельности. ПКР-10.3. Демонстрирует понимание взаимосвязи задач технического обслуживания и эксплуатации.	Знает методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации электрических цепей с учётом переходных процессов. Умеет анализировать организацию технического обслуживания и ремонта. Владеет навыками участия в обеспечении и контроле эксплуатации объектов профессиональной деятельности	Вопросы к зачёту, вопросы и задачи к практическим занятиям, вопросы для собеседования, индивидуальные задания лабораторной (контрольной) работы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоёмкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоёмкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	49
- занятия лекционного типа	16
- занятия лабораторного типа	12
- занятия семинарского типа	20
- КСР	1
самостоятельная работа	59
Промежуточная аттестация – зачёт	

	Очно-заочная форма обучения
Общая трудоёмкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	10
- занятия лабораторного типа	10
- занятия семинарского типа	12
- КСР	1

самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация – зачёт	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе при очной форме подготовки				
		Контактная работа, часы, из них занятия				Самостоятельная работа, часы
		лекционного типа	семинарского типа	лабораторного типа	Всего	
Введение	3	1			1	2
Переходный процесс в простейших трехфазных цепях	11	1	2	1	4	7
Установившийся режим короткого замыкания	9	1	2	2	5	4
Начальный момент внезапного нарушения режима	17	2	4	2	8	9
Общие понятия об уравнениях электромагнитного переходного процесса синхронной машины	9	1	1		2	7
Внезапное короткое замыкание синхронной машины и форсировка возбуждения	9	1	1	1	3	6
Практические методы расчёта токов короткого замыкания	7	1	2	2	5	2
Переходные процессы при нарушении симметрии трёхфазной цепи	17	2	5	2	9	8
Переходные процессы при особых условиях	9	2	2	1	5	4
Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения	9	2	1	1	4	5
Оптимизация и координация уровней токов короткого замыкания	7	2			2	5
КСР	1				1	
Промежуточная аттестация – зачёт						
Итого	108	16	20	12	49	59

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе при очно-заочной форме подготовки				
		Контактная работа, часы, из них занятия				Самостоятельная работа, часы
		лекционного типа	семинарского типа	лабораторного типа	Всего	
Введение	3	0,5			0,5	2,5
Переходный процесс в простейших трехфазных цепях	11	1	2	1	4	7
Установившийся режим короткого замыкания	9	1	1	1	3	6

Начальный момент внезапного нарушения режима	17	1	3	2	6	11
Общие понятия об уравнениях электромагнитного переходного процесса синхронной машины	9	0,5			0,5	8,5
Внезапное короткое замыкание синхронной машины и форсировка возбуждения	9	1		1	2	7
Практические методы расчёта токов короткого замыкания	7	1	2	1	4	3
Переходные процессы при нарушении симметрии трёхфазной цепи	17	1	3	2	6	11
Переходные процессы при особых условиях	9	1		1	2	7
Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения	9	1	1	1	3	6
Оптимизация и координация уровней токов короткого замыкания	7	2			1	6
КСР	1				1	
Промежуточная аттестация – зачёт						
Итого	108	10	12	10	33	75

#### 1. Введение

Основные задачи курса и его связь со смежными дисциплинами

Основные виды и особенности переходных процессов. Безопасность работ.

Причины возникновения электромагнитных переходных процессов.

Особенности и возможности проектирования и реконструкции электрорадиотехники с учётом эффектов переходных процессов.

#### 2. Переходный процесс в простейших трёхфазных цепях

Основные допущения, применяемые при исследованиях и в практических расчётах переходных процессов. Безопасность работ.

Мощность короткого замыкания.

#### 3. Установившийся режим короткого замыкания

Расчёт установившегося тока короткого замыкания при отсутствии автоматического регулирования возбуждения.

Учёт действия автоматического регулирования возбуждения.

Приближённое вычисление установившегося тока короткого замыкания.

#### 4. Начальный момент внезапного нарушения режима

Переходные ЭДС и реактивности синхронной машины

Расчёт начального сверхпереходного и ударного тока короткого замыкания.

Характеристики и влияние электродвигателей и обобщённой нагрузки на ток короткого замыкания.

#### 5. Общие понятия об уравнениях электромагнитного переходного процесса синхронной машины

Дифференциальные уравнения переходного процесса синхронной машины.

Обобщённый вектор трёхфазной системы.

#### 6. Внезапное короткое замыкание синхронной машины и форсировка возбуждения

Внезапное короткое замыкание синхронной машины без демпферных обмоток.

Влияние автоматического регулирования возбуждения.

Взаимное электромагнитное влияние синхронных машин при переходном процессе.

#### 7. Практические методы расчёта токов короткого замыкания

Расчёт начального сверхпереходного и ударного токов короткого замыкания.

Расчёт для выбора выключателей по отключающей способности. Выбор реакторов.

Метод расчётных кривых.

8. Переходные процессы при нарушении симметрии трёхфазной цепи

Параметры элементов обратной и нулевой последовательности.

Расчёт переходного процесса при нарушении симметрии трёхфазной цепи.

9. Переходные процессы при особых условиях

Сложные виды повреждений.

Короткие замыкания в длинных линиях. Безопасность работ.

Особенности проектирования и реконструкции электрорадиотехники с учётом эффектов переходных процессов при особых условиях.

10. Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения

Основные положения. Простое замыкание на землю. Учёт изменения параметров проводников сети. Учёт местных источников и нагрузок. Безопасность работ.

Расчёт токов короткого замыкания в установках напряжением до 1000 В.

11. Оптимизация и координация уровней токов короткого замыкания

Возможности проектирования и реконструкции электрорадиотехники с учётом эффектов короткого замыкания.

Методы и средства ограничения токов короткого замыкания.

Оптимизация структуры и параметров сети.

Оптимизация режима заземления нейтралей в электрических сетях.

Координация уровней токов короткого замыкания.

Техника безопасности при работах в условиях короткого замыкания.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме: зачёт (очная и очно-заочная формы обучения)

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Подготовка к практическим и лекционным занятиям. Выполнение расчётно-графической работы и домашней контрольной работы, защита результатов их выполнения. Подготовка к прохождению и прохождению испытаний промежуточной аттестации (зачёт).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
Знания	Отсутствие знаний	Уровень знаний ниже	Минимально допустимый	Уровень знаний в	Уровень знаний в	Уровень знаний в	Уровень знаний в

	теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	объёме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	объёме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объёме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочётами, выполнены все задания в полном объёме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме без недочётов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочётами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочётами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочётов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочётов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Вопросы к зачёту

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Основные виды и особенности переходных процессов, характеристики их протекания и влияние на работу электрической системы и её элементов. Безопасность работ.	ПКР-4
2) Необходимость и особенности проектирования и реконструкции электрорадиотехники с учётом эффектов переходных процессов и требований техники безопасности	ПКР-4
3) Однофазное короткое замыкание в сети с изолированной нейтралью.	ПКР-4
4) Причины возникновения электромагнитных переходных процессов.	ПКР-4

5) Двухфазное короткое замыкание в электрической системе.	ПКР-10
6) Основные допущения, принимаемые при исследованиях и в практических расчётах переходных процессов. Особенности проектирования.	ПКР-4
7) Сравнение токов короткого замыкания при различных видах поперечной несимметрии.	ПКР-10
8) Работа сети с заземлённой и изолированной нейтралью. Безопасность работ.	ПКР-10
9) Расчёт токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В	ПКР-10
10) Основные допущения, принимаемые при исследованиях и в практических расчётах переходных процессов. Безопасность работ. Особенности проектирования.	ПКР-4
11) Сравнение токов короткого замыкания при различных видах поперечной несимметрии.	ПКР-10
12) Схема замещения для расчёта токов короткого замыкания. Преобразование схем замещения. Особенности проектирования.	ПКР-4
13) Правило эквивалентности для прямой последовательности.	ПКР-4
14) Расчётные условия при коротких замыканиях. Расчётная схема замещения.	ПКР-4
15) Однофазное короткое замыкание в сети с заземлённой нейтралью.	ПКР-4
16) Трёхфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи.	ПКР-4
17) Режим нормального напряжения и предельного возбуждения синхронных машин при коротком замыкании	ПКР-10
18) Система относительных единиц. Примеры вычисления основных параметров.	ПКР-4
19) Особенности исследования несимметричных переходных процессов. Особенности проектирования.	ПКР-4
20) Ударный ток короткого замыкания. Ударный коэффициент. Безопасность работ.	ПКР-10
21) Граничные условия при возникновении продольной несимметрии	ПКР-4
22) Расчёт установившегося тока короткого замыкания при отсутствии автоматического регулирования возбуждения.	ПКР-10
23) Параметры синхронных и асинхронных машин, обобщённой нагрузки, воздушных и кабельных линий для токов обратной и нулевой последовательностей.	ПКР-10
24) Характеристики и параметры установившегося режима короткого замыкания.	ПКР-10
25) Применение метода симметричных составляющих для расчёта несимметричных переходных процессов	ПКР-10
26) Влияние и учёт действия автоматического регулятора возбуждения на установившийся ток короткого замыкания. Особенности проектирования.	ПКР-4
27) Параметры трансформаторов и автотрансформаторов для токов обратной и нулевой последовательностей.	ПКР-10
28) Учёт нагрузки и её влияния на ток короткого замыкания.	ПКР-4



29) Использование отключающей способности выключателя для расчёта сопротивления системы.	ПКР-4
30) Приближенные вычисления тока короткого замыкания.	ПКР-4
31) Учёт автоматического регулятора возбуждения при внезапном коротком замыкании синхронной машины.	ПКР-10
32) Начальное значение тока короткого замыкания.	ПКР-4
33) Применение метода симметричных составляющих для расчёта несимметричных переходных процессов.	ПКР-10
34) Сверхпереходные ЭДС и сопротивления синхронной машины.	ПКР-4
35) Метод типовых кривых.	ПКР-4
36) Расчёт начального сверхпереходного и ударного токов короткого замыкания.	ПКР-10
37) Практические методы расчётов токов короткого замыкания. Особенности проектирования.	ПКР-4
38) Дифференциальные уравнения переходного процесса синхронной машины.	ПКР-4
39) Ударный ток короткого замыкания. Ударный коэффициент.	ПКР-4
40) Характеристики и влияние электродвигателей и обобщённой нагрузки на ток в месте короткого замыкания.	ПКР-10
41) Двухфазное короткое замыкание на землю. Безопасность работ.	ПКР-10
42) Обобщённый вектор трёхфазной системы.	ПКР-4
43) Метод расчётных кривых при вычислении тока короткого замыкания.	ПКР-4
44) Уравнения Парка-Горева.	ПКР-4
45) Особенности составления схем замещения нулевой последовательности.	ПКР-4
46) Токи короткого замыкания в дальних электропередачах высокого и сверхвысокого напряжения. Безопасность работ.	ПКР-10
47) Двухфазное короткое замыкание на землю.	ПКР-10
48) Особенности учета сопротивлений при расчётах токов короткого замыкания в системах напряжением до 1000 В. Особенности проектирования.	ПКР-4
49) Влияние качаний синхронных машин на ток короткого замыкания.	ПКР-4
50) Техника безопасности при работах с коротким замыканием. Особенности проектирования.	ПКР-4

### 5.2.2. Вопросы и задачи к практическим занятиям (ПКР-4, ПКР-10, ПКР-10)

1. Основные виды и особенности переходных процессов, характеристики их протекания и влияние на работу электрической системы и ее элементов.
2. Сравнение токов короткого замыкания при различных видах поперечной несимметрии.
3. Работа сети с заземленной и изолированной нейтралью
4. Сравнение токов короткого замыкания при различных видах поперечной несимметрии
5. Схема замещения для расчета токов короткого замыкания. Преобразование схем замещения.
6. Однофазное короткое замыкания в сети с заземленной нейтралью.
7. Трёхфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи.

8. Система относительных единиц.
  9. Примеры вычисления основных параметров.
  10. Особенности исследования несимметричных переходных процессов.
  11. Ударный ток короткого замыкания.
  12. Ударный коэффициент.
  13. Параметры синхронных и асинхронных машин, обобщенной нагрузки, воздушных и кабельных линий для токов обратной и нулевой последовательностей.
  14. Характеристики и параметры установившегося режима короткого замыкания.
  15. Параметры трансформаторов и автотрансформаторов для токов обратной и нулевой последовательностей.
  16. Учет нагрузки и ее влияния на ток короткого замыкания.
  17. Учет автоматического регулятора возбуждения при внезапном коротком замыкании синхронной машины.
  18. Метод типовых кривых
  19. Варианты самостоятельной работы.
- Особенности учёта сопротивлений при расчётах токов короткого замыкания в системах напряжением до 1000 В.

На схеме приведён участок электрической системы, с который входят: система С бесконечной мощности с параметрами:  $U_c = 520$  кВ; генератор G с параметрами:  $S_G = 200$  МВ·А,  $U_H = 15,75$  кВ,  $x''_d = 0,22$ ; автотрансформатор T1 с параметрами:  $ST1 = 160$  МВ·А,  $U_B / U_c / U_H = 525 / 220 / 11$  кВ,  $u_{BC} = 18\%$ ,  $u_{BH} = 26\%$ ,  $u_{CH} = 10\%$ ; автотрансформатор T2 с параметрами:  $S_{T2} = 250$  МВ·А,  $U_B / U_c / U_H = 242 / 169 / 15,75$  кВ,  $u_{BC} = 12,7\%$ ,  $u_{BH} = 11,8\%$ ,  $u_{CH} = 17,75\%$

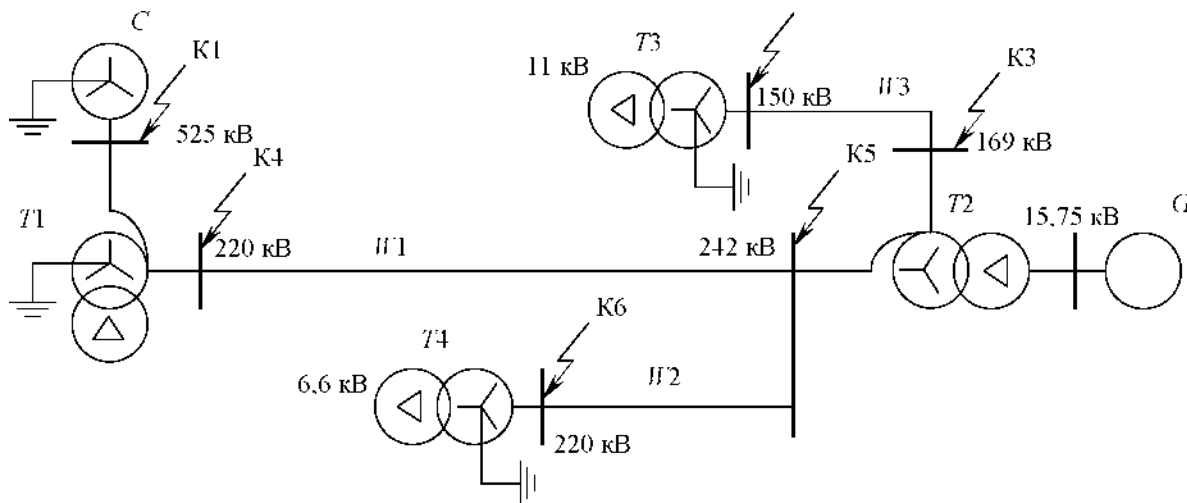


Схема для зачета

Параметры остальных элементов приведены ниже

Таблица 1. Исходные данные

№ варианта	T3			T4			W1			W2			W3			Точка КЗ
	$S_{T3}, \text{МВ} \cdot \text{А}$	$U_B / U_H, \text{кВ}$	$u_k, \%$	$S_{T4}, \text{МВ} \cdot \text{А}$	$U_B / U_H, \text{кВ}$	$u_k, \%$	$l, \text{км}$	$x_{10}, \text{Ом/км}$	$x_{00}, \text{Ом/км}$	$l, \text{км}$	$x_{10}, \text{Ом/км}$	$x_{00}, \text{Ом/км}$	$l, \text{км}$	$x_{10}, \text{Ом/км}$	$x_{00}, \text{Ом/км}$	
1	16	156/10,5	11	32	230/6,6		130	0,42	1,32	95	0,42	1,32	70	0,40	1,40	1
2				63			150	0,43	1,35	100	0,40	1,32	70	0,41	1,35	2
3				160			210	0,42	1,40	60	0,43	1,38	200	0,44	1,30	3

4	32	10,5	32	12	95	0,42	1,32	130	0,42	1,32	70	0,40	1,40	4
5			63		100	0,40	1,32	150	0,43	1,35	70	0,41	1,35	5
6			160		60	0,43	1,38	210	0,42	1,40	200	0,44	1,30	6
7	63	10,5	32		70	0,40	1,40	130	0,42	1,32	95	0,42	1,32	1
8			63		70	0,41	1,35	150	0,43	1,35	100	0,40	1,32	2
9			160		200	0,44	1,30	210	0,42	1,40	60	0,43	1,38	3
10	16	11	32		130	0,42	1,32	70	0,40	1,40	95	0,42	1,32	4
11			63		150	0,43	1,35	70	0,41	1,35	100	0,40	1,32	5
12			160		210	0,42	1,40	200	0,44	1,30	60	0,43	1,38	6
13	32	10,5	32		95	0,42	1,32	70	0,40	1,40	130	0,42	1,32	1
14			63		100	0,40	1,32	70	0,41	1,35	150	0,43	1,35	2
15			160		60	0,43	1,38	200	0,44	1,30	210	0,42	1,40	3
16	63	10,5	32		70	0,40	1,40	95	0,42	1,32	130	0,42	1,32	4
17			63		70	0,41	1,35	100	0,40	1,32	150	0,43	1,35	5
18			160		200	0,44	1,30	60	0,43	1,38	210	0,42	1,40	6
19	16	11	32		210	0,42	1,40	60	0,43	1,38	200	0,44	1,30	1
20			63		130	0,42	1,32	95	0,42	1,32	70	0,40	1,40	2
21			160		150	0,43	1,35	100	0,40	1,32	70	0,41	1,35	3

Необходимо:

- составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей сети;
  - рассчитать установившийся ток;
  - рассчитать начальный сверхпереходный ток К.З.;
  - рассчитать ударный ток К.З.;
  - вычислить значение апериодической составляющей тока К.З.;
  - рассчитать тепловой импульс тока короткого замыкания;
  - рассчитать ток несимметричного К.З.
- Расчет параметров схемы замещения ЛЭП.

Выразить в относительных единицах индуктивное сопротивление ЛЭП, длина которой  $l$  и удельное электрическое сопротивление  $x_0$ , приняв за базисные условия базисную мощность  $S_6$  и напряжение  $U_6$ . Исходные данные приведены ниже (таблица 2)

Таблица 2 - Исходные данные для практической работы  
«Расчет параметров схемы замещения ЛЭП»

№ варианта	$l, \text{км}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$S_6, \text{МВ} \cdot \text{А}$	$U_6, \text{кВ}$
1	100	0,40	100	115
2	120	0,38	200	230
3	140	0,41	300	38,5
4	160	0,39	120	115
5	180	0,42	150	230
6	200	0,40	170	38,5
7	220	0,38	130	115
8	240	0,41	110	230
9	260	0,39	210	38,5
10	280	0,42	250	115
11	290	0,40	345	230
12	270	0,38	265	38,5
13	250	0,41	175	115
14	230	0,39	105	230

15	210	0,42	155	38,5
16	190	0,40	245	115
17	170	0,38	320	230
18	150	0,41	340	38,5
19	130	0,39	220	115
20	110	0,42	115	230

- Расчет параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора.

Определить сопротивление трехфазного двухобмоточного трансформатора с параметрами: номинальная мощность  $S_{нт}$ , номинальное высшее напряжение  $U_v$ , номинальное низшее напряжение  $U_n$ , напряжение короткого замыкания  $U_k$ . Исходные данные приведены ниже (таблица 3).

Таблица 3 - Исходные данные для практической работы  
«Расчет параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора»

№ варианта	$S_{нт}$ , МВ·А	$U_v$ , кВ	$U_n$ , кВ	$U_k$ , %	Задание <sup>1</sup>
1	10	115	6,6	10,5	1
2					2
3					3
4	10	115	10,5	10,5	1
5					2
6					3
7	10	115	11,0	10,5	1
8					2
9					3
10	16	115	6,3	10,5	1
11					2
12					3
13	16	115	6,6	10,5	1
14					2
15					3
16	16	115	11,0	10,5	1
17					2
18					3
19	16	115	34,5	10,5	1
20					2
21					3

### 5.2.3 Задания лабораторной работы «Переходные процессы в электрических цепях») для оценки формирования компетенции ПКР-4, ПКР-10, ПКР-10.

Исходными данными для лабораторной (контрольной) работы являются:

- план электросетевого района;
- расчетные длины ЛЭП электросетевого района;
- указание точки, в которой необходимо произвести расчет тока короткого замыкания;
- напряжение на шинах ОЭС;
- мощность короткого замыкания на шинах системы;
- тип автотрансформаторов связи с ОЭС;

- тип синхронных генераторов в генерирующем узле;
- значения нагрузок в узлах схемы.

Перечень вопросов, подлежащих разработке:

- выбрать оборудование для заданной вариантом схемы;
- составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей сети;
- рассчитать установившийся ток и установившуюся мощность К.З на шинах ВН, СН, НН подстанции;

НН подстанции;

- рассчитать начальный сверхпереходный ток и мощность при трёхфазном К.З на шинах ВН, СН, НН подстанции;
- рассчитать ударный ток К.З.;
- вычислить значение апериодической составляющей тока К.З.;
- определить остаточное напряжение на шинах;
- рассчитать ток несимметричного К.З.

Варианты заданий домашней контрольной работы на тему «Переходные процессы в электрических системах» находятся в Приложении 2. «Варианты заданий домашней контрольной работы».

### **5.2.3.1 Вопросы для собеседования по выполненной работе**

- Безопасность работ. Основные виды и особенности переходных процессов, характеристики их протекания и влияние на работу электрической системы и её элементов.
- Безопасность работ при однофазном коротком замыкании в сети с изолированной нейтралью.
- Работа сети с заземлённой и изолированной нейтралью. Безопасность работ.
- Основные допущения, принимаемые при исследованиях и в практических расчётах переходных процессов. Учёт безопасности работ.
- Ударный ток короткого замыкания. Ударный коэффициент. Безопасность работ.
- Безопасность работ. Учёт начального значения тока короткого замыкания.
- Ударный ток короткого замыкания. Ударный коэффициент.
- Безопасность работ при двухфазном коротком замыкании на землю.
- Токи короткого замыкания в дальних электропередачах высокого и сверхвысокого напряжения. Безопасность работ.
- Техника безопасности при работах с коротким замыканием. Особенности проектирования.

### **5.2.3.2 Задания лабораторной работы**

Теоретические вопросы ко всем вариантам заданий работы

- Основные виды и особенности переходных процессов, характеристики их протекания и влияние на работу электрической системы и её элементов. Безопасность работ.
- Однофазное короткое замыкание в сети с изолированной нейтралью.
- Основные допущения, принимаемые при исследованиях и в практических расчётах переходных процессов. Безопасность работ.
- Ударный ток короткого замыкания. Ударный коэффициент. Безопасность работ.
- Двухфазное короткое замыкание на землю. Безопасность работ.
- Токи короткого замыкания в дальних электропередачах высокого и сверхвысокого напряжения. Безопасность работ.
- Техника безопасности при работах с коротким замыканием. Особенности проектирования.

Варианты заданий

Задание 1

- Приведение сопротивления к генераторному напряжению.

Пересчитать на генераторное напряжение  $U_G$  сопротивление  $z$ , находящееся за тремя каскадно включёнными трансформаторами с соотношениями напряжений обмоток:

T1:  $U_{1В} / U_{1Н}$ ; T2:  $U_{2В} / U_{2Н}$ ; T3:  $U_{3В} / U_{3Н}$ . Исходные данные приведены ниже (таблица 4).

Таблица 4. - Исходные данные для практической работы  
«Приведение сопротивление к генераторному напряжению»

№ варианта	$U_G, \text{кВ}$	$z, \text{Ом}$	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
			$U_{1В}, \text{кВ}$	$U_{1Н}, \text{кВ}$	$U_{2В}, \text{кВ}$	$U_{2Н}, \text{кВ}$	$U_{3В}, \text{кВ}$	$U_{3Н}, \text{кВ}$
1	11,0	10	10,5	38,5	35	6,6	6	0,4
2	6,6	10	6,3	38,5	35	11	10,5	0,4
3	11,0	10	10,5	38,5	35	10,5	10	0,4
4	6,6	10	6,3	38,5	35	6,6	6	0,4
5	11,0	10	10,5	115	110	6,6	6	0,4
6	6,6	10	6,3	115	110	11	10,5	0,4
7	11,0	10	10,5	115	110	11	10,5	0,4
8	6,6	10	6,3	115	110	6,6	6	0,4
9	11,0	10	10,5	230	220	6,6	6	0,4
10	6,6	10	6,3	230	220	11	10,5	0,4
11	11,0	10	10,5	230	220	11	10,5	0,4
12	6,6	10	6,3	230	220	6,6	6	0,4
13	11,0	10	10,5	230	220	115	110	10,5
14	6,6	10	6,3	230	220	115	110	10,5
15	11,0	10	10,5	230	220	115	110	6,3
16	6,6	10	6,3	230	220	115	110	6,3
17	11,0	10	10,5	230	220	36,75	38,5	10,5
18	6,6	10	6,3	230	220	36,75	38,5	10,5
19	11,0	10	10,5	230	220	36,75	38,5	6,3
20	6,6	10	6,3	230	220	36,75	38,5	6,3

#### Задание 2

- Точка К.З. в узле № 9, сети 110 кВ.
- Напряжение на шинах ОЭС - 500 кВ.
- Мощность К.З. на шинах системы рассчитывается по отключающей способности выключателя Q.
- Автотрансформаторы связи с ОЭС 2х(3хАОДЦТН-167000/500/220).
- Синхронные генераторы ТЭЦ: 2 х СВ-835/180-36.
- Значения нагрузок в узлах схемы:

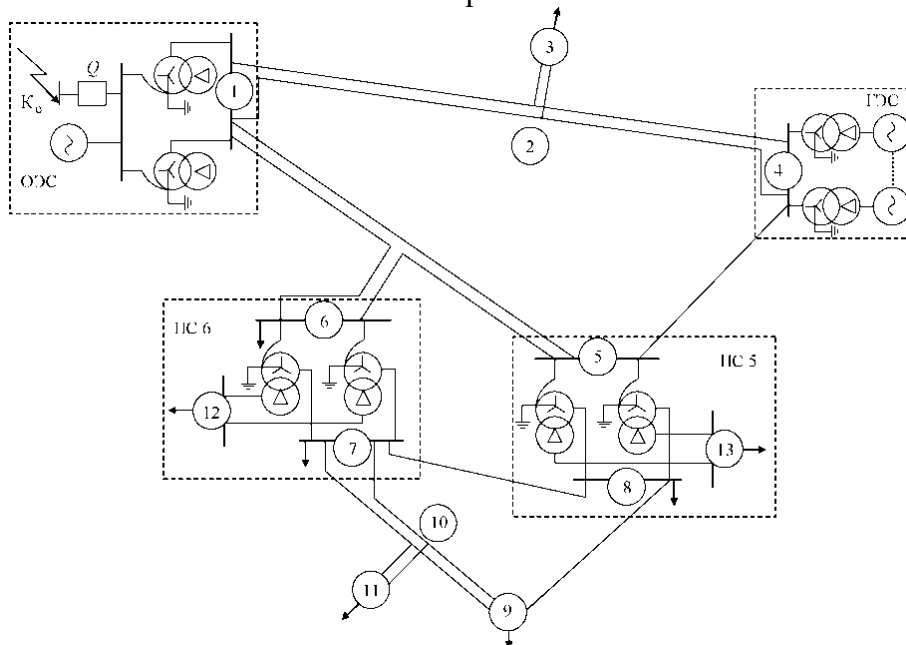
Номер ПС		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Активная мощность в узле, МВт	220кВ	Б	-		-200	-	30				-			
	110кВ			40				20	22					
	35кВ											25		
	6-10кВ			30						40		30	12	10

Перечень вопросов, подлежащих разработке:

- Выбрать оборудование для заданной вариантом схемы.
- Составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей сети.
- Рассчитать установившийся ток и установившуюся мощность К.З на шинах ВН, СН,

НН подстанции.

- Рассчитать начальный сверхпереходный ток и мощность при трёхфазном К.З. на шинах ВН, СН, НН подстанции.
- Рассчитать ударный ток К.З.
- Вычислить значение апериодической составляющей тока К.З.
- Определить остаточное напряжение на шинах.
- Рассчитать ток несимметричного К.З.



#### Расчётные длины ЛЭП

Наименование ЛЭП	1-2	2-3	2-4	4-5	1-5	1-6	6-5	7-8	7-10	10-9	10-11	8-9
Длина ЛЭП, км	60	25	50	80	125	80	75	70	35	35	20	70

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература

1. Петренко Ю.В. Теоретические основы электротехники. Переходные процессы в линейных электрических цепях: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 84 с. – ISBN 978-57782-2812-2. – Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778228122.html> (дата обращения: 30.05.2022).

2. Армеев Д.В. Переходные процессы в электрических системах / Армеев Д.В., Гусев Е.П. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 332 с. – ISBN 978-5-7782-2498-8. – Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778224988.html> (дата обращения: 30.05.2022).

### б) Дополнительная литература

1. Долин П.А. Электробезопасность. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. - 280 с. - ISBN 978-5-383-00629-0 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383006290.html> [25.09.2019]

2. Авдеева Т.В. Журнал к лабораторной работе № 5 "Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях" по курсу "Электротехника и электроника" [Электронный ресурс] / Т.В. Авдеева, В.И. Волченсков, Т.О. Князькова. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 16 с. - ISBN 978-5-7038-3849-5 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703838495.html> [25.09.2019]



*в) Программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое*

- Операционная система Microsoft Windows
- Пакет прикладных программ Microsoft Office
- Правовая система «Консультант плюс»
- Браузер Google Chrome

*г) Интернет-ресурсы*

- Федеральный портал. Российское образование: <http://www.edu.ru/>;
- Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: <http://www.gost.ru/>.
- <http://elektromehanika.org/>
- Правовая система «Гарант»
- Сайт Министерства энергетики РФ. - [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru)
- Известия вузов «Электромеханика», <http://electromeh.npi-tu.ru/ru/archive/>
- <http://novostienergetiki.ru>

*д) Профессиональные базы данных*

- Информационный проект для работников энергетических служб и студентов электротехнических вузов <http://electrichelp.ru>
  - Электрика и электроэнергетика <https://pomegerim.ru>
  - Электричество и электроснабжение <http://engineer-electric.ru>
  - «Техэксперт» – профессиональные справочные системы <http://техэксперт.рус/>
- [26.10.19]

- База данных «Электрик» <http://www.electrik.org/> [26.10.19]
- ИС «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». Разделы:
  - Энергетика [http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_rubr=2.2.75.27](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.75.27) [26.10.19]
  - Электротехника [http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.2.75.30](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.30) [26.10.19]
- Онлайн электрик: база данных <https://online-electric.ru/dbase.php> [26.10.19]
- База данных Energy & Power Source для профессионалов в области энергетики и исследователей - <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple> [26.10.19]
- Банк изобретений, технологий и научных открытий: <http://www.ntpo.com> [26.10.19]
- Научная электронная библиотека [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) [26.10.19]
- База данных рецензируемой литературы Scopus <https://www.scopus.com>

[26.10.19]

- База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com> [26.10.19]

*е) информационные справочные системы*

- ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал <http://www.garant.ru/>
- Правовая система «Консультант плюс»

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения, используемые при реализации дисциплины, представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий.

Лекционные и практические занятия проводятся в специализированной лаборатории электронной техники, микропроцессоров и микропроцессорных систем, электрических измерений, оснащённой комплектами лабораторного оборудования, лабораторными стендами, измерительным оборудованием, техническим оборудованием, обеспечивающим проведение занятий.

Помещения (аудитории) для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключённой к сети «Интернет» и обеспеченной доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ  
по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Автор:

ведущий инженер ООО «СТАНДАРТ», к.т.н. В.В. Лебедев

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДЕНО

решением методической комиссии Балахнинского филиала ННГУ протокол от  
«10» декабря 2021 г. № 4