

Министерство образования и науки Российской Федерации

СЫКТЫВКАРСКИЙ ЛЕСНОЙ ИНСТИТУТ (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет им. С. М. Кирова» (СЛИ)

Кафедра электрификации и механизации сельского хозяйства

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Учебно-методический комплекс по дисциплине
для специальности 110302 «Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства» всех форм обучения

Самостоятельное учебное электронное издание

Сыктывкар 2012

УДК 621.31
ББК 31.2
Э45

Рекомендован к изданию в электронном виде кафедрой электрификации и механизации и сельского хозяйства Сыктывкарского лесного института

Утвержден к изданию в электронном виде советом сельскохозяйственного Факультета Сыктывкарского лесного института

Составитель:

доктор технических наук, профессор **Ю. Я. Чукреев**

Ответственный редактор:

кандидат технических наук, доцент **М. И. Успенский**

Э45 **Электроснабжение** [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисциплине для студ. спец. 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост.: Ю. Я. Чукреев – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В издании помещены материалы для освоения дисциплины «Электроснабжение». Приведены рабочая программа курса, методические указания по различным видам работ.

УДК 621.31
ББК 31.2

Самостоятельное учебное электронное издание

Составитель: **Чукреев Юрий Яковлевич**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Электронный формат – pdf. Объем 4,3 уч.-изд. л.

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ

© СЛИ, 2012
© Чукреев Ю. Я., составление, 2012

Содержание

	Стр.
1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ	4
1.1. Цель преподавания дисциплины.	4
1.2. Задачи изучения дисциплины.	4
1.3. Перечень дисциплин и тем, усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины.	5
1.4. Дополнение к нормам государственного стандарта 2000 г.	5
1.5. Содержание дисциплины.	5
1.6. Содержание курсового проекта.	8
1.7. Самостоятельная работа и контроль успеваемости.	10
1.8. Распределение часов по темам и видам занятий.	11
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	14
2.1. Требования к выполнению РГР и контрольных работ	14
2.2. Методические указания к выполнению контрольных работ.	14
2.3. Типовые примеры	25
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ	38
3.1. Лабораторная работа № 1. Исследование графиков электрических нагрузок промышленных предприятий и сельскохозяйственных потребителей	38
3.2. Лабораторная работа № 2. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции	47
3.3. Лабораторная работа № 3. Методы практического расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания	54
3.4. Лабораторная работа № 4. Расчет трехфазного короткого замыкания с использованием метода индивидуального затухания	67
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ	76
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕКУЩЕМУ КОНТРОЛЮ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ	76
5.1. Рубежный контроль	76
5.2. Тестовые задания	78
5.3. Требования к зачету и экзамену	90
Учебно-методическое обеспечение дисциплины	93

1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ПОДСТАНЦИИ И СИСТЕМЫ

для подготовки дипломированного специалиста
по направлению 110000 Сельское и рыбное хозяйство
специальность 110302 – Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства

	Очная форма	Заочная форма	Сокр. форма
Курс	4	5	5
Семестр	7,8	-	
<i>Всего часов</i>	170	170	207
<i>В том числе аудиторных</i>	82	22	18
<i>из них</i>			
<i>Лекции</i>	50	10	8
<i>Практические</i>	16	8	6
<i>Лабораторные</i>	16	4	4
<i>Самостоятельная работа</i>	88	139	112
<i>Курсовой проект</i>	8	5	5
<i>Контрольные работы</i>	-	-	-
<i>Экзамен</i>	7,8	5	5
<i>Контроль</i>		9	9

1.1. Цель преподавания дисциплины

Цель дисциплины — формирование у будущего инженера-электрика системы знаний и практических навыков, необходимых для решения задач, связанных с электроснабжением промышленных и сельскохозяйственных предприятий, городских и сельских населенных пунктов, зданий, сооружений, фермерских хозяйств, крестьянских подворий.

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- основные требования ГОСТов, ПУЭ, нормативных руководящих материалов по проектированию систем для производства и распределения электроэнергии, обеспечению надежного и экономичного электроснабжения сельских потребителей;
- современные методы расчетов электрических сетей и электрооборудования с учетом технических и экономических требований;
- методы и средства обеспечения надежности электроснабжения и качества электрической энергии, рационального использования электрической энергии и снижения ее потерь на передачу.

Студент должен уметь:

- оценить техническое состояние и определить перспективы развития системы электроснабжения потребителей сельских районов;
- выполнять расчеты электрических нагрузок, электрических сетей, токов коротких замыканий и замыканий на землю;
- выбирать электрическую аппаратуру и релейную защиту, средства обеспечения нормативного уровня надежности электроснабжения и качества электроэнергии.

1.3. Перечень дисциплин и тем, усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

Перед изучением данного курса студентом должны быть изучены следующие дисциплины и темы:

- высшая математика (обыкновенные дифференциальные уравнения, операционное исчисление, векторные и комплексные функции действительного переменного);
- физика (физические основы механики, термодинамика, электричество, электромагнетизм, оптика);
- инженерная графика (основы технического черчения);
- теоретическая механика (статика и динамика твердого тела);
- теоретические основы электротехники (линейные и нелинейные цепи постоянного тока, однофазные и трехфазные цепи синусоидального тока, переходные процессы в электрических цепях);
- электрические машины (электрические машины переменного тока);
- электрические измерения.

1.4. Нормы государственного стандарта 2000 г.

Трудоемкость по госстандарту – 170 часов, аудиторных занятий – 82 часов, самостоятельная работа – 88 часов.

Электрические нагрузки сельскохозяйственных предприятий; устройство наружных и внутренних электрических сетей, их расчет; регулирование напряжения в электрических сетях; токи короткого замыкания и замыкания на землю; перенапряжения и защита от них; электрическая аппаратура; сельские трансформаторные подстанции; релейная защита и автоматизация; сельские электростанции; надежность электроснабжения; качество электрической энергии; электроснабжение и рациональное использование электроэнергии; технико-экономические показатели установок сельского электроснабжения.

1.5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.5.1. Наименование тем, их содержание

Введение. Развитие электроэнергетики России и зарубежных стран. Современное состояние и перспективы развития электрификации промышленности и сельского хозяйства России и Республики Коми. Объединение электростанций в энергосистемы. Единая энергетическая система России. Номинальные напряжения электроустановок. (1 час)

1. Задачи электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства. Особенности электроснабжения промпредприятий и сельского хозяйства, перспективы развития. Показатели качества электрической энергии и их нормативные значения по ГОСТ 13109-87. Влияние качества электрической энергии на работу электроприемников. Мероприятия по улучшению показателей качества электроэнергии. Контроль показателей качества электроэнергии.

Надежность электроснабжения. Категории потребителей по надежности электроснабжения. Требования к надежности электроснабжения потребителей первой, второй и третьей категорий. Схемы электроснабжения потребителей первой категории. Норма надежности электроснабжения потребителей первой, второй и третьей категорий. Ущерб от перерывов в электроснабжении. Способы и средства повышения надежности. Выбор средств повышения надежности электроснабжения. Обеспечение высоких технико-экономических показателей систем электроснабжения потребителей путем рационального использования электроэнергии и снижения ее потерь с помощью специальных мероприятий: организационных и технических. (1 час)

2. Электрические нагрузки промышленных и сельскохозяйственных потребителей. Характеристика производственных и коммунально-бытовых потребителей. Электриче-

ские нагрузки, графики электрических нагрузок: суточные, годовые, годовые по продолжительности, время использования максимума нагрузок и время максимальных потерь. Понятие установленной и максимальной расчетной мощностей, расчетного периода.

Определение средних нагрузок и расхода электроэнергии. Расчетная нагрузка по нагреву; принцип максимума средней нагрузки. Основные методы определения расчетных нагрузок: упорядоченных диаграмм (промпредприятия) и статистический, вероятностный (сельское хозяйство), вспомогательные методы – коэффициента спроса, удельной мощности на единицу площади, удельного расхода электроэнергии. Определение нагрузок однофазных электроприемников. Определение расчетных нагрузок электрических сетей с помощью коэффициентов одновременности для сельскохозяйственных потребителей на напряжении 0,38 кВ, распределительной сети и 6-110 кВ питающей сети, а также ТП 6-110 кВ. Определение пиковой нагрузки. Расчетная реактивная нагрузка. Практические приемы определения электрической нагрузки на вводе в дом, в группу домов, на участках линий электропередачи напряжением 0,38, 6, 10, 35, 110 кВ, на шинах подстанций напряжением 10/0,4 кВ, 35-110/10 кВ и т.д. (7 часов)

3. Устройство наружных и внутренних электрических сетей. Классификация электрических сетей. Конструкция и марки проводов для воздушных линий и внутренних проводок, конструкции и марки силовых кабелей напряжением до 10 кВ. Классификация и конструкции опор, методы пропитки деревянных опор. Изоляторы и линейная арматура. Активные и индуктивные сопротивления проводов и кабелей. Устройство наружных и внутренних электрических сетей. Вводы в здания. (1 час)

4. Расчеты электрических сетей Задачи расчета электрических сетей. Падение и потеря напряжения в трехфазных линиях переменного тока. Понятие о регулировании напряжения.

Расчет электрических сетей по экономическим показателям. Приведенные затраты на передачу электрической энергии. Основные понятия о потерях электрической энергии в линиях и трансформаторах. Влияние коэффициента мощности нагрузки на потери электрической энергии. Выбор проводов по экономической плотности тока и экономическим интервалам. “Магистральный метод” выбора сечений проводов. Расчет сечений проводов по минимуму расхода металла.

Выбор сечений проводов внутренних проводок по нагреву. Нагревание проводов и кабелей током нагрузки. Длительно допустимые нагрузки для проводов и кабелей разных марок в зависимости от условий прокладки. Выбор сечений проводов, плавких вставок и автоматических выключателей в сетях напряжением до 1 кВ.

Расчет электрических сетей по допустимой потере напряжения. Расчет разомкнутых линий трехфазного тока с равномерной нагрузкой фаз. Расчет линий с двухсторонним питанием. (8 часов)

5. Регулирование напряжения в электрических сетях. Отклонения напряжения и их влияние на работу электроприемников. Влияние различных элементов электрической установки на отклонение напряжения. Определение допустимой потери напряжения. Проверка сети на кратковременные понижения напряжения при пуске электродвигателей.

Методы регулирования напряжения в сельских электрических сетях. Стабилизация или встречное регулирование напряжения. Выбор закона регулирования напряжения на шинах центров питания. Основные средства регулирования напряжения (на генераторе, сетевые регуляторы напряжения, конденсаторы продольного и поперечного присоединения). (2 часа)

6. Механический расчет воздушных линий. Механический расчет проводов. Определение механических нагрузок на провода. Уравнение состояния провода в пролете. Критический пролет, выбор режима максимального напряжения в проводе. Критическая температура, выбор условий максимальной стрелы провеса провода в пролете. Монтажные таблицы.

Механический расчет опор методом предельных состояний. Расчет горизонтальных и вертикальных сил, действующих на опору. Изгибающий момент в опасных сечениях опоры и проверка прочности опоры. Закрепление опоры в грунте. (1 час)

7. Токи короткого замыкания и замыкания на землю. Общие сведения о коротких замыканиях и замыканиях на землю. Виды, причины и последствия коротких замыканий. Задачи расчета токов короткого замыкания. Допущения при расчете токов короткого замыкания.

Расчет токов короткого замыкания в относительных базисных единицах, в именованных единицах. Составление расчетных схем. Определение сопротивлений элементов схемы. Начальный период короткого замыкания в сетях, питающихся от мощных энергосистем. Ударный ток короткого замыкания, ударный коэффициент. Схемы замещения синхронного генератора в процессе короткого замыкания. Определение тока короткого замыкания по расчетным кривым. Метод симметричных составляющих, его основные положения. Параметры элементов электрической системы обратной и нулевой последовательностей (синхронная машина, трансформаторы и автотрансформаторы, воздушные и кабельные линии, асинхронные двигатели). Понятия комплексных расчетных схем замещения. Алгоритм расчета тока несимметричного короткого замыкания. Сравнение токов различных видов к.з.

Определение токов короткого замыкания в сельских сетях напряжением выше 1 кВ, питаемых от мощных энергосистем. Особенности расчета токов короткого замыкания в сельских сетях напряжением 380 В. Способы заземления нейтрали. Замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью. Компенсация токов замыкания на землю. (14 часов)

8. Перенапряжения и защита от них. Классификация напряжений. Грозовые (атмосферные) перенапряжения. Интенсивность грозовой деятельности. Защита установок от прямых ударов молнии. Стержневые и тросовые молниеотводы. Защита электроустановок от волн перенапряжений. Искровые промежутки, трубчатые и вентильные разрядники. Защита от перенапряжений электрических сетей напряжением до 1 кВ. (5 часов)

9. Электрическая аппаратура. Понятие об электрических контактах и электрической дуге постоянного и переменного тока, способы гашения электрической дуги. Автоматические выключатели напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители. Трансформаторы тока и напряжения и их выбор. Выключатели (масляные и безмасляные), выключатели нагрузки, короткозамыкатели, отделители, разъединители и приводы к ним. Тепловое и электродинамическое воздействие токов короткого замыкания. Выбор высоковольтной аппаратуры. (2 часа)

10. Сельские трансформаторные подстанции. Схемы электрических соединений и конструкция подстанций 110-35/10 кВ. Конструкции распределительных устройств районных трансформаторных подстанций.

Потребительские трансформаторные подстанции 35-10/0,4 кВ: схемы соединений, конструкции, типы, применяемая аппаратура.

Выбор мощности трансформаторов подстанции. Определение места расположения трансформаторной подстанции. (1 час)

11. Сельские электростанции. Типы электростанций, в том числе работающих от нетрадиционных возобновляемых источников энергии, и применяемые на них первичные двигатели. Электрические схемы соединений. Схемы автоматизации электростанций. Помещение для электростанций, порядок их обслуживания. Выбор мощности резервной электростанции. (2 часа)

12. Техничко-экономические показатели работы систем сельского электроснабжения. Основные положения технико-экономических расчетов. Капитальные вложения в электрические сети. Годовые эксплуатационные расходы по сельским электрическим сетям. Затраты на производство и передачу электроэнергии. Техничко-экономическое обоснование выбора лучшего варианта средств повышения надежности электроснабжения. (2 часа)

13. Проектирование систем электроснабжения. Выбор схем электрических линий и трансформаторных подстанций. Обеспечение при проектировании нормативных уровней качества электроэнергии и надежности электроснабжения. Проектирование электропроводов в производственных и общественных зданиях. (3 часа)

Всего – 50 часов

1.5.2. Наименование практических занятий

1. Номинальные напряжения элементов схемы электроснабжения. (0,5 часа)
2. Расчет электрической нагрузки на участках ВЛ 380 В в населенном пункте, на участке ВЛ 10 кВ, на подстанциях 10/0,4 кВ и 35-110/10 кВ. (1,5 часа)
3. Расчет времени использования максимума нагрузки, времени потерь, тока среднеквадратического по годовому графику электрической нагрузки. (1 час)
4. Расчет внутренних проводок из условий нагрева. (0,5 часа)
5. Расчет потерь напряжения в ВЛ 0,38 кВ, в ВЛ 10 кВ. (1,5 часа)
6. Выбор сечений проводов в ВЛ 35-110 кВ по экономической плотности тока. Выбор сечений проводов в ВЛ 10 кВ по экономическим интервалам с учетом технических ограничений по показателям качества электрической энергии и надежности электроснабжения. (1 час)
7. Выбор сечений проводов на участках линий 0,4 кВ по экономическим интервалам. (1 час)
8. Расчет линий с двухсторонним питанием. (1,5 часа)
9. Определение допустимой потери напряжения в линиях 10 и 0,38 кВ путем составления таблиц отклонения напряжения. (1 час)
10. Расчет токов короткого замыкания в именованных единицах. (1,5 час)
11. Расчет токов короткого замыкания в относительных базисных единицах. (1 час)
12. Расчет токов короткого замыкания по расчетным кривым. (2 часа)
13. Расчет токов короткого замыкания в сетях свыше 1 кВ при питании от энергосистемы большой мощности. (0,5 часа)
14. Расчет токов короткого замыкания в сетях 0,38 кВ. (1 час)
15. Выбор аппаратуры на подстанции. (0,5 часа)

Всего – 16 часов

1.5.3. Лабораторные занятия

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Исследование графиков электрических нагрузок промышленных предприятий и сельскохозяйственных потребителей (4 часа).
2. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции (4 часа).
3. Методы практического расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания (4 часа).
4. Расчет тока трехфазного короткого замыкания с использованием метода индивидуального затухания (4 часа).

Всего – 16 часов

1.6. Содержание курсового проекта

Курсовое проектирование выполняется в соответствии с учебным планом подготовки инженеров по специальности 110302 – «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». Для выполнения курсового проекта задаются следующие исходные [31].

1. Для цеха №1 промышленного предприятия, план которого приведен в приложении П1 (рис., 4 плана по вариантам), получающего электропитание непосредственно с шин низкого напряжения ТП-1, примыкающего непосредственно к средней части стены цеха №1 и связанного с ГПП двумя воздушными линиями номинальным напряжением 6,3 или 10,5 кВ, произвести перечисленные ниже мероприятия и расчеты с выбором схем и электрооборудования.

1.1. Наметить узлы питания электроприемников (ЭП) станков (силовые шкафы, распределительные шинопроводы).

1.2. Определить расчетные нагрузки по узлам питания и по цеху в целом методом коэффициентов использования и максимума (метод упорядоченных диаграмм).

1.3. Определить сечение проводов, кабелей и токоведущих шин сети цеха.

2. Для РП-1, получающего питание от ТП-1 по кабельной линии №1, напряжением 0,38 кВ произвести перечисленные ниже мероприятия и расчеты с выбором схем и электрооборудования.

2.1. Методом упорядоченных диаграмм определить расчетную нагрузку маломощного цеха №2 предприятия (РП-5), питающегося по кабельной линии №2.

2.2. Определить суммарную нагрузку РП-1. Данные по РП-2 – РП-4 приведены в приложении (табл.) [31].

2.3. Произвести выбор сечений распределительных кабельных линий КЛ-1 и КЛ-2. Выбор сечения жил кабелей произвести по длительно допустимому току. Способ прокладки кабельных линий №1 и №2 выбирается из табл. [31]).

3. Произвести разработку проекта электроснабжения местности сельского населенного пункта, получающего электроснабжение от двухтрансформаторной подстанции (условно ТП-2) по двум независимым ВЛ-2 от ТП-1, и по ВЛ-1 от ГПП (рис.). Напряжение низкой стороны трансформаторов ГПП, а, следовательно, и ВЛ-1, ВЛ-2 в зависимости от варианта принимаются равными 6,3 или 10 кВ (табл.).

3.1. Выполнить расчет электрических нагрузок по исходным данным, приведенным в табл. и произвести выбор месторасположения потребительской подстанций и разработку электрической сети напряжением 0,38 кВ населенного пункта, план которого приведен на рис. (4 плана по вариантам).

3.2. Произвести выбор марки и сечения проводов ВЛ-2. Выбор сечения проводов произвести по методу экономических интервалов и проверить по длительно допустимому току.

4. Выбрать число и мощность трансформаторов ТП-1, питающей РП-6 (цех №1), РП-1 (цех №2) и ТП-2 (одной или двух), питающей сельский населенный пункт. Схемы соединения обмоток высокого и низкого напряжения приведены в задании (приложение 1).

5. Произвести выбор марки и сечения проводов ВЛ-1. Выбор сечения проводов произвести по методу экономических интервалов и проверить эту ВЛ совместно с ВЛ-2 и КЛ1 и КЛ-2 на величину допустимой потери напряжения наиболее приближенных и удаленных потребителей в режиме максимальных минимальных нагрузок.

6. Выполнить расчет мощностей и токов электрической сети в нормальном режиме, режимах пуска электродвигателей приемников и трехфазного, двухфазного и однофазного коротких замыканий. Величину тока трехфазного к.з. на шинах высшего напряжения ГПП принять равной, в соответствии с заданным вариантом (табл.).

7. Произвести выбор электрической аппаратуры для схемы (рис. 1) питающих ВЛ1 и ВЛ-2 (высоковольтных выключателей) и распределительной КЛ-1, КЛ-2 (предохранителей и автоматов) сетей. Рассчитать токи плавких вставок предохранителей и уставок расцепителей автоматов (АВ) не менее трех потребителей цеха №1, полностью для питания цеха №2 и только наиболее крупных потребителей сельского населенного пункта.

8. Начертить план силовой электрической сети цеха №1.

9. Начертить схему силовой питающей и распределительной сетей цеха №2 с указанием сечения проводов, кабелей, параметров отключающей и защитной аппаратуры и электроприемников.

10. Начертить план размещения ЭП сельского населенного пункта, с указанием места расположения ТП-2 и схемы распределительных сетей. На схеме указать основные параметры распределительных линий, а также основные параметры защитной аппаратуры.

1.7. Самостоятельная работа и контроль успеваемости

Очная форма обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе	25	Экзамен
2. Подготовка к лабораторным работам	8	ОЛР
3. Подготовка к практическим занятиям	8	КО
4. Выполнение индивидуального курсового проекта	25	КП
5. Подготовка к экзамену	22	Экзамен
Всего	88	

Текущая успеваемость студентов контролируется опросом лабораторных работ (ОЛР), контрольным опросом на практике (КО), проверкой выполнения индивидуальных контрольных работ (КР) и домашних заданий на практических занятиях и домашней курсовой работы (ДКР). Успеваемость студентов определяется на коллоквиумах и на экзамене.

Заочная форма обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка материала по учебной и методической литературе	5	Экзамен
2. Самостоятельное изучение тем, не рассмотренных на лекциях	50	Экзамен
3. Подготовка к лабораторным работам	2	ОЛР
4. Подготовка к практическим занятиям	4	КО
5. Выполнение индивидуального курсового проекта	38	КП
6. Выполнение контрольных работ	20	КР
7. Подготовка к экзамену	20	Экзамен
Всего	139	

Сокращённая форма обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка материала по учебной и методической литературе	12	Экзамен
2. Самостоятельное изучение тем, не рассмотренных на лекциях	30	Экзамен
3. Подготовка к лабораторным работам	4	ОЛР
4. Подготовка к практическим занятиям	4	КО
5. Выполнение курсового проекта	42	КП
6. Подготовка к экзамену	20	Экзамен
Всего	112	

1.8. Распределение часов по темам и видам занятий

Очная форма обучения

№ раздела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекций	Лаб. раб.	Практич.	Самост. работа	
	Введение	1,5	1	–	–	0,5	Экзамен
1.	Задачи электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства	2,5	1	–	0,5	1	Экзамен, КО
2.	Электрические нагрузки промышленных и сельскохозяйственных потребителей	16,5	7	4	2	3,5	ДКР, экзамен, КО
3.	Устройство наружных и внутренних электрических сетей	3	1	–	–	2	ОЛР, ДКР
4.	Расчет электрических сетей	20	8	–	4	8	ОЛР, ДКР, КО
5.	Регулирование напряжения в электрических сетях	6	2	-	2	2	ОЛР, ДКР, КО
6.	Механический расчет воздушных линий	3	1	–	–	2	Экзамен
7.	Токи короткого замыкания и замыкания	34	14	8	4	8	ОЛР, ДКР, КО
8.	Перенапряжения и защита от них	7	5	–	–	2	Экзамен, КО
9.	Электрическая аппаратура	6	2	–	–	4	Экзамен, ОЛР, КО,
10.	Сельские трансформаторные подстанции	7,5	1	4	0,5	2	Экзамен, КО
11.	Сельские электростанции	5	2	–	1	2	Экзамен, КО
12.	Технико-экономические показатели работы систем сельского электроснабжения	5	2	–	1	2	Экзамен, КО, ДКР
13.	Проектирование систем электроснабжения	6	3	–	1	2	Экзамен, КО
14.	Выполнение индивидуального курсового проекта	25	–	–	–	25	КП
15.	Подготовка к экзамену	22	–	–	–	22	Экзамен
Всего		170	50	16	16	88	

Заочная форма обучения

№ раздела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекций	Лаб. Раб	Практич.	Самост. Работа	
	Введение	1,5	0,5	–	–	1	Экзамен
1.	Задачи электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства	5,5	0,5	–	–	5	Экзамен, КО
2.	Электрические нагрузки промышленных и сельскохозяйственных потребителей	12,5	1,5	–	1	8	КР, экзамен, КО
3.	Устройство наружных и внутренних электрических сетей	8	1	–	–	7	ОЛР, КР
4.	Расчет электрических сетей	22	2	2	1	10	ОЛР, КО
5.	Регулирование напряжения в электрических сетях	11	1	2	–	8	ОЛР, ДКР, экзамен
6.	Механический расчет воздушных линий	5	–	–	1	4	КО
7.	Токи короткого замыкания и замыкания	12	1	–	2	10	ОЛР, КР, ДКР
8.	Перенапряжения и защита от них	5	0,5	–	0,5	4	Экзамен, КО
9.	Электрическая аппаратура	10	0,5	–	0,5	1	ОЛР, КО
10.	Релейная защита и автоматизация	13	0,5	–	0,5	9	ДКР, экзамен, КО
11.	Сельские трансформаторные подстанции	7	0,5	–	0,5	4	Экзамен, КО
12.	Сельские электростанции	7	0,5	–	0,5	6	Экзамен
13.	Технико-экономические показатели работы систем сельского электроснабжения	6	0,5	–	0,5	4	КР, экзамен
14.	Проектирование систем электроснабжения	4,5	0,5	-	-	4	
15.	Выполнение контрольных работ	40	–	–	–	20	ДКР
16.	Выполнение индивидуального курсового проекта	43	–	–	–	20	КП
17.	Подготовка к экзамену	20	–	–	–	14	Экзамен
	Контроль	9					
	Всего	170	10	4	8	139	

Сокращённая форма обучения

№ раздела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекций	Лаб. Раб	Практич.	Самост. Работа	
	Введение	2	-	-	-	2	Экзамен
1.	Задачи электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства	6	-	-	-	6	Экзамен, КО
2.	Электрические нагрузки промышленных и сельскохозяйственных потребителей	2	1	-	1		КР, экзамен, КО
3.	Устройство наружных и внутренних электрических сетей	18	1	-	-	7	ОЛР, КР
4.	Расчет электрических сетей	7	-	-	1	5	ОЛР, КО
5.	Регулирование напряжения в электрических сетях	12	-	-	-	12	ОЛР, ДКР, экзамен
6.	Механический расчет воздушных линий	17	-	-	1	6	КО
7.	Токи короткого замыкания и замыкания	16	-	2	-	4	ОЛР, КР, ДКР
8.	Перенапряжения и защита от них	5,5	1	-	0,5	4	Экзамен, КО
9.	Электрическая аппаратура	1,5	1	-	0,5		ОЛР, КО
10.	Релейная защита и автоматизация	5,5	1	-	0,5	4	ДКР, экзамен, КО
11.	Сельские трансформаторные подстанции	8,5	-	2	0,5	6	Экзамен, КО
12.	Сельские электростанции	7,5	1	-	0,5	6	Экзамен
13.	Технико-экономические показатели работы систем сельского электроснабжения	5,5	1	-	0,5	4	экзамен
14.	Проектирование систем электроснабжения	5	1	-	-	4	экзамен
15.	Выполнение индивидуального курсового проекта	32	-	-	-	32	КП
16.	Подготовка к экзамену	10	-	-	-	10	Экзамен
	Контроль	9					
	Всего	170	8	4	6	112	

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

2.1. Требования к выполнению РГР и контрольных работ

1. Каждая работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой должны быть указаны: наименование факультета и номер группы. Фамилия, инициалы и шифр студента, номер работы.

2. На каждой странице оставляют поля шириной не менее 3 см.

3. Текст, формулы и числовые выкладки вписываются четко и без помарок.

4. Электрические схемы вычерчиваются с помощью инструментов с соблюдением ГОСТов.

5. Буквенные обозначения и единицы физических величин должны соответствовать ГОСТу.

6. При числовых расчетах придерживаются определенного порядка: искомую величину выражают формулой, затем подставляют известные значения величин, записывают результат расчета и единицы измерения.

7. Расчеты рекомендуется выполнять до трех или четырех значащих цифр.

8. В конце работы приводится ссылка на методические указания и используемую литературу, ставится дата выполнения и подпись.

Если РГР или контрольная работа не зачтена или не допущена к защите при условии внесения исправлений, то все необходимые поправки делают в конце работы в разделе «Работа над ошибками». Нельзя вносить какие либо исправления в текст, расчеты или графики, просмотренные преподавателем.

2.2. Методические указания к выполнению контрольных работ

Контрольная работа №1

Выбрать число и мощность трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) крупного предприятия. Известны:

- максимальная полная нагрузка электроприемников предприятия (по вариантам);
- высокое и низкое напряжение ГПП (по вариантам);
- интервалы суточного графика нагрузки наиболее загруженных суток в относительных единицах (о.е.) по отношению к максимальной нагрузке (по вариантам);
- годовой график нагрузок по продолжительности в относительных единицах (о.е.) по отношению к максимальной нагрузке (по вариантам);
- доля приемников электроэнергии 1-й категории в о.е. к максимуму нагрузки (по вариантам).
- стоимость 1 кВтч электроэнергии (по вариантам).

Контрольная работа № 2

Задание № 1

Для начального момента времени ($t = 0$) аналитическим методом в системах именованных и относительных единиц требуется рассчитать сверхпереходные токи для всех видов к.з.

Задание № 2

Рассчитать сверхпереходные токи трехфазного короткого замыкания и токи короткого замыкания для моментов времени $t = 0,2$ с и $t = \infty$ на элементах системы, указанных на рис. 4 по данным, приведенным в табл. 11 и 12.

Методические указания к выполнению заданий контрольной работы № 2

1. **Схема замещения.** При расчетах токов к.з. составляют расчетную схему, в которую вводят все участвующие в питании источники тока (генераторы, синхронные компенсаторы, синхронные и асинхронные электродвигатели) и все элементы (трансформаторы, воздушные и кабельные линии, реакторы), связанные между собой и с местом к.з. Мощные источники питающей системы можно вводить в схему как источники неограниченной мощности. Схемы замещения выполняются в однолинейном изображении с указанием на них порядковых номеров сопротивлений, их величин, выраженных в относительных единицах, приведенных к базисной мощности, или, реже, в именованных (Ом), приведенных к одной ступени напряжения.

Генераторы вводятся в схему замещения своими сверхпереходными фазными э.д.с. E_{ϕ}'' и сопротивлениями x_d'' . Если известен предшествующий режим работы генератора, то величину сверхпереходной э.д.с. определяют по формуле

$$E_{\phi}'' = \sqrt{(U_{\phi 0} + I_0 \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_0)^2 + (I_0 \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_0)^2}, \quad (6)$$

где $U_{\phi 0}$, I_0 , φ_0 – предшествующие к.з. фазные напряжения, ток и угол сдвига между их векторами.

Все генераторы до возникновения к.з. работают с номинальной нагрузкой, т.е. в относительных единицах $I_{\phi 0} = 1$, $U_{\phi 0} = 1$ и $\cos \varphi_0 = 0,8$. В приближенных расчетах, когда нет данных о сверхпереходном сопротивлении x_d'' , для турбогенераторов принимается $E_{\phi}'' = 1,08$, для гидрогенераторов $-E_{\phi}'' = 1,13$. Для асинхронных электродвигателей сверхпереходную э.д.с. следует определять по формуле

$$E_{\phi}'' = \sqrt{(U_{\phi 0} - I_0 \cdot x'' \cdot \sin \varphi_0)^2 + (I_0 \cdot x'' \cdot \cos \varphi_0)^2}. \quad (7)$$

Для эквивалентного источника (системы) $E_{\phi}'' = E_{\phi} = U_{\phi}$. Эквивалентные, обобщенные нагрузки вводятся в схему замещения в точках их действительного присоединения. Относительная реактивность нагрузки при их полной рабочей мощности и среднем номинальном напряжении той ступени, где они присоединены, принимается равной $x_{\text{нагр}}'' = 0,35$, а сверхпереходная э.д.с. $-E_{\phi, \text{нагр}}'' = 0,85 U_{\phi}$. В дальнейшем индекс «ф» будет опускается.

Для расчета несимметричных к.з. необходимо составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Схема замещения прямой последовательности является обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима.

Схема замещения обратной последовательности по структуре аналогична схеме прямой последовательности. Различие между ними состоит только в том, что в схеме обратной последовательности э.д.с. всех генерирующих ветвей принимают равными нулю. Началом схемы обратной последовательности является точка, объединяющая начала всех генераторных ветвей и нагрузочных ветвей. В конце схемы (в точке к.з.) приложено напряжение U_{K2} .

В практических приближенных расчетах обычно принимают: для генераторов $x_2 \approx x_d''$, а для системы неограниченной мощности $x_1 = x_2 = 0$, поэтому результирующее сопротивление обратной последовательности получается равным результирующему сопротивлению прямой последовательности, т.е. $x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma}$.

Вид схемы замещения нулевой последовательности зависит от схемы сети высшего напряжения (110 кВ и выше), количества трансформаторов и автотрансформаторов и схемы соединения их обмоток. Ее составление следует начинать с точки к.з. для того, чтобы проследить возможные пути протекания токов нулевой последовательности. Циркуляция токов нулевой последовательности имеет место только в том случае, если есть хотя бы одна заземленная нейтраль электрически связанная с точкой несимметрии. Обмотки трансформаторов и автотрансформаторов, соединенные в Δ или Y без заземленной нейтрали ограничивают пути циркуляции токов нулевой последовательности, поэтому элементы сети, присоединенные к этим обмоткам в схеме замещения отсутствуют рис. 5 [1, 3]. Началом схемы нулевой последовательности считают точку, в которой объединены ветви с нулевым потенциалом, а ее концом – точку, где возникла несимметрия.

При соединении первичной обмотки Y_0 и при протекании в ней токов нулевой последовательности эти токи будут протекать и во вторичной обмотке, соединенной в треугольник. Пренебрегая сопротивлением намагничивания в схеме замещения, получим, что сопротивление нулевой последовательности z_0 равно сопротивлению прямой последовательности z_1 (рис. 5). Однако, как уже отмечалось, обмотка, соединенная в треугольник, является последним контуром, обтекаемым токами нулевой последовательности, поэтому ее предполагают соединенной с землей, представляющей «обратный провод» для этих токов.

При соединении обмоток Y/Δ токи нулевой последовательности в трансформаторе протекать не могут и сопротивление $z_0 = \infty$.

Если токи нулевой последовательности протекают в обмотке трансформатора с соединением обмоток $Y/Y_0 - 12$, то элементом, замыкающим цепь для этих токов в схеме замещения, может служить лишь намагничивающая ветвь, сопротивление которой z_{m0} определяется потоками намагничивания нулевой последовательности. Проводимость для этих токов, а следовательно, и $z_{\mu 0}$ зависит от конструкции трансформатора. Для трехфазных стержневых трансформаторов величина z_{m0} может колебаться в широких пределах и составляет

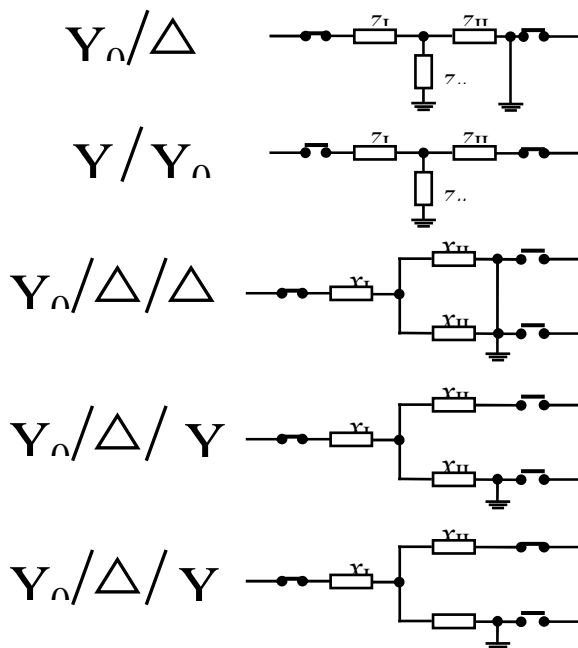


Рис. 5. Схемы замещения двух- и трехобмоточных трансформаторов для токов нулевой последовательности.

здесь $z_{\mu 0} = 0,3 - 1,0$, в то время как для групп однофазных трансформаторов и трехфазных трансформаторов $z_{\mu 0} = 10 - 40$. Общее сопротивление нулевой последовательности при соединении $Y/Y_0 - 12$ равно $z_0 = z_n + z_{\mu 0} \approx z_1/2 + z_{\mu 0}$.

Для сопротивлений нулевой последовательности трехобмоточных трансформаторов справедливы те же положения, что и для двухобмоточных трансформаторов. Следует, однако, иметь в виду, что трехобмоточными выполняются обычно только очень мощные трансформаторы и активными сопротивлениями обмоток таких трансформаторов можно пренебречь. Поэтому на рис. 5 и в выражениях (8) и (9) вместо сопротивлений z используются x . Кроме того, в трехобмоточных трансформаторах одна из обмоток всегда соединена в треугольник, и поэтому, независимо от конструкции трансформатора, можно пренебрегать сопротивлением намаг-

ничивания $x_{\mu 0}$, которое в схеме замещения всегда шунтируется сопротивлением обмотки, соединенной в треугольник (рис. 5).

Первичной будем считать обмотку, соединенную в звезду с выведенной нейтралью. При двух других обмотках, соединенных в треугольник, токи нулевой последовательности протекают во всех трех обмотках и сопротивление нулевой последовательности трансформатора равно

$$x_0 = x_I + \frac{x_{II} \cdot x_{III}}{x_{II} + x_{III}} \quad (8)$$

Если третья обмотка соединена в звезду с изолированной нейтралью и токи нулевой последовательности в ней не протекают, сопротивление нулевой последовательности

$$x_0 = x_I + x_{III} \quad (9)$$

Наконец, при соединении третьей обмотки в звезду с выведенной нейтралью сопротивление нулевой последовательности определяется по полной схеме замещения трансформатора.

При протекании тока прямой последовательности в фазе воздушной линии взаимодукция с другими фазами уменьшает сопротивление фазы, а при протекании тока нулевой последовательности увеличивает его. По этой причине x_1 и x_0 воздушной линии резко различаются между собой. В табл. 13 даны значения отношения x_0/x_1 , по которому по известной величине x_1 легко определить сопротивление нулевой последовательности x_0 воздушной линии.

Параметры несимметричного режима нагрузки в значительной степени определяются ее характером. При преобладании осветительной нагрузки по аналогии с сопротивлениями линий и трансформаторов $z_{2н} = z_{1н}$. При преобладании двигательной нагрузки ее сопротивление обратной последовательности представляет собой сопротивление эквивалентной асинхронной машины, работающей в режиме тормоза при скольжении $s = 2$. Приблизительно это сопротивление можно принимать равным сопротивлению заторможенного двигателя. При расчетах крупных систем его обычно принимают в относительных единицах $z_{2н} = 0,35$ (по отношению к полной рабочей мощности нагрузки). При расчете сельских систем и при необходимости учета активной составляющей в сопротивлении обратной последовательности асинхронной нагрузки можно приближенно принимать $z_{2н} = 0,3e^{j60^\circ}$. В схему нулевой последовательности должна быть включена лишь осветительная нагрузка, питающаяся от четырехпроводной системы в низковольтной установке. В этом случае $z_{0н} = z_{1н}$.

В практических расчетах сопротивление нагрузки в схему нулевой последовательности обычно не включают.

Таблица 13

Соотношения для сопротивлений нулевой и прямой последовательностей ВЛ 110-220 кВ

№	Исполнение линии	Отношение $x_{0ВЛ} / x_{1ВЛ}$	
		одноцепные	двухцепные
1	без тросов	3,5	5,5
2	со стальными тросами	3,0	4,7
3	с тросом высокой проводимости	2,0	3,0

2. **Определение параметров элементов схемы замещения, приведение их к базисным величинам.** Для расчетов токов коротких замыканий применяют либо системк именованных единиц, либо – базисных, относительных единиц.

Именованная система единиц состоит в том, что каждый из входящих в схему элементов выражается своим сопротивлением z , приведенным к одному напряжению (обычно это напряжение ступени, для которой производится расчет токов к.з.), которое называют базисным. За базисное, как правило, принимают номинальное напряжение одной из ступеней, умноженное на коэффициент 1,05, называемое средним номи-

нальным напряжением (0,4; 0,66; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 21; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515 кВ и т. д.).

Приведенные значения, (в литературе обозначаются $(E_0) \overset{\circ}{E}$ или $(I_0) \overset{\circ}{I}$) определяются по формулам:

$$(E_0) \overset{\circ}{E} = E \frac{U_6}{U_H}; \quad (I_0) \overset{\circ}{I} = I \frac{U_H}{U_6}; \quad \overset{\circ}{E} \overset{\circ}{I} = EI; \quad (10)$$

$$(z_0) \overset{\circ}{z} = \frac{\overset{\circ}{E}}{\sqrt{3} \overset{\circ}{I}} = \frac{E}{\sqrt{3}} \frac{U_6}{U_H} \frac{U_6}{U_H} \frac{1}{I} = z \frac{U_6}{U_H}^2 = z k_m, \quad (11)$$

где k_T – коэффициент трансформации трансформаторов, соединяющих ступень с базисным напряжением со ступенью напряжения, рассчитываемого элемента системы.

Базисная система единиц основана на представлении любых физических величин не в обычных для них именованных единицах, а в безразмерных, выраженных в долях по отношению и некоторым соответствующим величинам, принятым в качестве основных или базисных. Эту систему часто называют системой относительных единиц (о.е.). Так как ток, напряжение и сопротивление связаны между собой законом Ома, а мощность равна произведению тока на напряжение, то для получения значений всех базисных величин, к которым необходимо приводить все параметры, достаточно задаться значениями только двух. Например, если за базисный ток и базисное напряжение принять величины I_6 и U_6 , то $S_6 = \sqrt{3} U_6 I_6$

и $z_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3} I_6}$. Таким образом, при выбранных базисных условиях относительные значения $E_{*6} = E/U_6$; $I_{*6} = I/I_6$; $U_{*6} = U/U_6$; $S_{*6} = S/S_6$; $z_{*6} = z/z_6$.

При расчете в относительных единицах, как правило, задаются базисной мощностью (например, 100 или 1000 МВА) и базисным (средним) напряжением на ступени к.з. $U_6 = U_{cp}$.

Сопротивления элементов схемы замещения в относительных единицах, приведенные к базисным параметрам, определяют следующим образом:

– если оно задано в относительных единицах $x_{*(H)}$ при известных S_H и U_H (генераторы, трансформаторы), то

$$x_{*(6)} = x_{*(H)} \frac{S_6}{S_H} \frac{U_H^2}{U_{cp}^2} \approx x_{*(H)} \frac{S_6}{S_H}; \quad (12)$$

– если оно задано в процентах $x_{(H)} \%$ при известных I_H и U_H (реакторы), то

$$x_{*(6)} = \frac{x_{*(H)} \%}{100} \frac{I_6}{I_H} \frac{U_H}{U_{cp}} = \frac{x_{*(H)} \%}{100} \frac{U_H}{I_H} \frac{S_6}{U_{cp}^2}; \quad (13)$$

– в Омах x (воздушные и кабельные линии, реакторы) на единицу длины l :

$$x_{*(6)} = x_{уд} l \frac{S_6}{U_{cp}^2}; \quad x_{*(6)} = x_p \frac{S_6}{U_{cp}^2}. \quad (14)$$

В указанных формулах следует принимать U_{cp} той ступени, на которой находится данный элемент.

Определение сопротивлений основных элементов систем электроснабжения, при приближенном приведении для обеих систем единиц представлено в табл. 14.

3. Преобразование и упрощение схемы замещения и определение результирующего сопротивления $x_{*рез.} (z_{\Sigma})$ до точки короткого замыкания. Преобразование схемы замещения выполняется в направлении от источников питания к месту короткого замыкания. Для приведения к простейшему виду схемы замещения с несколькими источниками производят замену отдельных генерирующих ветвей с э.д.с. E_1, E_2, \dots, E_n и сопротивлениями z_1, z_2, \dots, z_n одной эквивалентной генерирующей ветвью (рис. 6).

Основными являются известные формулы преобразования для последовательного и параллельного соединения элементов, а также трехлучевой звезды в треугольник и обратно (курс ТОЭ). Основными видами преобразования схем являются следующие.

1. Сложение сопротивлений ряда последовательно соединенных элементов. Общее сопротивление в этом случае равно

$$z_{\Sigma} = z_1 + z_2 + \dots + z_n.$$

2. Сложение сопротивлений ряда параллельно соединенных элементов. Общее сопротивление

$$z_y = \frac{1}{1/z_1 + 1/z_2 + \dots + 1/z_n}.$$

Если в параллельных ветвях имеются э.д.с., то эквивалентная э.д.с., приложенная за общим сопротивлением z_{Σ} , равна

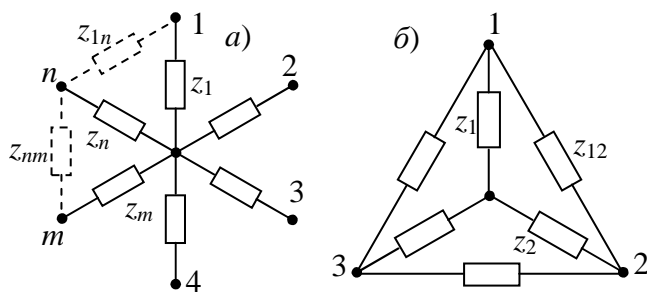


Рис. 7. К преобразованию звезды в эквивалентный многоугольник

$$\dot{E}_{\Sigma} = \frac{\dot{E}_1/z_1 + \dot{E}_2/z_2 + \dots + \dot{E}_n/z_n}{1/z_1 + 1/z_2 + \dots + 1/z_n} = \left(\frac{\dot{E}_1}{z_1} + \frac{\dot{E}_2}{z_2} + \dots + \frac{\dot{E}_n}{z_n} \right) z_{\Sigma}. \quad (15)$$

3. Любую звезду, имеющую n лучей-сопротивлений, можно преобразовать в эквивалентный n -угольник (рис. 7, а). При этом сопротивление z_{mn} между вершинами m и n эквивалентного многоугольника

$$z_{mn} = z_m z_n \sum_{i=1}^n \frac{1}{z_i}. \quad (16)$$

Если число лучей звезды не превышает трех, то возможно не только ее преобразование в эквивалентный треугольник, но и обратное преобразование треугольника в эквивалентную звезду. В этом случае сопротивления звезды и треугольника связаны следующими соотношениями (рис. 7, б).

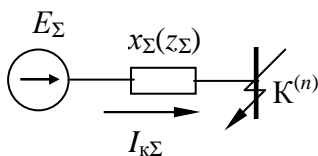


Рис. 6. Эквивалентная схема замещения сложной энергетической системы

Таблица 14

Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений

Элемент электроустановки	Исходный параметр	Именованные единицы (Ом)	Относительные единицы
Генераторы и синхронные электродвигатели	$x_{d^* \text{НОМ}}, S_{\text{НОМ}}$	$x = x_{d^* \text{НОМ}} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = x_{d^* \text{НОМ}} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
	$x_d \%, S_{\text{НОМ}}$	$x = \frac{x_d \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{x_d \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
Энергосистема	S_K	$x = \frac{U_6^2}{S_K}$	$x_* = \frac{S_6}{S_K}$
	$I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}$	$x = \frac{U_6^2}{\sqrt{3} I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} U_{\text{CP}}}$	$x_* = \frac{S_6}{\sqrt{3} I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} U_{\text{CP}}}$
Трансформатор двухобмоточный	$x_T \%, S_{\text{НОМ}}$	$x = \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
Трансформатор трехобмоточный, автотрансформатор	$x_{B-H} \%, x_{C-H} \%, x_{B-C} \%, S_{\text{НОМ}}$	$x_B = \frac{(x_{B-H} + x_{B-C} - x_{C-H})\%}{2 \cdot 100} \frac{U}{S_H}$ $x_C = \frac{(x_{C-H} + x_{B-C} - x_{B-H})\%}{2 \cdot 100} \frac{U}{S_H}$ $x_H = \frac{(x_{B-H} + x_{C-H} - x_{B-C})\%}{2 \cdot 100} \frac{U}{S_H}$	$x_{B^*} = \frac{(x_{B-H} + x_{B-C} - x_{C-H})\%}{2 \cdot 100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{C^*} = \frac{(x_{B-C} + x_{C-H} - x_{B-H})\%}{2 \cdot 100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{H^*} = \frac{(x_{B-H} + x_{C-H} - x_{B-C})\%}{2 \cdot 100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
Реактор	x_p	$x = x_p \frac{U_6^2}{U_{\text{CP}}^2}$	$x_* = x_p \frac{S_6}{U_{\text{CP}}^2}$
Линия электропередачи	$x_{\text{уд}}, l$	$x = x_{\text{уд}} l \frac{U_6^2}{U_{\text{CP}}^2}$	$x_* = x_{\text{уд}} l \frac{S_6}{U_{\text{CP}}^2}$

При замене трехлучевой звезды эквивалентным треугольником

$$z_{12} = z_1 + z_2 + \frac{z_1 z_2}{z_3}. \quad (17)$$

При замене треугольника эквивалентной звездой

$$z_1 = \frac{z_{12} z_{31}}{z_{12} + z_{23} + z_{31}}. \quad (18)$$

Формулы для других сторон треугольника и лучей звезды получаются из вышеприведенных круговой перестановкой индексов.

После приведения к одному результирующему сопротивлению z_{Σ} и к одной э.д.с. E_{Σ} определяют ток в точке к.з. Величины тока и напряжения в отдельных элементах схемы находят по основным законам ТОО постепенным обратным развертыванием схемы и приведением ее к первоначальному виду.

4. Расчет токов и напряжений в точке к.з. В зависимости от цели определения токов к.з. расчетные условия могут быть разными. Например, для выбора электрооборудования необходимо определять максимальный ток в месте к.з., для настройки релейной защиты и автоматики – минимальное значение тока к.з. и т.п. Величина тока к.з. зависит от его вида: однофазное (условное обозначение – 1); двухфазное (2); двухфазное на землю (1,1); трехфазное (3).

Периодическая составляющая тока к.з. для преобразованной схемы замещения энергосистемы (рис. 6) находится по формуле

$$I_{Yк}^{(n)} = \frac{E_Y}{z_Y^{(n)}} = \frac{E_{1Y}}{(z_{1Y} + z_D^{(n)})} \quad (19)$$

где $E_\Sigma, E_{1\Sigma}$ – результирующие э.д.с. схемы замещения при симметричном трехфазном к.з. и для схемы замещения прямой последовательности, равные между собой; $z_{1\Sigma}, z_{2\Sigma}$ – результирующие сопротивления схем замещения, относительно точки к.з., при симметричном трехфазном замыкании и схемы прямой последовательности, равные между собой; $z_\Delta^{(n)}$ – дополнительное сопротивление, зависящее от вида к.з. и результирующих сопротивлений схем обратной и нулевой последовательностей (для симметричного трехфазного к.з. равно нулю).

Периодическая составляющая тока поврежденной фазы в месте к.з.

$$I_K^{(n)} = m^{(n)} I_{Yк}^{(n)}, \quad (20)$$

где $m^{(n)}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида к.з.

Значения $z_\Delta^{(n)}$ и коэффициента $m^{(n)}$ для несимметричных к.з. приведены в табл. 15. Там же даны основные расчетные формулы для токов и напряжений в месте повреждения для различных видов несимметричных к.з. В табл. 15 вместо полного сопротивления z приведено реактивное, т.к. как правило в высоковольтных сетях сопротивление $r < x/3$ и его можно не учитывать.

Максимальное значение тока к.з. – ударный ток к.з. i_y определяется как:

$$i_y = \sqrt{2} k_y I_K, \quad (21)$$

где $k_y = 1 + e^{-0,01/\phi_{a3}}$ – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени затухания

$$\phi_{a3} = \frac{1}{\omega} \frac{x_{Yк}(r=0)}{r_{Yк}(x=0)}, \text{ т.е. от отношения } x_\Sigma/r_\Sigma \text{ (табл. 16).}$$

6. Расчеты токов короткого замыкания с использованием метода индивидуального затухания. При относительно небольшой электрической удаленности точки к.з. определение периодической слагающей тока к.з. можно производить при помощи так называемого метода индивидуального затухания, т.е. отдельно для генератора или группы генераторов, находящихся примерно в одинаковых условиях. При этом можно провести определение тока к.з. для произвольного момента времени с помощью расчетных кривых, построенных для турбогенераторов и гидрогенераторов (рис. 8 и 9) и представляющих собой зависимости периодической тока к.з. от расчетного сопротивления $x_{*расч.}$. Следует заметить, что кривыми для гидрогенераторов можно пользоваться и для определения тока к.з. от синхронных двигателей. Ток к.з. от источника неограниченной мощности определяется отдельно и прибавляется к токам от отдельных генераторов и двигателей.

Основные формулы, применяемые при расчете токов к.з.

Наименование и обозначение определяемых величин	Вид короткого замыкания		
	Двухфазное	Однофазное	2-хфазное на землю
Условное обозначение вида к.з (n)	(2)	(1)	(1,1)
Дополнительное сопротивление $x_{\Delta}^{(n)}$	$x_{2\Sigma}$	$x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}$	$\frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$
Коэффициент $m^{(n)}$	$\sqrt{3}$	3	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}$
Ток в месте к.з. прямой последовательности фазы A , \dot{I}_{A1}	$\frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right)}$
То же обратной последовательности, \dot{I}_{A2}	$-\dot{I}_{A1}$	\dot{I}_{A1}	$-\dot{I}_{A1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$
То же нулевой последовательности, \dot{I}_{A0}	0	\dot{I}_{A1}	$-\dot{I}_{A1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$
То же фазы A , \dot{I}_A	0	$3\dot{I}_{A1}$	0
То же фазы B , \dot{I}_B	$-j\sqrt{3}\dot{I}_{A1}$	0	$\left(a^2 - \frac{x_{2\Sigma} + a \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right) \cdot \dot{I}_{A1}$
То же фазу C , \dot{I}_C	$j\sqrt{3}\dot{I}_{A1}$	0	$\left(a - \frac{x_{2\Sigma} + a^2 \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right) \cdot \dot{I}_{A1}$
Напряжения в месте к.з. прямой последовательности фазы A , \dot{U}_{A1}	$jx_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	$j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}) \cdot \dot{I}_{A1}$	$j\left(\frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right) \cdot \dot{I}_{A1}$
То же обратной – фазы A , \dot{U}_{A2}	\dot{U}_{A1}	$-jx_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	\dot{U}_{A1}
То же нулевой – фазы A , \dot{U}_{A0}	0	$-jx_{0\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	\dot{U}_{A1}
То же фазы A , \dot{U}_A	$j2x_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	0	$3j\left(\frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right) \cdot \dot{I}_{A1}$
То же фазы B , \dot{U}_B	$-jx_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	$j[(a^2 - a)x_{2\Sigma} + (a^2 - 1)x_{0\Sigma}] \cdot \dot{I}_{A1}$	0
То же фазы C , \dot{U}_C	$-jx_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	$j[(a - a^2)x_{2\Sigma} + (a - 1)x_{0\Sigma}] \cdot \dot{I}_{A1}$	0

Отношение x_{Σ}/r_{Σ} и значение рекомендуемого ударного коэффициента k_y в сложных ЭС

№ п/п	Место к.з. и характеристика электрической сети	Отношение x_{Σ}/r_{Σ}	Ударный коэффициент k_y
1.	Сборные шины 6–10 кВ станций с генераторами мощностью 30–60 МВт	40 – 80	1,92 – 1,96
2.	За линейным реактором до 1000 А, присоединенным к сборным шинам станции по п. 1	20 – 60	1,85 – 1,95
3.	Сборные шины повышенного напряжения станций с трансформаторами мощностью 100 МВА (в единице) и выше	30 – 60	1,89 – 1,95
4.	То же с трансформаторами мощностью 30 – 100 МВА	20 – 50	1,85 – 1,94
5.	Сборные шины вторичного напряжения подстанций с трансформаторами мощностью 100 МВА выше; сопротивление трансформаторов составляет 90 % и выше результирующего сопротивления до места к.з.	20 – 40	1,85 – 1,92
6.	То же с трансформаторами мощностью 30–100 МВА (в единице)	15 – 30	1,81 – 1,89

Для определения тока к.з. от отдельных источников питания необходимо определить вклад каждого из них в общий ток к.з. Этот вклад оценивается так называемым расчетным сопротивлением ($x_{*расч.}$) цепи к.з. Его определение для сложных схем представляет собой довольно сложную процедуру и как правило основано на использовании коэффициентов распределения (C_i), представляющих собой токи в ветвях схемы, выраженные в относительных единицах по отношению к суммарному току в месте к.з. от рассматриваемых источников питания.

Применение метода расчетных кривых требует приведения результирующего сопротивления $x_{*рез.}$ к номинальным параметрам мощностей всех i -х источников, участвующих в питании точки к.з. с учетом участия каждого из источников по формуле

$$x_{\sigma*расч.i} = \frac{x_{*рез.}}{C_i}, \quad x_{н*расч.i} = \frac{x_{*рез.}}{C_i} \frac{S_{н}}{S_{\sigma}}. \quad (22)$$

При известном $x_{*расч.i}$ по соответствующим расчетным кривым находится относительный ток периодической слагаемой тока $I_{п}$ для тех моментов времени, для которых производятся вычисления. Искомое значение периодической слагающей сверхпереходного тока трехфазного к.з. $I_{*п}''$ от i -го источника определяется по формуле:

$$I_{*п}'' = I_{п} I_{н}, \quad (23)$$

где $I_{н} = \frac{S_{н}}{\sqrt{3}U_{н}}$ – суммарный номинальный ток i -го источника тока, отнесенный к напряжению $U_{н}$ той ступени, где рассматривается к.з.

Расчет токов к.з. с использованием метода индивидуального затухания производится в следующей последовательности (алгоритму).

а) определяется суммарное результирующее сопротивление $x_{*рез.}$, желательно в относительных единицах;

б) определяется расчетные сопротивления $x_{*расч.i}$ для отдельных i -х генерирующих ветвей в о.е., в том числе с использованием так называемых коэффициентов распределения C_i (см. пример, приведенный ниже);

в) по кривым затухания $I_{п} = f(x_{*расч.})$ определяются относительные токи для каждой i -ой генерирующей ветви;

г) определяется периодическая слагающая тока суммарного к.з. по выражению

$$I_{*п(t)} = I_{п(t)1} I_{н1} + I_{п(t)2} I_{н2} + \dots + I_{п(t)n} I_{нn}, \text{ где } I_{нi} = \frac{S_{нi}}{\sqrt{3}U_{нi}}. \quad (24)$$

Объединение источников мощности (питания) допустимо, если выполняется условие

$$\frac{S_1}{S_2} \frac{x_1}{x_2} = 0,4 \text{ ч } 2,5, \quad (25)$$

где x_1, x_2 – сопротивления в о.е., приведенные к базисной мощности.

При упрощении схемы можно пренебречь источниками питания меньшей мощности, если одновременно выполняются условия:

$$\frac{x_2}{x_1} \geq 20 \text{ и } \frac{S_2}{S_1} \leq 0,05, \quad (26)$$

где S_2 – источник питания с меньшей мощностью.

Если в объединяемых ветвях $x_{*расч.} > 3$, то объединение возможно во всех случаях. Нельзя объединять ветвь источника питания с неизменной э.д.с. (система бесконечной мощности) и ветвь источника питания с расчетным сопротивлением $x_{*расч.} > 3$.

Для турбогенераторов следует пользоваться расчетными кривыми рис. 8, для гидрогенераторов и синхронных двигателей – расчетными кривыми, рис. 9. Для последних, расчетное сопротивление $x_{*расч.}$ должно быть увеличено на 0,07. При этом для момента времени $t < 0,1$ с. следует пользоваться пунктирными кривыми, для остальных – сплошными кривыми.

Установившееся значение тока к.з. можно определить также пользуясь кривыми затухания: найти $I_{п}$ для $t = \infty$, а затем по формуле $I_{\infty} = I_{к}^{(3)} = I_{п} I_{н}$ определить искомый ток. При к.з. в точках, имеющих большую электрическую удаленность от генерирующих источников, можно считать ток к.з. незатухающим и тогда установившееся значение тока к.з. $I_{к}^{(3)} = I'' = I_{\infty}$. В этом случае ток трехфазного к.з. определяется их выражения:

$$I_{к}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{*рез.}}, \quad (27)$$

где $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{н}}$ – базисный ток для ступени напряжения, где производится расчет тока к.з., как правило $U_{н} = U_6$.

Помимо генераторов электрических станций в качестве источника тока при к.з. в некоторых случаях могут явиться и асинхронные двигатели. Приближенно можно считать, что схема замещения асинхронного двигателя аналогична схеме синхронного генератора, работающего в режиме недовозбуждения. Для асинхронного двигателя также может быть введено понятие переходной э.д.с. и переходного сопротивления.

Поскольку асинхронный двигатель потребляет активную и реактивную мощность из сети, значение этой э.д.с. меньше номинального напряжения сети и приблизительно может быть принято в относительных единицах равным $E_* = 0,9$. При этом сопротивление двигателя можно принимать индуктивным и равным в относительных единицах $x_* = 0,2$. Если, вследствие к.з., напряжение на зажимах двигателя окажется ниже $0,9U_{н}$, то двигатель может представлять собой дополнительный источник питания точки к.з. Физически появление тока к.з. от двигателя объясняется выдачей в момент к.з. электромагнитной энергии, запасенной в двигателе при нормальной работе двигателя.

Вследствие относительно больших активных сопротивлений обмоток двигателя посылаемый им ток к.з. чрезвычайно быстро затухает. В практических расчетах промышленных и сельских электрических сетей в качестве источника питания при определении тока к.з. в начальный момент времени следует учитывать лишь наиболее мощные асинхронные двигатели.

2.3. Типовые примеры

Пример 1 (к заданию № 1). Для схемы электрической системы (рис. 10) составить схему замещения и рассчитать ее параметры с «точным» приведением их значений к одной ступени напряжения. При расчете учитывается наличие в нагрузочном узле асинхронной двигательной нагрузки.

Исходные данные:

– генератор (Г):

$$S_H = 75 \text{ МВА}; U_H = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I_H = 4,125 \text{ кА}; x_d'' = 0,215 \text{ Ом};$$

$$\cos \varphi_H = 0,8;$$

– система (С): $U_C = 230 \text{ кВ};$

– трансформатор (Т): $S_H = 80 \text{ МВА}; u_K = 10,5\%; U_{BH} / U_{HH} = 121 / 10,5 \text{ кВ};$

– автотрансформатор (АТ): $S_H = 200 \text{ МВА}; u_{KBH} = 34\%; u_{KBC} = 10\%; u_{KCH} = 22,5\%;$

$$U_{BH} / U_{CH} / U_H = 230 / 121 / 11 \text{ кВ};$$

– линия электропередачи (Л):

$$l = 120 \text{ км}; x_0 = 0,4 \text{ Ом/км};$$

– нагрузка (Н): $x_H'' = 0,35; S_H = 60 \text{ МВА}; E_H'' = 0,85; U_H = 11 \text{ кВ}.$

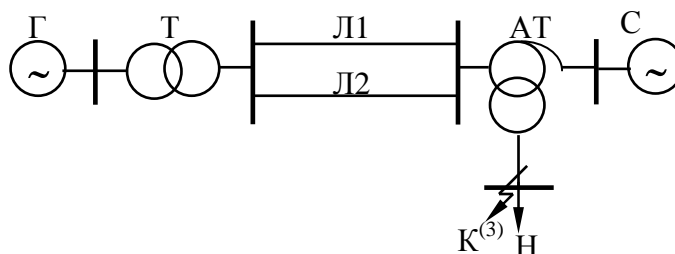


Рис. 10. Принципиальная схема энергосистемы

Решение

Схема замещения ЭС (рис. 11) составляется по схемам замещения отдельных ее элементов в порядке расположения их на принципиальной схеме для начального момента ($t = 0$). При составлении схемы замещения учитывались следующие допущения:

– синхронный генератор имеет демпферные обмотки и поэтому представлен сверхпереходными параметрами x_d'' и E_0'' .

– у всех элементов не учитывались активные составляющие их сопротивлений,

– для линии электропередачи ввиду отсутствия данных о ее конструктивном исполнении принято среднее значение удельного сопротивления $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км};$

– нагрузка (Н) представлена параметрами x_H'' и $E_H'';$

– сопротивление системы (источника бесконечной мощности) не учитывается;

– все параметры схемы замещения приводятся к одной ступени напряжения, на которой произошло к.з. $K^{(3)}, U = 11 \text{ кВ}.$

На первом этапе рассчитываются значения коэффициентов трансформации трансформатора Т: $k_I = U_{\text{HH}}/U_{\text{BH}} = 10,5/121 = 0,087$ и автотрансформатора (АТ): $k_{\text{III}} = 121/230 = 0,526$; $k_{\text{IV}} = 11/230 = 0,048$.

Для пересчета параметров генератора на напряжение ступени к.з. вводится дополнительный коэффициент трансформации $k_{\text{II}} = 11/121 = 0,091$.

Определяются параметры схемы замещения (формулы в табл. 14, овал над сопротивлением указывает на то, что расчет проводится в именованной системе единиц) с одновременным их приведением к одной ступени напряжения $U = U_6 = 11$ кВ.

$$x_1 = x_d^{\circ} = x_d'' \cdot \frac{k_{\text{II}}^2}{k_I^2} = 0,215 \cdot \frac{0,091^2}{0,087^2} = 0,236 \text{ Ом},$$

$$x_2 = x_T^{\circ} = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_{\text{H}}^2}{S_{\text{H}}} k_{\text{II}}^2 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{121^2}{80} \cdot 0,091 = 0,159 \text{ Ом},$$

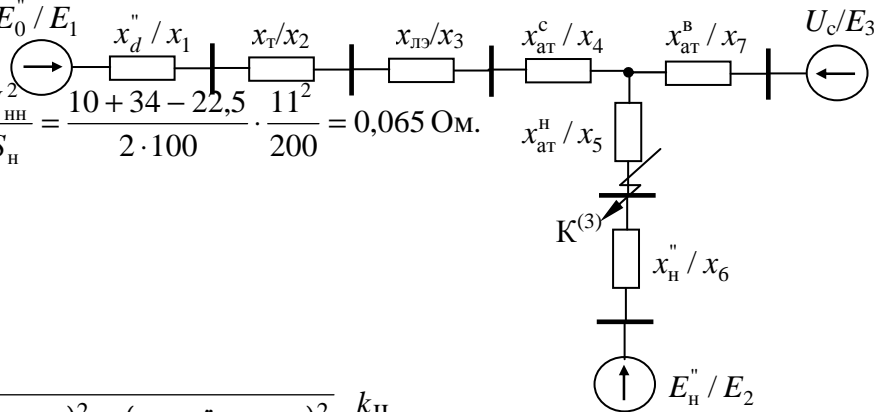
$$x_3 = x_{\text{ЛЭ}}^{\circ} = \frac{x_0 \cdot l}{2} \cdot k_{\text{II}}^2 = \frac{0,4 \cdot 120}{2} \cdot 0,091^2 = 0,198 \text{ Ом};$$

$$x_4 = x_{\text{АТ}}^{\text{с}} = \frac{u_{\text{КВС}} + u_{\text{КСН}} - u_{\text{КБН}}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{H}}} = \frac{10 + 22,5 - 34}{2 \cdot 100} \cdot \frac{11^2}{200} = -0,005 \text{ Ом};$$

$$x_5 = x_{\text{АТ}}^{\text{н}} = \frac{u_{\text{КСН}} + u_{\text{КБН}} - u_{\text{КВС}}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{H}}} = \frac{22,5 + 34 - 10}{2 \cdot 100} \cdot \frac{11^2}{200} = 0,141 \text{ Ом};$$

$$x_6 = x_{\text{H}}^{\circ} = x_{\text{H}}'' \cdot \frac{U_{\text{H}}^2}{S_{\text{H}}} = 0,35 \cdot \frac{11^2}{60} = 0,706 \text{ Ом};$$

$$x_7 = x_{\text{АТ}}^{\text{в}} = \frac{u_{\text{КБН}} + u_{\text{КВС}} - u_{\text{КСН}}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{H}}} = \frac{10 + 34 - 22,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{11^2}{200} = 0,065 \text{ Ом}.$$



Рассчитываются значения э.д.с. источников и нагрузок (выражения 6 и 7):

$$E_1 = E_0'' = \sqrt{(U_{\text{H}} + I_{\text{H}} \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi)^2 + (I_{\text{H}} \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi)^2} \cdot \frac{k_{\text{II}}}{k_I} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{10,5}{\sqrt{3}} + 4,125 \cdot 0,215 \cdot 0,6\right)^2 + (4,125 \cdot 0,215 \cdot 0,8)^2} \cdot \frac{0,091}{0,087} = 6,95 \text{ кВ};$$

$$E_2 = E_{\text{H}}'' = 0,85 \cdot \frac{U_{\text{H}}}{\sqrt{3}} = 0,85 \cdot \frac{11}{\sqrt{3}} = 5,39 \text{ кВ}; \quad E_3 = U_c = \frac{U_c}{\sqrt{3}} \cdot k_{\text{IV}} = \frac{230}{\sqrt{3}} \cdot 0,048 = 6,35 \text{ кВ}.$$

Рис. 11. Схема замещения электроэнергетической системы

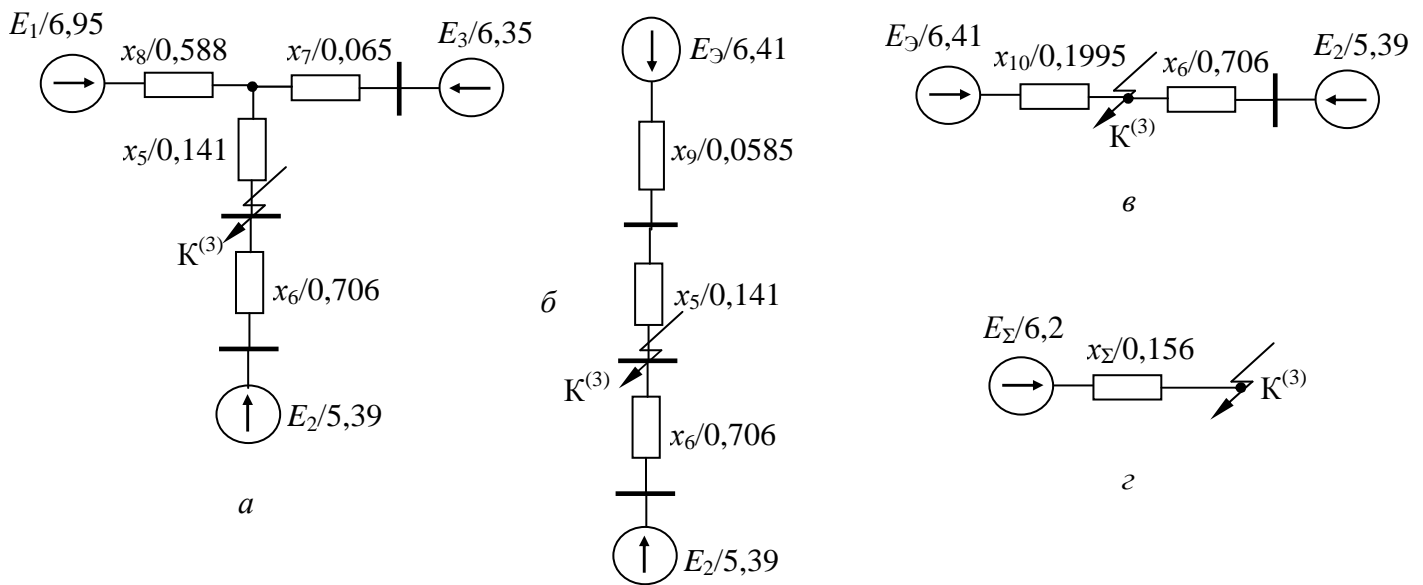


Рис. 13. Этапы преобразования схемы замещения энергосистемы

Для дальнейшего использования удобно составить схему замещения энергосистемы с нанесенными значениями ее параметров (рис. 12).

Пример 1, а. Преобразовать схему замещения (рис. 12) к простейшему виду относительно точки к.з. – $K^{(3)}$.

Решение. Последовательные этапы преобразования схемы замещения представлены на рис. 13. Сопротивления x_1, x_2, x_3, x_4 соединены последовательно и заменяются одним:

$$x_8 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0,236 + 0,159 + 0,198 - 0,005 = 0,588 \text{ Ом.}$$

Ветви с источниками э.д.с. E_1 и E_3 заменяются одной эквивалентной E_3 (15) с параметрами

$$x_9 = \frac{x_8 \cdot x_7}{x_8 + x_7} = 0,0585 \text{ Ом,} \quad E_3 = x_9 \left(\frac{E_1}{x_8} + \frac{E_3}{x_7} \right) = 0,0585 \cdot \left(\frac{6,95}{0,588} + \frac{6,35}{0,065} \right) = 6,41 \text{ кВ.}$$

Сопротивления x_9 и x_5 соединяются последовательно:

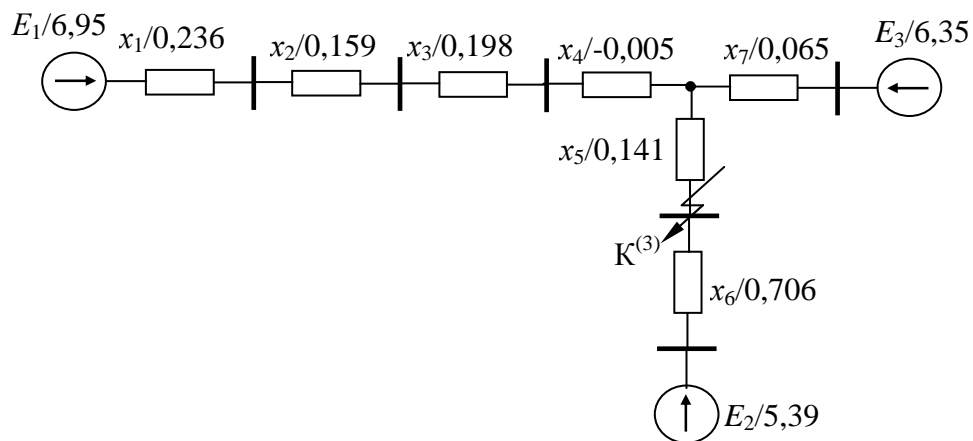


Рис. 12. Параметры схемы замещения

– источников (рис. 15) $I_{\text{пксг}} = E_3 / x_{10} = 6,41 / 0,1995 = 32,11 \text{ кА}$.

Напряжение в точке b (рис.15): $U_b = I_{\text{пксг}} \cdot x_5 = 32,11 \cdot 0,141 = 4,53 \text{ кВ}$.

Периодические составляющие тока к.з.:

– от системы $I_{\text{пкс}} = (E_3 - U_b) / x_7 = (6,35 - 4,53) / 0,065 = 28 \text{ кА}$;

– генератора $I_{\text{пкг}} = (E_1 - U_b) / x_8 = (6,95 - 4,53) / 0,588 = 4,11 \text{ кА}$.

На рис 16 приведены значения периодических составляющих тока к.з. и напряжений в узлах сети с учетом наличия трансформаторных связей.

В точке к.з. «а» $U_a = 0$. Ток от двигательной нагрузки, расположенной на ступени низшего напряжения, $I_{\text{пкд}} = 7,63 \text{ кА}$.

Напряжение системы $U_c = 230 \text{ кВ}$ и ток $I_{\text{пкс}} = I_{\text{пкс}} \cdot k_{\text{IV}} = 28 \cdot 0,048 = 1,344 \text{ кА}$.

Напряжения в точках e , d и m :

$$U_e = (U_b + I_{\text{пкг}} \cdot x_4) / k_{\text{II}} = (4,53 + 0,005 \cdot 4,11) / 0,091 = 49,55 \text{ кВ};$$

$$U_d = U_e + I_{\text{пкг}} \cdot x_3 / k_{\text{II}} = 49,55 + 4,11 \cdot 0,198 / 0,091 = 58,49 \text{ кВ};$$

$$U_m = (U_d + I_{\text{пкг}} \cdot x_2 / k_{\text{II}}) \cdot k_{\text{I}} = (58,49 + 4,11 \cdot 0,159 / 0,091) \cdot 0,087 = 5,71 \text{ кВ}.$$

Приближенные значения периодических составляющих тока к.з.:

– генератора $I_{\text{пкг}} = I_{\text{пкг}} \cdot k_{\text{II}} / k_{\text{I}} = 4,11 \cdot 0,091 / 0,087 = 4,3 \text{ кА}$;

– в линиях $I_{\text{пкл}} = I_{\text{пкг}} \cdot k_{\text{I}} / 2 = 4,11 \cdot 0,091 / 2 = 1,187 \text{ кА}$.

Пример 2. Для энергосистемы, схема которой изображена на рис. 17, составить схемы замещения и получить результирующие ЭДС и сопротивления для прямой, обратной и нулевой последовательностей при возникновении поперечной несимметрии в точке К.

Решение.

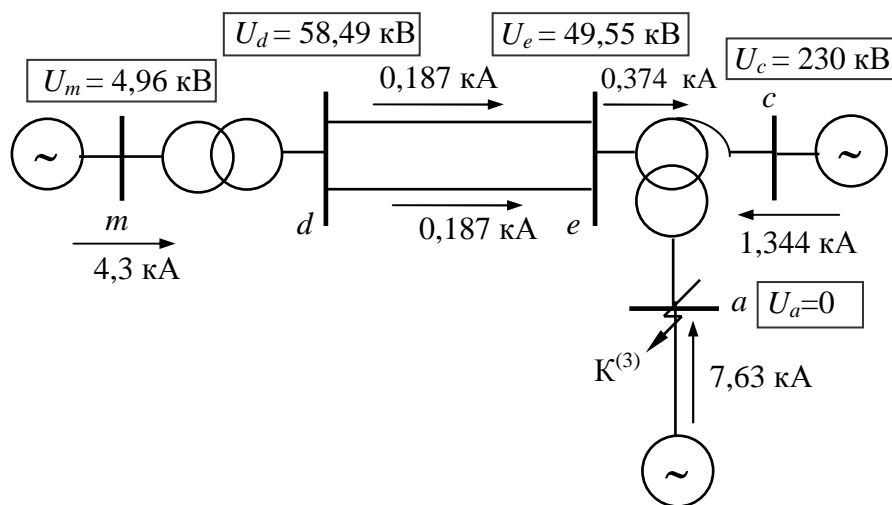


Рис. 16. Распределение периодических составляющих тока к.з. в ветвях энергосистемы

Используя схемы замещения отдельных элементов, построим схему замещения прямой последовательности (рис. 18, а). Точкой Н₁ обозначено начало схемы, К₁ – ее конец. После преобразования получим эквивалентное сопротивление $x_{1\Sigma}$ и эквивалентную э.д.с. $\dot{E}_{1\Sigma}$, в соответствии с рис. 18, б.

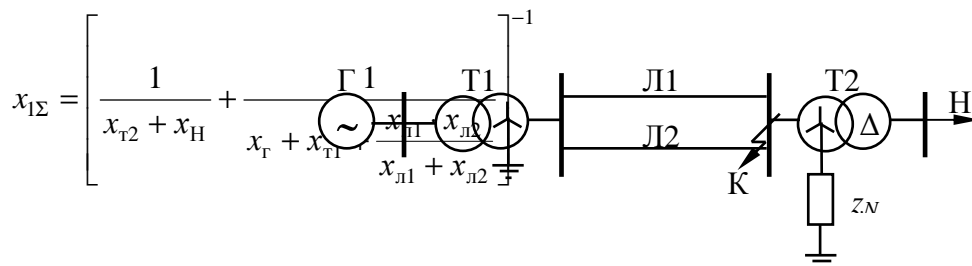


Рис. 17. Схема электрической сети

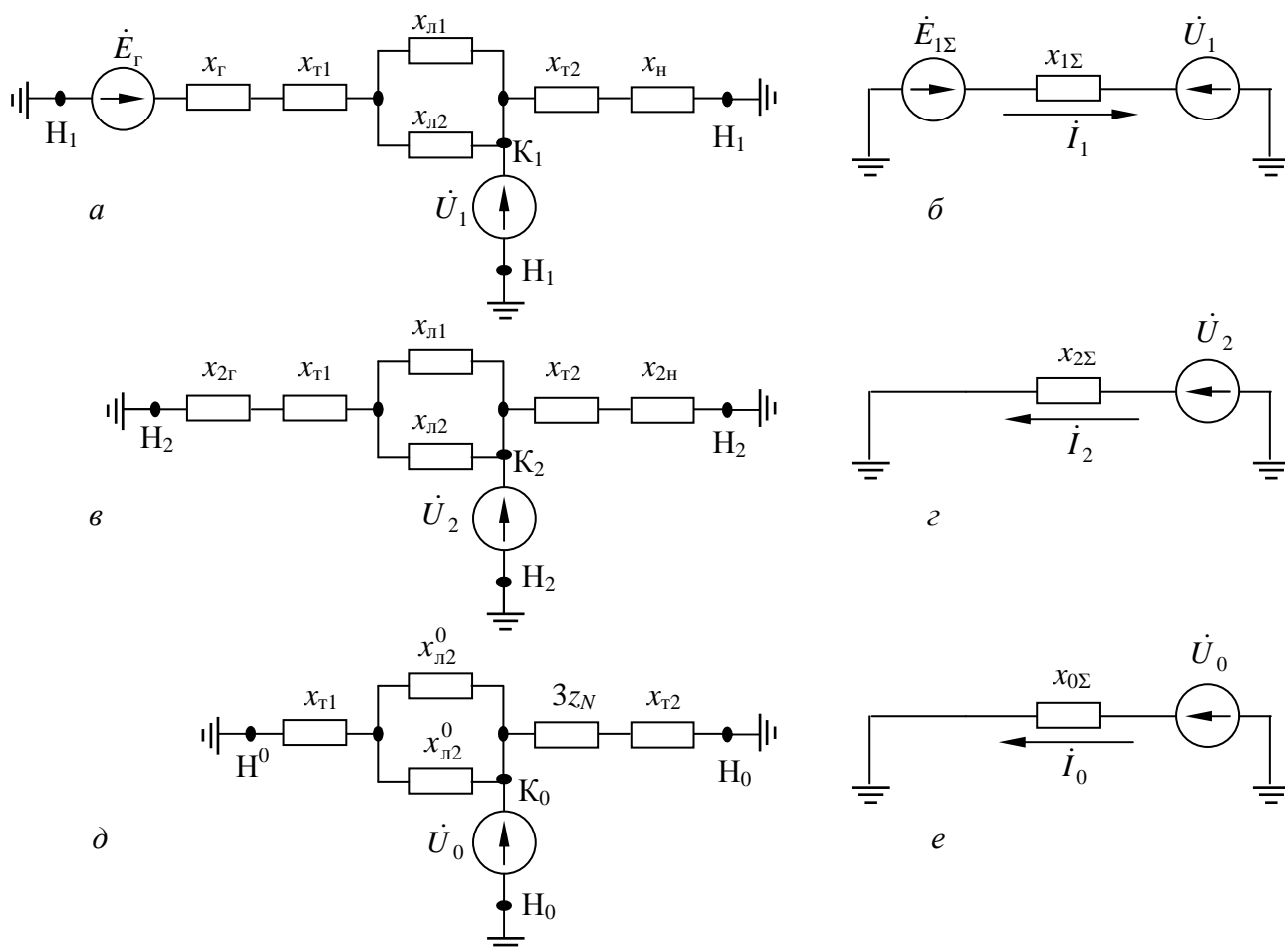


Рис. 18. Схема замещения прямой (а, б), обратной (в, г) и нулевой (д, е) последовательностей при коротком замыкании

$$\dot{E}_{1\Sigma} = \frac{\dot{E}_1 \cdot x_{1\Sigma}}{x_r + x_{T1} + \frac{x_{Л1} \cdot x_{Л2}}{x_{Л1} + x_{Л2}}} + \frac{0 \cdot x_{1\Sigma}}{x_{T2} + x_H}$$

Составим схему замещения обратной последовательности с учетом того, что генератор и нагрузка замещаются сопротивлениями $x_{2Г}$ и $x_{2Н}$ (см. рис. 18, в). Если генератор находится достаточно далеко от точки к.з., то отличим $x_{2Г}$ от x_r можно пренебречь. В результате преобразования получим эквивалентные величины (рис. 18, г):

$$x_{2\Sigma} = \left[\frac{1}{x_{r2} + x_{2н}} + \frac{1}{x_{2г} + x_{r1} + \frac{x_{л1} \cdot x_{л2}}{x_{л1} + x_{л2}}} \right]^{-1}$$

Схема замещения нулевой последовательности изображена на рис. 18, д, ее эквивалент – на рис. 18, е. В результате имеем

$$x_{0\Sigma} = \left[\frac{1}{x_{r1} + \frac{x_{л1}^0 \cdot x_{л2}^0}{x_{л1}^0 + x_{л2}^0}} + \frac{1}{3z_N + x_{r2}} \right]^{-1}$$

Пример 2, а. Пусть после преобразования схем всех трех последовательностей, построенных для анализа поперечной несимметрии в энергосистеме (рис. 17), получены эквиваленты, изображенные на рис. 19.

Определить токи и напряжения в точке к.з. в фазах для случаев $K^{(1)}$, $K^{(1.1)}$, $K^{(2)}$.

При анализе режимов используем схемы соединения последовательностей, изображенных на рис. 20 и выражения (19), (20), а также табл. 15.

1. Однофазное короткое замыкание на землю. В соответствии со схемой и рис. 19, а

$$x_{\Delta}^{(1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} = 33 + 16,4 = 49,4 \text{ Ом};$$

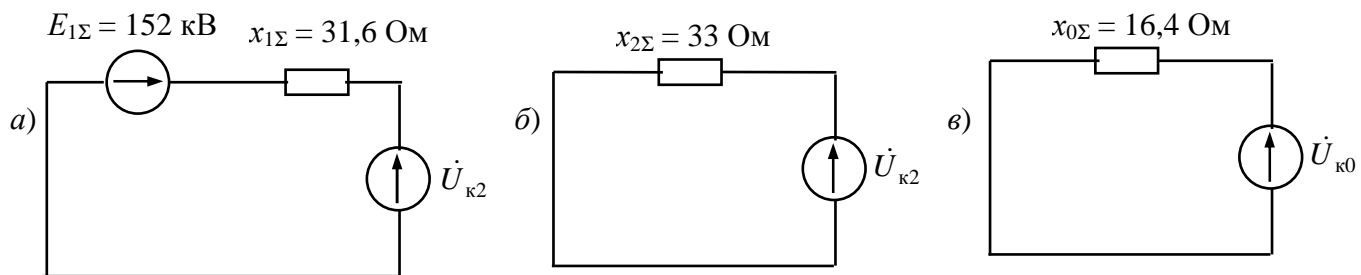


Рис. 19. Эквиваленты схем последовательностей

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{\dot{E}_1}{j(x_{2\Sigma} + x_{\Delta}^{(1)})} = \frac{152}{j(31,6 + 49,4)} = \frac{152}{j81} = -j1,88 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{к2}^{(1)} = \dot{I}_{к0}^{(1)} = \dot{I}_{к1}^{(1)} = -j1,88 \text{ кА};$$

$$\dot{U}_{к1}^{(1)} = \dot{I}_{к1}^{(1)} \cdot jx_{\Delta}^{(1)} = -j1,88 \cdot j49,4 = 92,87 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{к2}^{(1)} = -\dot{I}_{к2}^{(1)} \cdot jx_{2\Sigma} = j1,88 \cdot j33 = -62,07 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{к0}^{(1)} = -\dot{I}_{к0}^{(1)} \cdot jx_{0\Sigma} = j1,88 \cdot j16,4 = -30,8 \text{ кВ}.$$

Фазные величины:

$$\dot{i}_A^{(1)} = \dot{i}_{k_0}^{(1)} + \dot{i}_{k_1}^{(1)} + \dot{i}_{k_2}^{(1)} = 3\dot{i}_{k_1}^{(1)} = 3 \cdot (-j1,88) = -j5,64 \text{ кА};$$

$$\dot{i}_B^{(1)} = \dot{i}_{k_0}^{(1)} + a^2\dot{i}_{k_1}^{(1)} + a\dot{i}_{k_2}^{(1)} = 3\dot{i}_{k_1}^{(1)} = (1 + a^2 + a) \cdot \dot{i}_{k_1}^{(1)} = \left(-1 - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\dot{i}_{k_1}^{(1)} = 0;$$

$$\dot{i}_C^{(1)} = 0;$$

$$\dot{U}_A^{(1)} = \dot{U}_{k_0}^{(1)} + \dot{U}_{k_1}^{(1)} + \dot{U}_{k_2}^{(1)} = 92,87 - 62,07 - 30,8 = 0;$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_B^{(1)} &= \dot{U}_{k_0}^{(1)} + a^2\dot{U}_{k_1}^{(1)} + a\dot{U}_{k_2}^{(1)} = -30,8 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 92,87 - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 62,07 = \\ &= -46,2 - j134,2 = 141,9 \angle -108,9^\circ \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_C^{(1)} &= \dot{U}_{k_0}^{(1)} + a\dot{U}_{k_1}^{(1)} + a^2\dot{U}_{k_2}^{(1)} = -30,8 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 92,87 - \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 62,07 = \\ &= -46,2 + j134,2 = 141,9 \angle 108,9^\circ \text{ кВ}. \end{aligned}$$

2. Двухфазное замыкание на землю. В соответствии со схемой рис. 19, б

$$x_\Delta^{(1,1)} = \left(\frac{1}{x_{1\Sigma}} + \frac{1}{x_{2\Sigma}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{33} + \frac{1}{16,4}\right)^{-1} = 10,96 \text{ Ом};$$

$$\dot{i}_{k_1}^{(1,1)} = \frac{152}{j(31,6 + 10,96)} = -j3,57 \text{ кА};$$

$$\dot{U}_{k_1}^{(1,1)} = \dot{i}_{k_1}^{(1,1)} \cdot jx_\Delta^{(1,1)} = -j3,57 \cdot j10,96 = 39,13 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{k_0}^{(1,1)} = \dot{U}_{k_2}^{(1,1)} = \dot{U}_{k_1}^{(1,1)} = 39,13 \text{ кВ};$$

$$\dot{i}_{k_2}^{(1,1)} = \frac{-\dot{U}_{k_2}^{(1,1)}}{jx_{2\Sigma}} = \frac{-39,13}{j33} = -j1,19 \text{ кА};$$

$$\dot{i}_{k_0}^{(1,1)} = \frac{-U_{k_0}^{(1,1)}}{jx_{0\Sigma}} = \frac{-39,13}{j16,4} = j2,38 \text{ кА}.$$

Фазные величины:

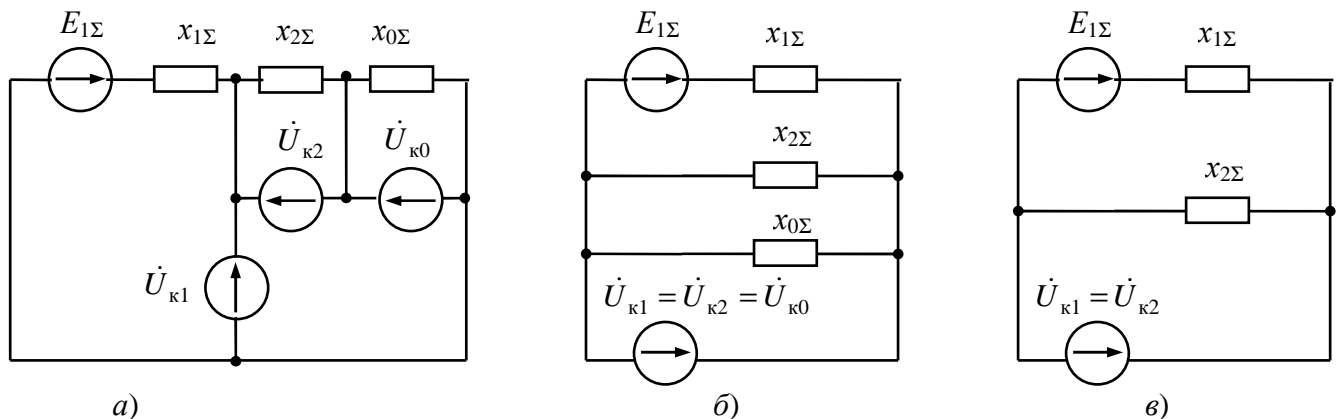


Рис. 20. Схемы соединения последовательностей для $K^{(1)}$ (а), $K^{(1,1)}$ (б), $K^{(2)}$ (в)

$$\dot{i}_A^{(1,1)} = -j3,57 + j1,19 + j2,38 = 0$$

$$\dot{i}_B^{(1,1)} = j2,38 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-j3,57) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot j1,19 = -4,12 + j3,57 = 5,45 \angle 139,1^\circ \text{ кА};$$

$$\dot{i}_C^{(1,1)} = j2,38 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-j3,57) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot j1,19 = 4,12 + j3,57 = 5,45 \angle 40,9^\circ \text{ кА};$$

$$\dot{U}_{\kappa_A}^{(1,1)} = 3\dot{U}_{\kappa_1}^{(1,1)} = 3 \cdot 39,13 = 117,4 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{\kappa_B}^{(1,1)} = \dot{U}_{\kappa_C}^{(1,1)} = 0.$$

3. Двухфазное замыкание. В соответствии со схемой рис. 19, в

$$x_\Delta^{(2)} = x_{2\Sigma} = 33 \text{ Ом};$$

$$\dot{i}_{\kappa_1}^{(2)} = \frac{152}{j(31,6 + 33)} = -j2,35 \text{ кА};$$

$$\dot{U}_{\kappa_1}^{(2)} = \dot{i}_{\kappa_1}^{(2)} \cdot jx_\Delta^{(2)} = -j2,35 \cdot j33 = 77,6 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{\kappa_2}^{(2)} = \dot{U}_{\kappa_1}^{(2)} = 77,6 \text{ кВ};$$

$$\dot{i}_{\kappa_2}^{(2)} = \frac{-\dot{U}_{\kappa_2}^{(2)}}{jx_{2\Sigma}} = \frac{-77,6}{j33} = j2,35 \text{ кА} = -\dot{i}_{\kappa_1}^{(2)}.$$

Фазные величины:

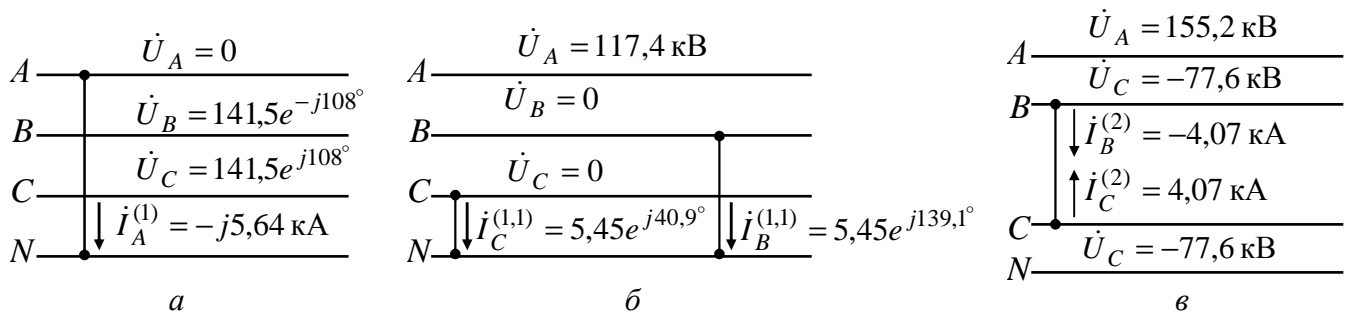


Рис. 21. Результаты расчетов фазных напряжений и токов для случаев $K^{(1)}$ (а), $K^{(1,1)}$ (б) и $K^{(2)}$ (в).

$$\dot{i}_A^{(2)} = 0$$

$$\dot{i}_B^{(2)} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot \dot{i}_{\kappa_1}^{(2)} + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot \dot{i}_{\kappa_2}^{(2)} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \dot{i}_{\kappa_1}^{(2)} = -j\sqrt{3}\dot{i}_{\kappa_1}^{(2)} = -j2,35 \cdot (-j\sqrt{3}) = -4,07 \text{ кА};$$

$$\dot{i}_C^{(2)} = -\dot{i}_B^{(2)} = 4,07 \text{ кА};$$

$$\dot{U}_A^{(2)} = \dot{U}_{\kappa_1}^{(2)} + \dot{U}_{\kappa_2}^{(2)} = 2 \cdot \dot{U}_{\kappa_1}^{(2)} = 77,6 \cdot 2 = 155,2 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_C^{(2)} = \dot{U}_B^{(2)} = -77,62 \text{ кВ}.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 21.

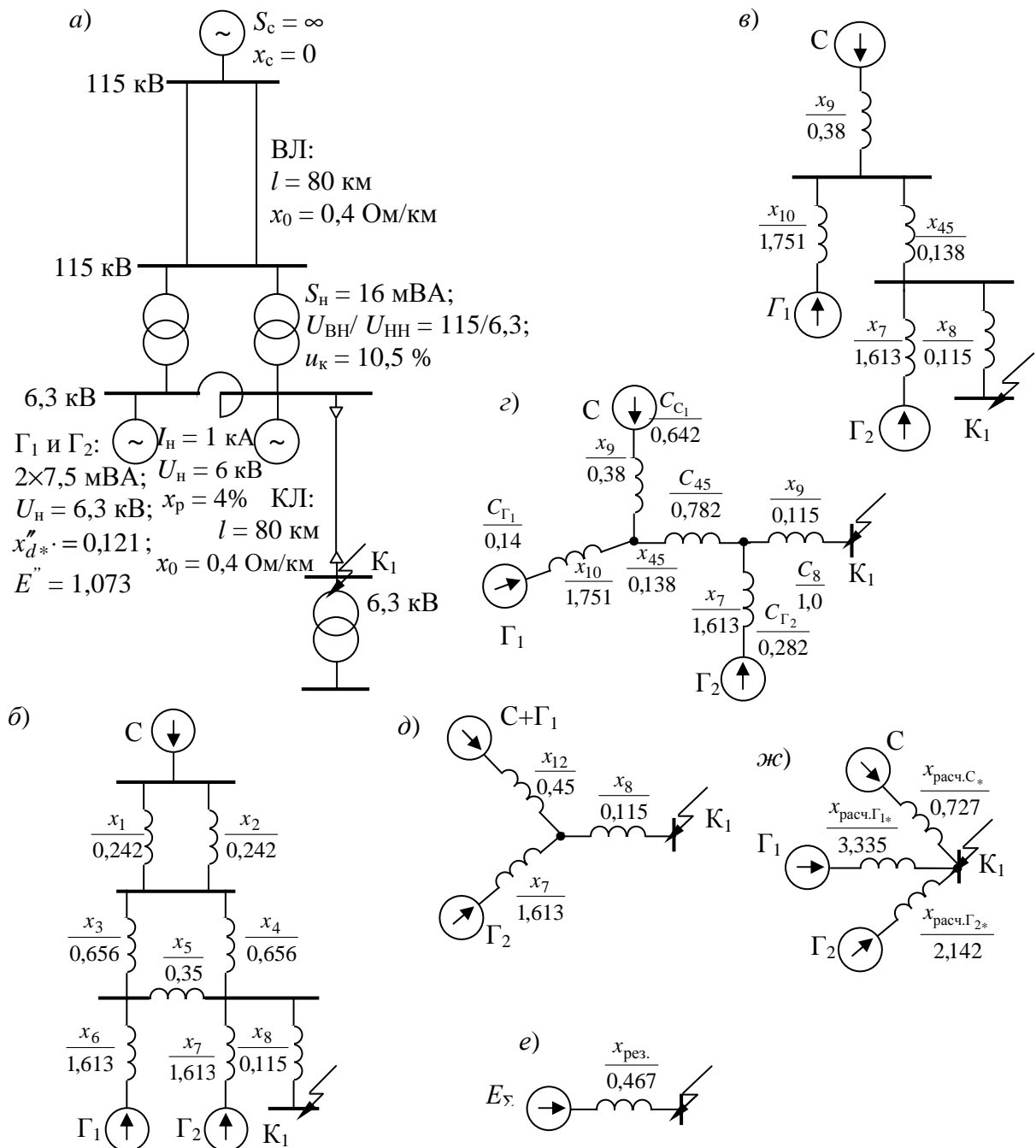


Рис. 22. Схема системы электроснабжения (а) и ее схема замещения (б), упрощения (в – е)

Пример 3 (к заданию № 2). Определить ток трехфазного короткого замыкания в точке K_1 , системы электроснабжения, параметры системы приведены на рис. 22. Питание осуществляется от системы бесконечной мощности (С) и генераторов Γ_1 и Γ_2 . Расчет произвести в относительных и именованных единицах.

И. Решение в относительных единицах.

1. Принимаем за $S_6 = 100$ мВА, $U_6 = U_{cp} = 6,0 \cdot 1,05 = 6,3$ кВ. Тогда: $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = 9,2$ кА.

2. Определяем сопротивление элементов схемы замещения (рис. 22, б). Согласно выражений (12) – (14) и формул табл. 14 имеем:

$$x_{1*} = x_{2*} = x_0 l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 80 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,242; \quad x_{3*} = x_{4*} = \frac{U_{к.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,656;$$

$$x_{5*} = \frac{x_p \%}{100} \cdot \frac{I_6}{I_H} \cdot \frac{U_{нр}}{U_6} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9,2}{1} \cdot \frac{6,0}{6,3} = 0,35; \quad x_{6*} = x_{7*} = x_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{нГ}} = 0,121 \cdot \frac{100}{7,5} = 1,613;$$

$$x_{8*} = x_0 l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,091 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,115.$$

3. Сопротивления x_3, x_4, x_5 соединены по схеме треугольника. Преобразуем его в звезду (18):

$$x_{34} = \frac{x_3 \cdot x_4}{x_3 + x_4 + x_5} = 0,259; \quad x_{35} = 0,138; \quad x_{45} = 0,138.$$

4. Определим суммарное сопротивление от системы и от генераторов до нейтральной точки после преобразования треугольника в звезду (рис. 22, в)

$$x_9 = x_{\Sigma c} = \frac{x_1}{2} + x_{34} = 0,38; \quad x_{10} = x_6 + x_{35} = 1,751.$$

Объединять систему бесконечной мощности и генератор Γ_1 нельзя, поэтому проведем определение токов с помощью коэффициентов распределения. Для этого необходимо найти результирующее сопротивление схемы ($x_{рез.}$, рис. 22, д, е).

$$x_{11} = \frac{x_9 \cdot x_{10}}{x_9 + x_{10}} = 0,312; \quad x_{12} = x_{11} + x_{45} = 0,45;$$

$$x_{13} = x_{12} \parallel x_7 = 0,352; \quad x_{рез} = x_{13} + x_8 = 0,352 + 0,115 = 0,467.$$

Коэффициенты распределения рис. 22, з:

$$C_{45} = \frac{x_{13}}{x_{12}} = 0,782; \quad C_{\Gamma_2} = \frac{x_{13}}{x_7} = 0,218; \quad C_{45} + C_{\Gamma_2} = 1;$$

$$C_C = C_{45} \cdot \frac{x_{11}}{x_9} = 0,642; \quad C_{\Gamma_1} = C_{45} \cdot \frac{x_{11}}{x_{10}} = 0,14; \quad C_C + C_{\Gamma_1} = C_{45} = 0,782.$$

После этого определяем расчетные сопротивления ($x_{расч.}$) от источников питания до места короткого замыкания K_1 , приведенные к базисным параметрам (22) (рис. 22, ж)

$$x_{расч C*} = \frac{x_{рез.}}{C_C} = \frac{0,467}{0,642} = 0,727; \quad x_{расч \Gamma_1*} = \frac{x_{рез.}}{C_{\Gamma_1}} = 3,335; \quad x_{расч \Gamma_2*} = \frac{x_{рез.}}{C_{\Gamma_2}} = 2,142.$$

Определяем сверхпереходные токи к.з. в точке K_1 от энергосистемы (С) и от генераторов (Γ_1 и Γ_2)

$$I_{кС}'' = I_{\infty}'' = \frac{I_6}{x_{расч C*}} = \frac{9,2}{0,727} = 12,655 \text{ кА};$$

$$I_{к\Gamma_1}'' = I_{п\Gamma_1 0}'' = \frac{E_*'' \cdot I_6}{x_{расч \Gamma_1*}} = \frac{1,073 \cdot 9,2}{0,727} = 2,96 \text{ кА}; \quad I_{к\Gamma_2}'' = I_{п\Gamma_2 0}'' = 4,6 \text{ кА}.$$

Суммарный ток короткого замыкания в точке K_1

$$I_{кК_1} = 12,655 + 2,96 + 4,6 = 20,215 \text{ кА}.$$

Приведем определение сверхпереходного тока (для момента времени $t = 0$) с использованием расчетных кривых. Ток к.з. от системы бесконечной мощности останется неизменным и равным $I_{кС}'' = 12,655 \text{ кА}$. Для определения тока к.з. от генераторов Γ_1 и Γ_2 необходимо расчетные сопротивления $x_{расч \Gamma_1}$ и $x_{расч \Gamma_2}$ привести к номинальным параметрам генераторов по выражению (22):

$$x_{расч \Gamma_1(н)} = x_{расч \Gamma_1*} \cdot \frac{S_H}{S_6} = 3,335 \cdot \frac{7,5}{100} = 0,25; \quad x_{расч \Gamma_2(н)} = 2,142 \cdot \frac{7,5}{100} = 0,16.$$

С использованием расчетных кривых (рис. 8) по величинам $x_{расч \Gamma_1(н)}$ и $x_{расч \Gamma_2(н)}$ для турбогенераторов Γ_1 и Γ_2 , определим относительные токи $I_{п(0)_1} = 4$ и $I_{п(0)_2} = 6,4$. Искомые значе-

ния периодической слагающей сверхпереходного тока трехфазного к.з. $I_{*П}''$ от генераторов Γ_1 и Γ_2 определяются:

$$I_{к\Gamma_1}'' = I_{п\Gamma_1 0} = E_*'' \cdot I_{п(0)_1} \frac{S_{н\Gamma_1}}{\sqrt{3} \cdot U_{н\Gamma_1}} = 1,073 \cdot 4 \frac{7,5}{1,73 \cdot 6,3} = 2,953 \text{ кА};$$

$$I_{к\Gamma_2}'' = I_{п\Gamma_2 0} = 1,073 \cdot 6,4 \frac{7,5}{1,73 \cdot 6,3} = 4,725 \text{ кА};$$

Как видно отличие результатов расчета токов к.з., полученных по данному методу, от предыдущего незначительно (2,953 кА и 2,96 кА) и (4,725 кА и 4,6 кА).

Метод с использованием расчетных кривых позволяет получать токи к.з. для определенного наперед заданного периода времени с учетом затухания процесса. Покажем это на примере для времени $t = 0,2$ с. По расчетным кривым (рис. 8) для найденных значений расчетных сопротивлений относительные токи для времени $t = 0,2$ с соответственно составят $I_{п(0,2)_1} = 2,95$ и $I_{п(0,2)_2} = 4,2$. Ток к.з. для заданного момента времени определится выражениями

$$I_{к(t=0,2)\Gamma_1} = I_{п(0,2)_1} \frac{S_{н\Gamma_1}}{\sqrt{3} \cdot U_{н\Gamma_1}} = 2,95 \frac{7,5}{1,73 \cdot 6,3} = 2,03 \text{ кА}; \quad I_{к(t=0,2)\Gamma_2} = 4,2 \frac{7,5}{1,73 \cdot 6,3} = 2,89 \text{ кА}.$$

Суммарный ток короткого замыкания в точке K_1 для момента времени $t = 0,2$ с составит $I_{к(t=0,2)K_1} = 12,655 + 2,03 + 2,89 = 17,575 \text{ кА}$.

II. Решение в именованных единицах.

Определим сопротивление элементов схемы замещения (рис. 22, б) с одновременным приведением элементов схемы замещения к $U_{\delta} = U_{ср.} = U_{к.з.} = 6,3 \text{ кВ}$

$$x_1 = x_2 = x_0 l \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{ср.}} \right)^2 = 0,4 \cdot 80 \cdot \left(\frac{6,3}{115} \right)^2 = 0,096 \text{ Ом}; \quad x_3 = x_4 = \frac{u_{к.}}{100} \cdot \frac{U_{ср.}^2}{S_{н}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{6,3^2}{16} = 0,26 \text{ Ом};$$

$$x_5 = \frac{x_p \%}{100} \cdot \frac{U_{нр}}{\sqrt{3} I_{номр}} = \frac{4,0}{100} \cdot \frac{6,0}{1,73 \cdot 1} = 0,139 \text{ Ом}; \quad x_6 = x_7 = x_d'' \cdot \frac{U_{ср.}}{S_{н\Gamma}} = 0,121 \cdot \frac{6,3^2}{7,5} = 0,64 \text{ Ом};$$

$$x_8 = x_0 l \cdot 0,091 \cdot 0,05 = 0,049 \text{ Ом}.$$

Преобразуем треугольник в звезду

$$x_{34} = \frac{x_3 \cdot x_4}{x_3 + x_4 + x_5} = 0,0548 \text{ Ом}; \quad x_{35} = 0,103 \text{ Ом}; \quad x_{45} = 0,0548 \text{ Ом}.$$

Определим суммарное сопротивление от системы и от генераторов до нейтральной точки после преобразования треугольника в звезду

$$x_9 = \frac{x_1}{2} + x_{34} = 0,151 \text{ Ом}; \quad x_{10} = x_6 + x_{35} = 0,6948 \text{ Ом}.$$

Определим коэффициенты распределения от системы и генераторов Γ_1 и Γ_2 .

$$x_{11} = \frac{x_9 \cdot x_{10}}{x_9 + x_{10}} = 0,124 \text{ Ом}; \quad x_{12} = x_{11} + x_{45} = 0,179 \text{ Ом};$$

$$x_{13} = x_{12} \parallel x_7 = 0,14 \text{ Ом}; \quad x_{пез} = x_{13} + x_8 = 0,186 \text{ Ом}.$$

$$C_{45} = \frac{x_{13}}{x_{12}} = 0,7815; \quad C_{\Gamma_2} = \frac{x_{13}}{x_7} = 0,2185; \quad C_C = C_{45} \cdot \frac{x_{11}}{x_9} = 0,6421;$$

$$C_{\Gamma_1} = C_{45} \cdot \frac{x_{11}}{x_{10}} = 0,1395; \quad C_C + C_{\Gamma_1} = 0,7815 = C_{45}; \quad C_C + C_{\Gamma_1} + C_{\Gamma_2} = 1.$$

Расчетные сопротивления до места короткого замыкания K_1 , приведенные к базисным параметрам

$$x_{\text{расч}C_*} = \frac{x_{\text{рез.}}}{C_{\text{сист}}} = \frac{0,186}{0,6421} = 0,2897 \text{ Ом}; \quad x_{\text{расч}\Gamma_1} = \frac{x_{\text{рез.}}}{C_{\Gamma_1}} = 1,333 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{расч}\Gamma_2} = \frac{x_{\text{рез.}}}{C_{\Gamma_2}} = 0,851 \text{ Ом.}$$

Токи к.з. в точке K_1 от всех источников питания составят

$$I_{\text{кС}} = \frac{U_{\text{ср.}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{расч}C_*}} = \frac{6,3}{1,73 \cdot 0,2897} = 12,57 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к}\Gamma_1} = I_{\text{по}\Gamma_1} = \frac{E_*'' \cdot U_{\text{ср.}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{расч}\Gamma_1}} = \frac{1,073 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 1,333} = 2,93 \text{ кА}; \quad I_{\text{к}\Gamma_2} = I_{\text{по}\Gamma_2} = 4,592 \text{ кА.}$$

Суммарный ток короткого замыкания в точке K_1

$$I_{\text{к}K_1} = 12,57 + 2,93 + 4,592 = 20,092 \text{ кА.}$$

Отличие от использования системы о.е. составляет величину 0,6 %, что связано в основном с округлениями, принятыми в расчетах и соответствует инженерной точности, принимаемой в размере 5 %.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Лабораторный практикум по дисциплине «Электроснабжение» подготовлен в соответствии с учебным планом подготовки инженеров по специальности 310302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» специализации «Электроснабжение сельского хозяйства». Лабораторные работы, включенные в данный практикум, охватывают наиболее сложные разделы курса – расчеты электрических нагрузок и графики электрических нагрузок, понизительные подстанции, выбор трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий и населенных пунктов, а также определение токов коротких замыканий в электрических сетях высокого напряжения и распределительных сетях 10-0,4 кВ. Экспериментальная часть выполняется, в силу специфичности курса не на лабораторных стендах, а на персональных компьютерах и специально разработанном программном обеспечении, а также промышленными программами.

Выполнение лабораторных работ позволит студентам подробно ознакомиться с проблемами определения электрических нагрузок, выбора числа и мощности трансформаторов на подстанциях, расчета режимов коротких замыканий, как теоретическим, так и практическим с помощью современных программных разработок, применяемых в практике проектирования и эксплуатации систем электроснабжения. Студент должен научиться:

- применять теоретические знания, полученные при изучении специальных дисциплин;
- работать с технической литературой, каталогами, справочниками, ГОСТами и другими нормативными материалами;
- читать принципиальные схемы электрических соединений и правильно составлять схемы их замещения для расчетов токов коротких замыканий;
- грамотно выполнять необходимые расчеты и обосновывать принятые решения;
- работать с современными программными комплексами расчета токов коротких замыканий «ТКЗ»;
- правильно выбирать основные элементы систем электроснабжения;
- четко и аккуратно оформлять результаты в виде отчетов о работе.

3.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

(продолжительность работы 4 часа)

1. Цель работы

Ознакомление с различными видами графиков нагрузок и с методикой снятия суточных графиков активной и реактивной мощности, изучение методики построения годовых графиков нагрузок по продолжительности и исследование полученных графиков электрических нагрузок.

2. Краткие теоретические положения

Одним из основных разделов дисциплины Электроснабжение является раздел «Электрические нагрузки и графики электрических нагрузок». В нем изучаются расчетные величины и коэффициенты, встречающиеся в современных методах расчета нагрузок.

2.1. Общие положения

Кривая изменения активной, реактивной и токовой нагрузки во времени называется

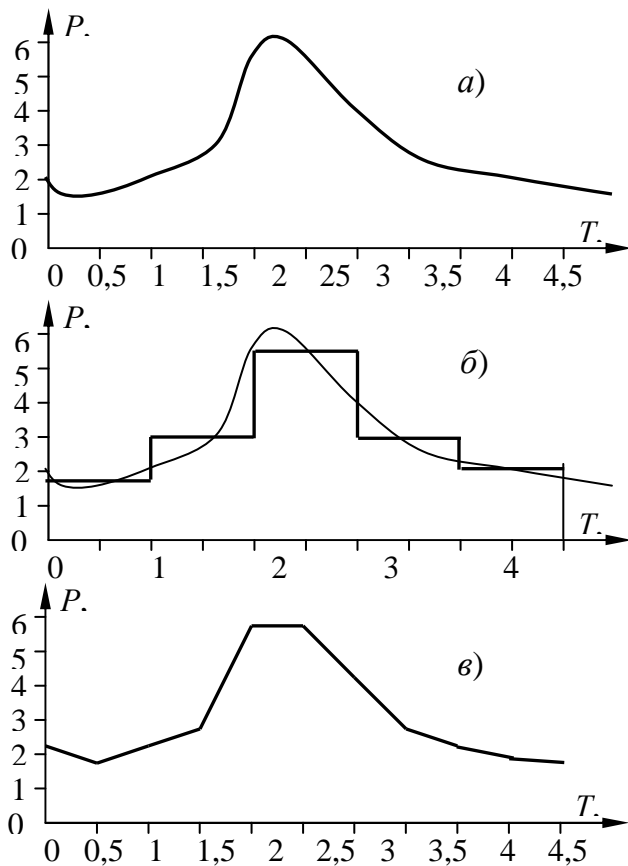


Рис. 1. Представление графиков нагрузок а) с помощью самопишущих примеров; б) по показаниям счетчиков электрической энергии; в) визуальный отсчет показаний стрелочных приборов

нагрузки всего предприятия или объекта с.-х. назначения (рис. 2) дают возможность определить потребление ими активной и реактивной энергии, правильно выбрать питающие источники мощности и выполнить наиболее рациональную схему электроснабжения.

2.2. Основные характеристики графиков нагрузок

По графикам легко определить некоторые величины и коэффициенты, используемые в расчетах электрических нагрузок и при исследовании режимов электропотребления предприятий. Для этого необходимо иметь характерные графики зимних и летних суток, а также годовой график по продолжительности.

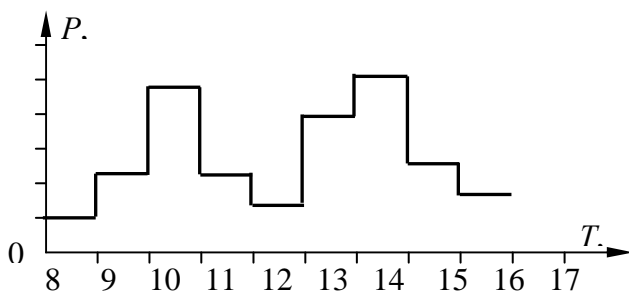


Рис. 2. Графики нагрузки цеха, с.х. предприятия

графиком нагрузки соответственно по активной и реактивной мощностям или по току. Графики нагрузок подразделяются на индивидуальные – для отдельных приемников электроэнергии и групповые – для групп приемников электроэнергии.

Наиболее близко соответствует действительности непрерывный график (рис. 1, а), а наименее – ломаный (рис. 1, б). Последнее объясняется тем, что отсчеты и нанесение отдельных точек на этот график являются совершенно случайными, одномоментными. Степень соответствия графика, снятого по показаниям счетчика (рис. 1, в), зависит от интервалов осреднения нагрузки. Чем меньше этот интервал, тем точнее будет этот график.

Индивидуальные графики нагрузок необходимы для определения нагрузок отдельных мощных приемников электроэнергии с резкопеременным характером нагрузки (например, прокатные станы, электрические печи и т.д.). При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий в большинстве случаев используются групповые графики нагрузок (от графиков нагрузок группы, состоящей из нескольких приемников, до графиков нагрузок предприятия в целом). Графики нагрузок

Основными величинами, характеризующими график нагрузки, являются средняя, среднеквадратичная и максимальная нагрузки. Средняя нагрузка является величиной, зависящей от конфигурации графика и продолжительности цикла или периода наблюдений. Применительно к графикам активной и реактивной мощностей, площади которых определяют расход активной (W) и реактивной (V) энергии, можно написать:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt = \frac{W}{T}; \quad Q_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt = \frac{V}{T}$$

Средняя активная $P_{\text{см}}$, или реактивная $Q_{\text{см}}$ мощности за наиболее загруженную смену являются основными величинами при расчете нагрузок группы приемников. Они в принципе соответствуют $P_{\text{ср}}$ и $Q_{\text{ср}}$, только для периода работы смены.

Среднеквадратичная нагрузка за некоторый интервал времени определяется выражениями:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [P(t)]^2 dt} \quad Q_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [Q(t)]^2 dt} \quad I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [I(t)]^2 dt}$$

где: T – рассматриваемый период времени.

Среднеквадратичная нагрузка характеризует эффект нагрева проводника током. Среднеквадратичная реактивная мощность $Q_{\text{ск}}$ имеет важное значение для оценки эффекта снижения потерь электроэнергии в сетях при повышении $\cos\phi$.

В течение сменного графика нагрузки может быть несколько периодов ее повышения, поэтому определяют среднеквадратичные нагрузки за каждый период времени и выбирают наибольшую из них (рис. 3, $P'_{\text{см}}$). Наибольшая величина среднеквадратичной нагрузки и является расчетной нагрузкой, по которой следует выбирать элементы системы электроснабжения по нагреву. Однако нахождение среднеквадратичной нагрузки представляет сложную задачу.

Поэтому обычно определяют не среднеквадратичную, а среднюю нагрузку за период осреднения. Такой расчет является приближенным, но он значительно проще и не вносит существенных ошибок.

Максимальные значения активной, реактивной и полной мощностей или тока представляют собой наибольшие из соответствующих средних величин за некоторый промежуток времени. В зависимости от продолжительности промежутка времени различают два вида максимальных нагрузок (рис. 4):

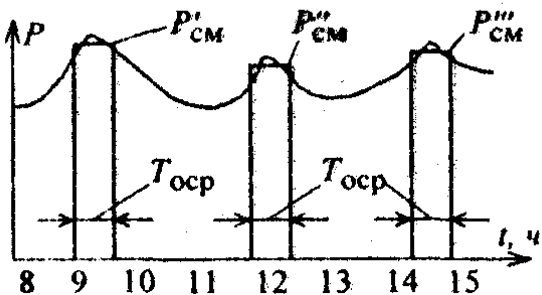


Рис. 3. Различные максимальные средние нагрузки $P_{\text{см}}$ за время $T_{\text{оср}} = 30$ мин

а) максимальные кратковременные нагрузки длительностью 1 ÷ 2 с (пиковые $P_{\text{пик}}$); определение пиковых нагрузок необходимо для проверки колебаний напряжения, проверки сетей по условиям самозапуска электродвигателей, выбора плавких вставок предохранителей, расчета релейной защиты и автоматики;

б) максимальные длительные нагрузки $P_{\text{см}}$ за различные интервалы времени (5, 10, 30 мин); они определяются для выбора элементов системы электроснабжения по нагреву и расчета максимальных потерь мощности в них.

Под расчетной нагрузкой по допустимому нагреву понимается такая длительная неизменная во времени нагрузка элемента системы электроснабжения (трансформатора, линии и т.п.), которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжелому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции. Соответственно этим двум эффектам нагрева проводника различают:

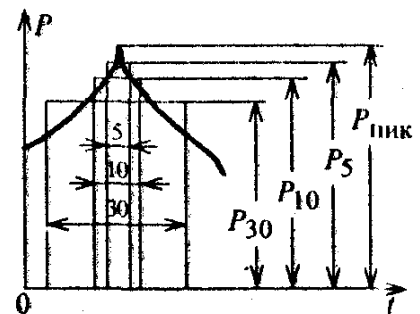


Рис. 4. Максимальные нагрузки различной длительности

а) расчетную нагрузку по максимальной температуре нагрева, т.е. такую неизменную во времени нагрузку $P_{р1}$, которая вызывает в проводнике тот же самый максимальный перегрев над окружающей температурой, что и заданная переменная нагрузка $P(t)$;

б) расчетную нагрузку по тепловому износу изоляции, т.е. такую неизменную во времени нагрузку $P_{р2}$, которая вызывает в проводнике тот же тепловой износ изоляции, что и заданная переменная нагрузка $P(t)$.

Нагрев проводника является результатом воздействия на него нагрузки за некоторый период времени, поэтому средняя нагрузка за интервал времени T более точно характеризует нагрев проводника, чем наибольшая (пиковая) нагрузка в том же интервале. При оценке максимального нагрева проводника или другого элемента системы электроснабжения правильнее было бы определять среднеквадратичную нагрузку за период времени, который меньше длительности одной смены, так как в этом интервале проводник успевает нагреться и остыть несколько раз. Однако этот период времени не может быть и слишком малым, поскольку нагрев проводника не достигнет установившегося значения.

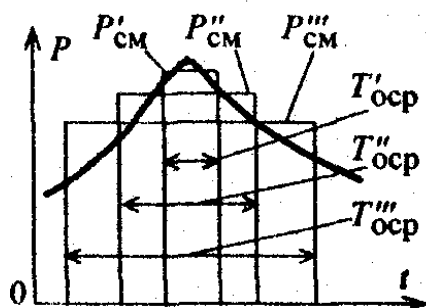


Рис. 5. График нагрузок с различным временем осреднения

Существует оптимальная длительность интервала осреднения $T_{оср.}$, при которой среднеквадратичная нагрузка при прочих равных условиях будет удовлетворительно характеризовать изменение нагрева проводника. На рис. 5 приведено изменение нагрузки за различные интервалы осреднения. Интервал $T'_{оср.}$, слишком мал, и проводник за это время не успевает нагреться до установившегося значения, а интервал $T'''_{оср.}$, слишком большой, проводник успевает нагреться и к концу интервала даже остыть. Оптимальный интервал осреднения $T_{оср.}$ должен быть равен трем постоянным времени нагрева проводника, т.е. $T_{оср.} = 3T_0$.

Для практических расчетов за основу берется постоянная времени нагрева наиболее часто применяемых проводников малых и средних сечений $T_0 = 10$ мин. Таким образом, в качестве интервала осреднения $T_{оср.}$ принимают 30-ти минутный (получасовой) максимум нагрузки. За это время нагрев проводника достигает 95% установившегося значения. Наибольшая из средних нагрузок за интервал времени $T_{оср.} = 3T_0$ принимается в качестве расчетной величины $P_p \approx P_{см}$. В системах электроснабжения, именно по этой величине (по условию нагрева) выбирается вся аппаратура, кабели, трансформаторы и т.д.

При исследовании и расчетах электрических нагрузок удобно пользоваться кроме именованных значений физических величин максимальной, средней и среднеквадратичной нагрузки, также некоторыми относительными показателями (коэффициентами), характеризующими режим работы отдельных приемников и их групп. Рассмотрим эти показатели и связи между ними:

1. Основным показателем режима работы одного или группы электроприемников (ЭП) служит коэффициент использования, выражающий отношение средней нагрузки к номинальной.

$$K_{и} = \frac{P_{ср}}{P_{н}} = \sum_{i=1}^m k_{иi} P_{ни} / P_{н},$$

где: $P_{н}$ — номинальная активная мощность группы электроприемников; m — количество электроприемников в группе.

2. Важнейшим расчетным показателем группового графика нагрузок является коэффициент максимума по активной мощности:

$$K_{\text{м.а}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{ср}}}.$$

Исследуемый период времени принимается равным продолжительности наиболее загруженной смены. Коэффициент максимума $K_{\text{м.а}}$ зависит от эффективного числа приемников n_3 и ряда коэффициентов, характеризующих режим потребления электроэнергии данной группой приемников, и является расчетной величиной.

3. Коэффициент спроса, как и коэффициент максимума, относится обычно к групповым графикам нагрузки. Коэффициентом спроса по активной мощности $K_{\text{с}}$ называется отношение расчетной (в условиях проектирования) или потребляемой (в условиях эксплуатации) активной мощности к номинальной (установленной) активной мощности группы приемников:

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{н}}}.$$

Можно установить следующие зависимости

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{н}}} \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ср}}} = K_{\text{и}} K_{\text{м.а}} < 1.$$

4. Коэффициент формы графика нагрузки характеризует неравномерность графика во времени; свое наименьшее, равное единице значение он принимает при нагрузке, неизменной во времени. Коэффициентом формы по активной мощности называется отношение среднеквадратичной мощности электроприемников за определенный период времени к среднему значению мощности за тот же период времени, т.е.

$$K_{\text{ф}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{ср}}}.$$

В условиях эксплуатации величину коэффициента формы находят по показаниям счетчиков активной (W_a) и реактивной энергии. В этом случае коэффициент формы графика по активной мощности просто определяется по формуле

$$K_{\text{ф.а}} = \sqrt{n} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta W_{ai})^2}}{W_a}. \quad (1)$$

где n – число ступеней графика нагрузок.

Для пояснения данной формулы ниже приведен ее вывод. На рис. 2 представлен групповой график нагрузок по активной мощности за время $T = 8$ ч ($n = 8$), построенный по показаниям счетчика активной электроэнергии. Величина W_a получена по показаниям счетчика за смену (с 8-00 по 16-00). Квадрат среднеквадратичной активной мощности за время $T=8$ ч, в предположении, что $\Delta T_8 = \Delta T_9 = \dots = \Delta T_{16} = n\Delta T$ определяется выражением

$$P_{\text{ск}}^2 = \frac{P_9^2 \Delta T + P_{10}^2 \Delta T + \dots + P_{16}^2 \Delta T}{\sum_{i=1}^n \Delta T_i} = \frac{\Delta T (P_9^2 + P_{10}^2 + \dots + P_{16}^2)}{n\Delta T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^2. \quad (2)$$

В то же время $P_i = \frac{\Delta W_{ai}}{\Delta T}$, где ΔW_{ai} – расход активной электроэнергии за время ΔT .

С учетом этого формула (2) будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{ск}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta W_{ai})^2}{n(\Delta T)^2}$$

Средняя активная мощность за время T равна $P_{CP} = W_a / T$, W_a – расход электроэнергии за время T .

Тогда коэффициент формы графика нагрузки по активной мощности

$$K_{\phi.a} = \frac{P_{ск}}{P_{cp}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DW_{ai})^2}{n(DT)^2}}}{W_a / T} = \frac{1}{DT} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DW_{ai})^2}{n}} = \sqrt{n} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (DW_{ai})^2}}{W_a},$$

т.е. получено исходное выражение (1), что и требовалось показать.

5. Коэффициент заполнения (коэффициент нагрузки) группового графика нагрузки

$$K_n = \frac{P_{cp}}{P_p} = \frac{1}{K_{м.а}} \leq 1,$$

играет большую роль для оценки суточных и годовых графиков нагрузок. Своего предельного значения, равного единице, этот показатель достигает при не изменяющейся во времени нагрузке, чего практически не бывает.

6. По графику максимально загруженной смены можно определить число часов использования максимума нагрузки за эту смену:

$$T_{\max см} = \frac{W_{см}}{P_p}$$

2.3. Годовые графики нагрузки

Особенности годового режима работы электроустановок наглядно выявляются при помощи годовых графиков нагрузок. В практике чаще всего пользуются годовым графиком по продолжительности. Приблизительно годовой график по продолжительности можно построить по двум характерным суточным графикам нагрузок электроустановки (за зимние и летние сутки). Количество зимних и летних суток для разных климатических зон различно (рис. 6). Построение начинают с максимума нагрузки и выполняют в порядке постепенного снижения мощностей. Для этого через оба суточных графика проводят ряд горизонтальных линий, расстояние между которыми выбирают в соответствии с желаемой точностью построения.

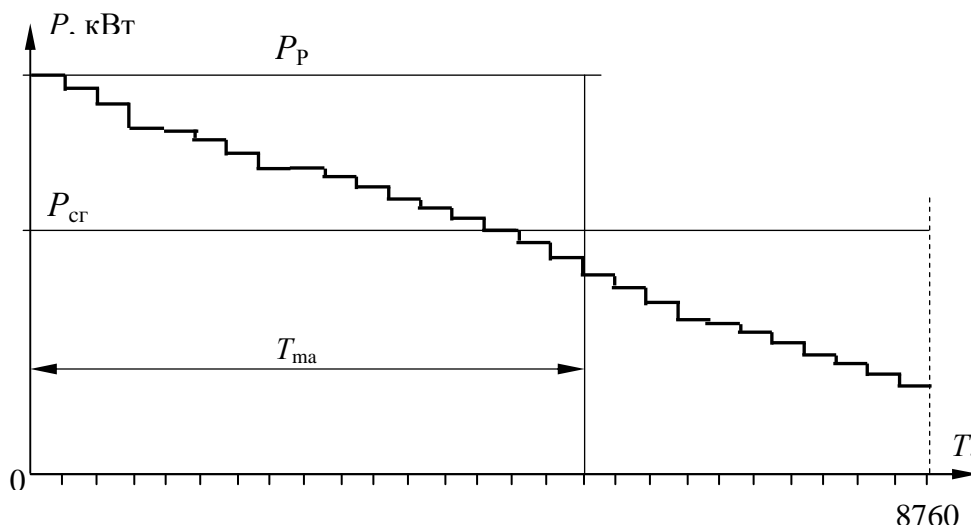


Рис. 6. Годовой график нагрузки по продолжительности

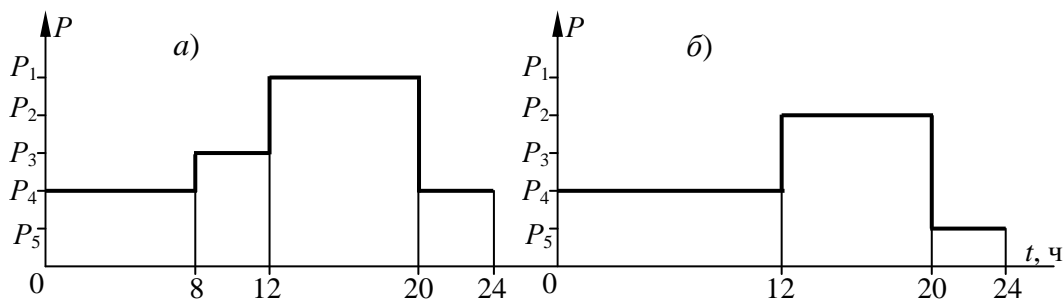


Рис. 7. Суточные графики нагрузок а) – зимний, б) летний

Приведем пример построения годового графика по продолжительности на примере имеющихся двух характерных суточных графиков нагрузки для зимнего и летнего периода (рис. 7). Промежуточные расчеты графика по продолжительности сведены в табл. 1, а результаты построения изображены на рис. 8. Построение графика (см. табл. 1 и рис. 8) начинается с определения продолжительности максимальной мощности нагрузки P_1 в течение года. Для этого определяется ее продолжительность в течение суток зимой (8 часов) и летом (0 часов) и умножается на число суток зимой (например, 213) и летом (например, 152) соответственно (первая строка табл. 1). Затем такие же операции делаются для всех ступеней

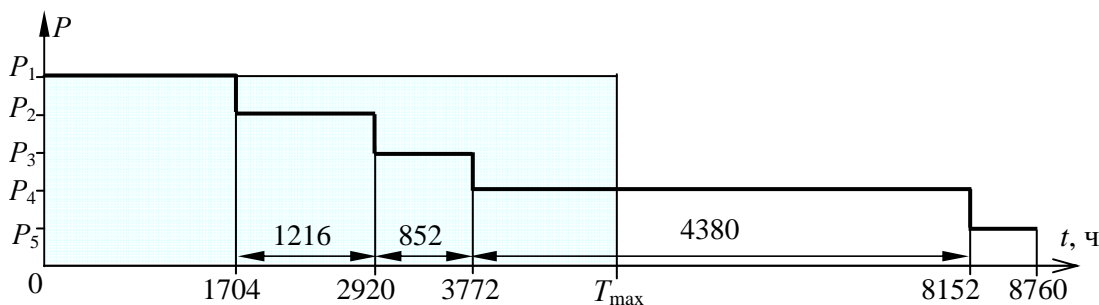


Рис. 8. Годовой график по продолжительности

графика нагрузки (строки 2 - 5 табл. 1).

Таблица 1

Построение годового графика нагрузки по продолжительности

Уровень нагрузки, МВт	Продолжительность нагрузки, ч				всего за год
	зимой		летом		
	в течение суток	всего	в течение суток	всего	
P_1	8	$8 \times 213 = 1704$	0	0	1704
P_2	0	0	8	$8 \times 152 = 1216$	1216
P_3	4	$4 \times 213 = 852$	0	0	852
P_4	12	$12 \times 213 = 2556$	12	$12 \times 152 = 1824$	4380
P_5	0	0	4	$4 \times 152 = 608$	608
				Итого	8760

График по продолжительности может быть использован при технико-экономических расчетах, например при определении суммарных потерь энергии за год в сети, определении суммарной выработки и потребления электроэнергии за год для планирования требуемых объемов топлива и т. д. Площадь годового графика по продолжительности в определенном масштабе дает потребление электроэнергии за год в кВт.ч:

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^m P_i t_i .$$

Средняя годовая нагрузка установки: $P_{\text{ср}} = \frac{W_{\Gamma}}{T_{\Gamma}}$ ($T_{\Gamma} = 8760$ – число часов в году). По годовому графику можно определить годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию, отображающий неравномерность загрузок по сменам

$$\delta = \frac{W_{\Gamma}}{P_{\text{см}} T_{\Gamma}} = \frac{W_{\Gamma}}{P_{\text{р}} K_{\text{н}} T_{\Gamma}} < 1$$

и годовое число часов использования максимума активной мощности

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\Gamma}}{P_{\text{р}}}.$$

Годовые графики нагрузки по продолжительности используют в технико-экономических расчетах при определении оптимального числа и мощности агрегатов установки, потерь электроэнергии в сетях и трансформаторах.

3. Обеспечивающие средства

Эксплуатационные данные по часовым замерам электроэнергии на промышленных предприятиях; методика определения суточных и годовых графиков нагрузок; базы данных, заложенные в программное обеспечение персональных компьютеров лаборатории.

4. Задание

По показаниям счетчиков активной электроэнергии, приведенных для различных вариантов в табл. 2 необходимо построить суточные графики характерного зимнего и летнего дня. Промышленные предприятия работают в одну или две смены, счетчики активной электроэнергии помимо потребления электроэнергии потребителями предприятия фиксируют и потребление электроэнергии рабочим поселком при предприятии. Счетчики, фиксирующие потребление электроэнергии с.-х потребителями включают в себя и потребление жилых домов и крупных потребителей комплекса крупного рогатого скота. В субботние (Сб), воскресные (Вс) и праздничные дни предприятия не работают. Для этих суток (их число дано в табл.2) можно принять все часовые нагрузки одинаковыми и равными 15% от максимальной нагрузки рабочих суток зимнего дня.

На графике зимнего дня выявить наиболее загруженную смену (принять рабочий день в одну смену с 8⁰⁰ утра до 17⁰⁰ ($n = 9$), в две смены – с 8⁰⁰ до 16⁰⁰ и с 16⁰⁰ до 00⁰⁰. $n = 8$) и для этой смены определить: расход электроэнергии, среднюю нагрузку за смену $P_{\text{ср}}$, коэффициент использования $K_{\text{и}}$ расчетную мощность $P_{\text{р}}$, коэффициент максимума $K_{\text{м.а}}$, коэффициент спроса $K_{\text{с}}$, коэффициент формы $K_{\text{ф}}$, коэффициент нагрузки $K_{\text{н}}$, число часов использования максимума нагрузки за смену $T_{\text{max см}}$.

Принять номинальную (установленную) активную мощность группы электроприемников $P_{\text{н}}$, исходя из следующих соображений. Для наиболее загруженной смены ежечасно находятся в работе 3 электроприемника из общего числа m , приведенного в табл. 2. Средняя номинальная мощность одного ЭП, в предположении, что они работают примерно одно и то же число часов в смене, составит величину

$$P_{\text{ср.н}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i / 3)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{3n},$$

где n – число часов наиболее загруженной смены (в задании $n = 8$ или 9).

Номинальная мощность всех ЭП цеха составит величину $P_{\text{н}} = m P_{\text{ср.н}}$

5. Технология работы

5.1. Изучите теорию определения расчетных нагрузок промышленных предприятий и потребителей сельскохозяйственного назначения.

5.2. По заданным показаниям счетчиков активной электроэнергии построить суточные графики характерного зимнего и летнего дня.

5.3. На графике зимнего дня выявить наиболее загруженную смену и определить для нее основные показатели графика нагрузки.

5.4. Определить установленную номинальную активную мощность группы электроприемников P_n .

Таблица 2

Показания счетчиков активной электроэнергии для зимних и летних суток по вариантам

Время снятия показаний	Показания счетчиков электроэнергии, P , кВт для характерных летних и зимних суток											
	Вариант 1 (1 смена)		Вариант 2 (2 смены)		Вариант 3 (1 смена)		Вариант 4 (2 смены)		Вариант 5 (с.х. потреб.)		Вариант 6 (с.х. потреб.)	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
00-00	16730	46000	44320	84300	32120	72100	52155	83150	08520	41020	11110	52010
01-00	17090	46300	44750	84710	32470	72460	52770	83750	08790	41320	11285	52140
02-00	17335	46505	45175	85115	32770	72780	53190	84160	09045	41595	11410	52250
03-00	17515	46650	45585	85510	33015	73040	53445	84420	09290	41800	11490	52320
04-00	17685	46800	45770	85690	33220	73240	53665	84620	09510	42000	11555	52380
05-00	17880	46950	45915	85830	33460	73490	53865	84845	09730	42180	11640	52460
06-00	18100	47140	46040	85950	33780	73790	54070	85050	10085	42560	11820	52630
07-00	18485	47440	46160	86060	34145	74135	54415	85400	10400	42880	12005	52805
08-00	18965	47840	46380	86260	34600	74570	54865	85850	10750	43260	12200	52990
09-00	19465	48240	46810	86660	35150	75090	55660	86650	11110	43650	12400	53210
10-00	20145	48820	47370	87200	35765	75680	56500	87510	11485	44050	12610	53410
11-00	20865	49440	47970	87820	36390	76275	57350	88350	11840	44410	12830	53610
12-00	21595	50070	48680	88630	37010	76880	58220	89250	12170	44700	13030	53800
13-00	22555	50880	49160	89080	37610	77490	59060	90110	12470	44980	13210	54000
14-00	23205	51500	49750	89650	38290	78185	59915	90950	12785	45280	13395	54170
15-00	23925	52100	50310	90200	39030	79080	60795	91800	13140	45600	13575	54340
16-00	24760	52825	50860	90720	39890	79740	61645	92700	13525	45940	13810	54550
17-00	25545	53480	51380	91200	40705	80500	62440	93450	13945	46300	14060	54780
18-00	26210	54040	51905	91680	41450	81150	63160	94100	14390	46705	14310	55060
19-00	26820	54600	52440	92185	42175	81770	64060	94900	14830	47100	14555	55330
20-00	27415	55120	52985	92690	42860	82390	64985	95750	15230	47450	14815	55540
21-00	27990	55630	53530	93185	43480	83000	65870	96565	15615	47800	15030	55740
22-00	28480	56060	54020	93630	44030	83560	66660	97270	15940	48090	15230	55900
23-00	28920	56440	54500	94070	44420	83980	67380	97920	16220	48350	15410	56050
00-00	29300	56800	54950	94500	44800	84380	67900	98540	16500	48600	15590	56190
Всего суток	365		365		365		365		365		365	
Зима	150		160		170		140		150		150	
Лето	103		93		83		113		103		103	
Сб+Вс	112		112		112		112		112		112	
Число ЭП в цехе m	22		20		18		20		18		22	

5.5. По суточным графикам активной нагрузки за зимние и летние сутки рабочих и выходных дней построить годовой график активной нагрузки по продолжительности. По полученному графику определить:

- годовое потребление активной энергии W_G ;
- среднегодовую нагрузку $P_{ср}$;
- годовое число часов использования максимума активной нагрузки T_{max} .

5.6. Ответьте на контрольные вопросы и получите допуск у преподавателя на выполнение данной работы.

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать следующее:

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Расчетные формулы для определения параметров графиков электрических нагрузок.
- 6.3. Графики нагрузок активной мощности для зимнего, летнего и выходного дней, годового графика по продолжительности, выполненные на миллиметровке.
- 6.4. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Дать определение графика нагрузки.
2. Какие графики нагрузок называются индивидуальными и где они применяются?
3. Какие графики называются групповыми и где они применяются?
4. Покажите на графике и объясните что такое $P_{ср}$, $P_{ск}$ и $P_{см}$?
5. Дайте понятие максимальной нагрузки, длительной и пиковой, периода осреднения и его физической сущности.
6. Порядок построения годового графика нагрузки по продолжительности и его назначение.
7. Что такое число часов использования максимума нагрузки, как определить T_{max} по графику?
8. Дайте определения коэффициентов использования, спроса, формы, максимума, загрузки и для чего они предназначены.
8. Перечислить основные показатели графиков нагрузок.

3.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГЛАВНОЙ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ (продолжительность 4 часа)

1. Цель работы

Изучить принципы определения числа и мощности трансформаторов главной понижающей подстанции (ГПП) крупного предприятия, изучить метод расчета регулирования экономически целесообразного режима работы трансформаторов двухтрансформаторной подстанции при переменной нагрузке цеха.

2. Краткие теоретические положения

2.1. Общие положения

Правильный, технически и экономически обоснованный выбор числа и мощности трансформаторов для главных понижающих и цеховых подстанций промышленных предприятий имеет существенное значение для рационального построения схемы электроснаб-

жения этих предприятий. При выборе числа и мощности силовых трансформаторов пользуются данными годовых затрат по выражению

$$З = C_3 + \frac{1}{T_n} K = C_3 + p_n K,$$

где K – единовременные капитальные вложения в трансформаторные подстанции (ТП), тыс. руб.; C_3 – полная стоимость ежегодных эксплуатационных потерь электроэнергии в трансформаторах; T_n – нормативный срок окупаемости, год; p_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, для ТП равный 0,15.

Весьма важными, а иногда решающими показателями при выборе числа и мощности трансформаторов также являются надежность питания, расход цветного металла и потребная трансформаторная мощность.

При выборе мощности трансформаторов в системе электроснабжения (не считая вспомогательных) следует стремиться к установке не более двух-трех трансформаторов различных стандартных мощностей (табл. 7). Это облегчает замену поврежденных трансформаторов и ведет к сокращению складского резерва трансформаторов. Весьма желательна установка трансформаторов одинаковой мощности. Однако такое решение не всегда выполнимо.

В целях упрощения и удешевления для цеховых трансформаторов следует широко применять глухое присоединение трансформаторов через разъединители или присоединение по схеме разъединитель – предохранитель, выключатель нагрузки – предохранитель.

Выбор числа трансформаторов связан с режимом работы станции или подстанции. График нагрузки может быть таким, при котором по экономическим соображениям необходимо установить не один, а два трансформатора. Такие случаи, как правило, имеют место при плохом коэффициенте заполнения графика загрузки (0,5 и ниже). В этом случае установка отключающих аппаратов необходима для оперативных действий (дежурным персоналом или автоматически) с силовыми трансформаторами при соблюдении экономически целесообразного режима их работы.

Главные понизительные подстанции и цеховые подстанции желательно выполнять с числом трансформаторов не более двух. Во всех случаях, когда это возможно, следует рассматривать вариант с установкой одного трансформатора и осуществлением резервного питания от соседней трансформаторной подстанции.

При выборе числа трансформаторов надо иметь в виду, что сооружение одностранформаторных подстанций обеспечивает наименьшие затраты. Если по условиям резервирования питания потребителей необходима установка более чем одного трансформатора, то нужно стремиться к тому, чтобы число трансформаторов на подстанции не превышало двух.

Двухтрансформаторные подстанции экономически обычно более целесообразны, чем подстанции с большим числом трансформаторов. При сооружении двухтрансформаторных подстанций всегда желательно осуществлять наиболее простую схему электрических соединений со стороны высшего напряжения. Все остальные решения (подстанции с тремя и большим числом трансформаторов) являются обычно более дорогими. Однако они могут быть необходимы в тех случаях, когда приходится осуществлять подстанции для питания потребителей, требующих разных напряжений.

При проектировании подстанции необходимо учитывать требование резервирования, исходя из следующих основных положений. Потребители 1-й категории должны иметь питание от двух независимых источников электроэнергии; при этом может быть обеспечено резервирование и всех других потребителей. Обеспечивая надежное питание от двух подстанций, на них можно устанавливать по одному трансформатору. При питании потребителей 1-й категории от одной подстанции для обеспечения надежности питания необходимо иметь минимум по одному трансформатору на каждой секции шин; при этом мощность трансформаторов должна быть выбрана так, чтобы при выходе из строя одного из них второй с учетом допустимой перегрузки обеспечивал питание всех потребителей 1-й категории. Ввод резервного питания должен осуществляться автоматически. Потребители 2-й категории должны быть обеспечены резервом, вводимым автоматически или действиями дежурного персонала.

При питании от одной подстанции следует иметь два трансформатора или „складской” резервный трансформатор для нескольких подстанций, питающих потребителей 2-категории, при условии, что замена трансформатора может быть произведена в соответствии с ПУЭ. На время замены трансформатора может вводиться ограничение питания потребителей с учетом перегрузки оставшегося в работе трансформатора. Потребители 3-й категории могут получать питание от однотрансформаторной подстанции при наличии «складского» резервного трансформатора.

2.1. Методические особенности выбора трансформаторов

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для питания нагрузок промышленных и сельскохозяйственных предприятий производится на основании расчетов и обоснований по изложенной ниже общей схеме.

1. Определяется число трансформаторов на подстанции, исходя из обеспечения надежности питания с учетом категории потребителей. Для потребителей 1-й и 2-й категории обычно выбирают два трансформатора, 3-й - один.

2. Намечаются возможные варианты мощности выбираемых трансформаторов (не менее двух) с учетом допустимой нагрузки их в нормальном режиме и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме.

2.1. Проверяется систематическая перегрузка в нормальном режиме. Систематическая перегрузочная способность трансформатора зависит от особенностей графика нагрузок, который характеризуется коэффициентом заполнения графика:

$$K_{з.г.} = \frac{S_{ср}}{S_M}$$

Имея величину продолжительности максимальной нагрузки $t_{п.м.}$, по кривым (рис. 9) определяют величину допустимой перегрузки,

которой можно подвергать трансформатор ежедневно в часы максимума его нагрузки. Допустимую перегрузку одного трансформатора можно определить и по формуле

$$S_{доп} = (1 - K_{з.г.}) 0,3, \text{ кВА},$$

где $S_{доп}$ – допустимая дополнительная нагрузка трансформатора в часы максимальной нагрузки сверх номинальной паспортной мощности за счет неполного использования трансформатора в течение остального времени суток.

Кроме того, трансформатор может быть перегружен зимой за счет снижения его нагрузки в летнее время. За счет снижения температуры металла обмоток при летних нагрузках естественный срок службы трансформатора увеличивается. В соответствии с этим допускается перегрузка на 1 % в зимнее время на каждый процент недогрузки в летнее время, но всего не более чем на 15%. Обе перегрузки допускается суммировать, но коэффициент общей перегрузки (k_n) не должен превышать 30%, или $S_{д.п.у} \leq 1,3S_{н.т.}$, $k_n = 1,3$.

На практике необходимо для всех выбранных вариантов мощности определить ко-

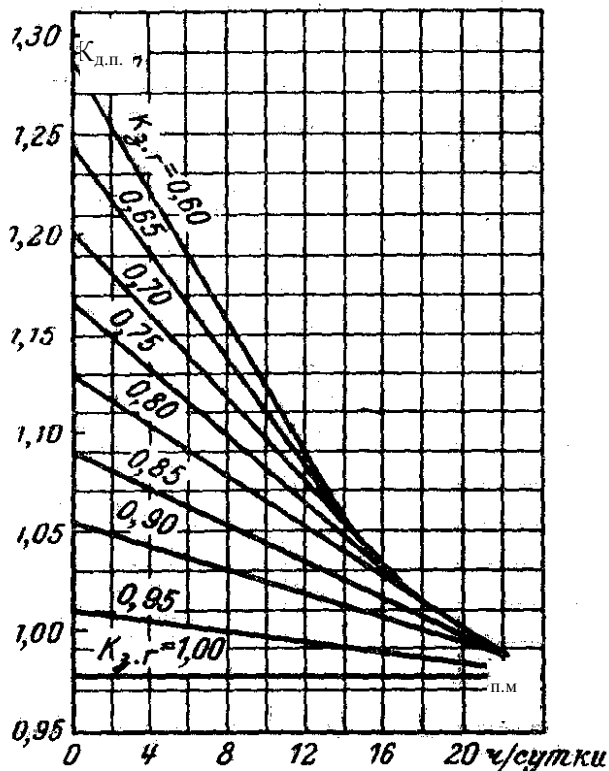


Рис. 9. Кривые кратностей допустимых перегрузок $K_{д.п.}$ силовых трансформаторов с масляным охлаждением в зависимости от коэффициента заполнения графика нагрузки $K_{з.г.}$ и продолжительности максимума $t_{п.м.}$

эффицент загрузки трансформаторов ГПП по формуле $k_3 = \frac{S_M}{nS_{н.т.}}$ (n – количество трансформаторов на ГПП, обычно $n = 2$). Если этот коэффициент меньше единицы, то все нормально, если больше, то проверяется условие передачи максимально возможной мощности по выражению $S_{м.т} = k_{п}(nS_{н.т.})$. Если $S_{м.т} > nS_{н.т.}$, вариант приемлем.

2.2. Проверяется перегрузка в послеаварийном режиме. Трансформаторы возможно перегружать в срок до 5 суток на 40%. Однако, при этом продолжительность перегрузки в каждые сутки не должна превышать 6 ч (суммарная продолжительность перегрузки подряд или с разрывами).

3. Определяется экономически целесообразный режим работы трансформаторов. Определение мощности нагрузки, когда экономически целесообразно переходить с режима работы с одним трансформатором на параллельную работу двух обычно осуществляется по эмпирической формуле

$$S_{нг} = S_{н.т.} \sqrt{n(n-1) \frac{DP'_{х.х}}{DP'_{к.з.}}} \quad (3)$$

В этом выражении $DP'_{х.х} = DP_{х.х} + k_{и.п.}DQ_{х.х}$ и $DP'_{к.з} = DP_{к.з} + k_{и.п.}DQ_{к.з}$ – приведенные потери соответственно х.х. и к.з. трансформатора, учитывающие потери активной мощности, как в самом трансформаторе, так и создаваемые им в самой системе электроснабжения, в зависимости от реактивной мощности потребляемой трансформатором; $DQ_{х.х} = S_{н.т.} \frac{I_{х.х}}{100}$ – реак-

тивная мощность холостого хода трансформатора; $DQ_{к.з} = S_{н.т.} \frac{u_{к}}{100}$ – реактивная мощность, потребляемая трансформатором при номинальной паспортной нагрузке; $I_{х.х}$, $u_{к.з}$ – соответственно ток холостого хода и напряжение короткого замыкания трансформатора (табл. 9); $k_{и.п.}$ – коэффициент изменения потерь, зависит от удаленности предприятия от источника питания, принимается в расчетах в соответствии с табл. 8 и заданным вариантом.

4. Определяются потери активной мощности и энергии в трансформаторах. При этом должны учитываться не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери активной мощности, которые возникают в системе электроснабжения по всей цепочке от генераторов станций до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности. Эти потери называются приведенными и определяются выражениями

– при работе одного трансформатора:

$$DP'_T = DP'_{х.х} + I_{инт}^2 R = DP'_{х.х} + \frac{S_{инт}^2}{(\sqrt{3}U_H)^2} 3 \frac{DP'_{к.з} U_H^2}{S_{н.т}^2} = DP'_{х.х} + k_{з.инт}^2 DP'_{к.з} \quad , \quad (4)$$

– аналогично, при работе двух трансформаторов:

$$DP'_T = 2[DP'_{х.х} + (k'_{з.инт})^2 DP'_{к.з}] \quad , \quad (5)$$

где $k_{з.инт}$ – коэффициент загрузки трансформатора, определяется отношением мощности нагрузки интервала ($S_{инт}$) к его номинальной мощности ($S_{н.т.}$), а при работе двух трансформаторов – к удвоенной $S_{н.т.}$ и принимается равным $k'_{з.инт} = 0,5 k_{з.инт}$.

Потери энергии определяются умножением потерь мощности DP'_T на период времени действия данной нагрузки. Расчеты по определению готовых потерь мощности и энергии для разных вариантов мощностей трансформаторов ГПП проще всего оформить в виде табл. 3.

Потери мощности и электрической энергии в трансформаторах мощностью _____ кВА

№ ступени графика по продолжительности	Нагрузка $S_{инт.}$, кВА	Число трансформаторов	$k_{з.инт.}$	$k'_{з.инт.} = k_{з.инт.} \cdot 0,5$	Продолжительность ступени нагрузки, час	Потери мощности в тр-рах $\Delta P'_T$, кВт	Потери эл.энергии в тр-рах (ΔW), кВтч/год
1	2	3	4	5	6	7	8
1		1		–	560	ф-ла (4)	ст.6*ст.7
2		1		–	1700		
3		1		–	1000		
4		1		–	1500		
5		2	–		1200	ф-ла (5)	
6		2	–		800		
7		2	–		800		
8		2	–		600		
9		2	–		350		
10		2	–		250		
Всего за год $\Delta \mathcal{E} = \Sigma$ строк ст.8, кВт ч							

Примечание: 1. Нагрузка (столбец 2) определяется по формуле $S_{инт.} = k_{и.пр.} S_M$ (табл. 6, 7).

2. Число трансформаторов в столбце 3 определяется условием: при $S_{нт}$ (3) больше $S_{инт}$ – один трансформатор, в противном случае – два.

3. Коэффициент загрузки определяется выражением $k_{з.инт.} = \frac{S_{инт.}}{nS_{н.т.}}$ (не путать с $K_{з.г.}$).

Проводится технико-экономическое сопоставление выбранных вариантов трансформаторной подстанции предприятия. Следует рассмотреть применение двух методов – метода срока окупаемости $T = \frac{K_B}{C_A} \frac{K_A}{C_B}$ и метода приведенных эксплуатационных затрат

$Z_A = p_n K_A + C_A$ и $Z_B = p_n K_B + C_B$. В этих выражениях K_A, K_B – капитальные вложения в варианты А и Б, тыс.руб.; $C = C_a + C_{п.} + C_{о.п.} + C_T$ – годовые эксплуатационные расходы (индексы А и Б опущены); $C_a = \phi K$ – амортизационные отчисления, $\phi = 0,1$; $C_{п.} = C_0 \Delta W$ – стоимость потерь электрической энергии, C_0 приведено для различных вариантов в табл. 7; $C_{о.п.}$ – затраты на содержание обслуживающего персонала (зарплата), текущие ремонты и т.п. (для ГПП, как правило малы и не учитываются); C_T – затраты на топливо (только на ТЭС, на ГПП равны нулю); p_n – нормативный коэффициент окупаемости (в 80-х годах XX века был принят равным 0,15, что соответствовало сроку окупаемости менее 6–7 лет, в наше время можно принять таким же).

3. Обеспечивающие средства

Нормативно-справочные материалы о параметрах элементов систем электроснабжения; методика выбора числа и мощности трансформаторов на питающих подстанциях; базы данных, заложенные в программное обеспечение персональных компьютеров лаборатории.

4. Задание

Ознакомиться с методическими особенностями выбора трансформаторов на потребительских подстанциях 10/0,4 кВ. разобраться с технологией выполнения работы, ответить на контрольные вопросы.

5. Технология работы

5.1. По величине максимальной нагрузки, соответствующей Вашему варианту задания (табл. 7) определите, согласно табл. 4, 5 и 6 характерный суточный график нагрузки и график нагрузки по продолжительности в кВА.

Таблица 4

График изменения максимума нагрузки по интервалам суток (24 часа)

Номер варианта	Интервал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,6	0,6	0,65	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,85	0,8	0,75	0,6
2	0,4	0,45	0,55	0,8	0,9	0,75	0,65	1,0	0,85	0,65	0,5	0,4
3	0,6	0,6	0,65	0,85	1,0	1,0	0,55	0,8	0,85	0,8	0,65	0,6
4	0,4	0,4	0,45	0,85	1,0	0,85	0,65	0,9	0,95	0,65	0,5	0,4
5	0,5	0,55	0,65	0,85	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,65	0,6	0,5
6	0,6	0,7	0,80	0,85	1,0	1,0	0,9	0,85	0,8	0,75	0,65	0,6
7	0,6	0,65	0,75	0,85	0,9	1,0	1,0	0,9	0,85	0,75	0,7	0,6
8	0,4	0,45	0,55	0,7	0,9	1,0	0,95	0,85	0,75	0,7	0,55	0,4
9	0,7	0,75	0,8	0,90	0,95	1,0	1,0	0,95	0,90	0,85	0,75	0,65
0	0,7	0,75	0,80	0,85	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,85	0,75	0,65

Таблица 5

Длительность интервала суточного графика нагрузки в часах

Номер варианта	Интервал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5	2	2	3
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	1	1	1,5	2	3,5	2	3,5	2	2	2	1,5	2
7	1	1	2	2	3	2	3	3	2	2	2	1
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2	2,5	2	2	1	1
0	1	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2	2	2	1

5.2. В соответствии с методическими указаниями определите:

- число трансформаторов на подстанции и как минимум два варианта их единичной мощности из условия перегрузочной способности трансформаторов;
- экономически целесообразный режим работы трансформаторов;
- потери активной мощности и энергии в трансформаторах.

5.3. Проведите технико-экономическое сопоставление выбранных вариантов трансформаторной подстанции предприятия.

Примечание:

1. Высокое и низкое напряжение ГПП, долю приемников электроэнергии 1-й категории в о.е. к максимуму нагрузки, стоимость 1 кВтч электроэнергии принять равными, согласно вариантов задания, табл. 7.

2. Технические параметры силовых трансформаторов ГПП приведены в табл. 9.

Таблица 6

Коэффициенты изменения нагрузки графика по продолжительности ($k_{и.пр.}$)

Номер варианта	Часы по уменьшению									
	8760--8200	8200--6500	6500--5500	5500--4000	4000--2800	2800--2000	2000--1200	1200--600	600--250	250--0
1	0,20	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,0
2	0,15	0,25	0,40	0,45	0,55	0,75	0,85	0,90	0,95	1,0
3	0,10	0,15	0,20	0,25	0,40	0,55	0,65	0,75	0,90	1,0
4	0,25	0,40	0,50	0,65	0,75	0,80	0,85	0,9	0,95	1,0
5	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90	1,0
6	0,15	0,20	0,30	0,45	0,55	0,65	0,70	0,85	0,95	1,0
7	0,20	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
8	0,15	0,20	0,30	0,45	0,50	0,55	0,65	0,75	0,85	1,0
9	0,15	0,25	0,35	0,55	0,65	0,70	0,75	0,85	0,95	1,0
0	0,20	0,25	0,35	0,45	0,60	0,75	0,85	0,9	0,95	1,0
Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 7

Максимум нагрузки, номинальные напряжения ТП, стоимость электроэнергии

Номер варианта	S_m , кВА	$U_{вн}/U_{нн}$, кВ	Стоимость электроэнергии, руб/кВтч	Процент ЭП 1-й категории
1	16000	35/10,5	1,8	40
2	25000	110/11	1,75	26
3	10000	35/10,5	1,85	45
4	14000	110/11	1,95	30
5	26000	35/10,5	2,0	35
6	23000	35/10,5	1,9	42
7	15000	110/11	1,75	37
8	14000	35/10,5	2,0	45
9	10000	35/10,5	1,9	60
0	24000	110/11	1,95	48

Таблица 8

Коэффициент изменения потерь активной мощности $k_{п.и.}$ трансформатора кВт/кВАр

Номер варианта									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0,03	0,05	0,08	0,1	0,05	0,03	0,07	0,075	0,065	0,09

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать следующее:

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Необходимые расчеты по обоснованию числа и мощности трансформаторов ТП.
- 6.3. Таблицы необходимые для обоснования принятого варианта ТП.
- 6.4. Выводы по работе.

Таблица 9

Технические данные трехфазных масляных двухобмоточных трансформаторов

Тип	Номинал. мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напря- жение к.з., %	Ток х.х., %	Капиталь- ные затра- ты, тыс.руб
		ВН	НН	Х.х.	к.з.			
ТМ-4000/35	4000	35	10,5	6,7	35	7,5	1,3	275
ТМН-6300/35	6300	35	10,5	9,4	46,5	7,5	0,9	350
ТД-10000/35	10000	35	10,5	14,5	65	7,5	0,8	530
ТД-16000/35	16000	35	10,5	21	90	8,0	0,75	730
ТРДН-25000/35	25000	35	10,5	29	145	9,5	0,7	1220
ТМН-6300/110	6300	115	11	17,3	55,2	10,5	3,72	600
ТМН-10000/110	10000	115	11	18	60	10,5	0,9	10000
ТДН-16000/110	16000	115	11	26	85	10,5	0,85	1920
ТРДН-25000/110	25000	115	11	36	120	10,5	0,8	2240

7. Контрольные вопросы

1. Каким образом определяются приведенные затраты, почему они называются приведенными?
2. Что такое нормативный коэффициент приведенных затрат?
3. Какими правилами пользуются при определении числа трансформаторов цеховой подстанции?
4. Что понимается под коэффициентом загрузки трансформатора?
6. Каким образом определяется экономически обоснованный режим трансформатора? Физическая сущность этого режима.
7. Чем вызваны потери мощности в трансформаторе? Приведите формулы определения активного и реактивного сопротивления трансформатора.
8. Метод срока окупаемости, его применение при сопоставлении двух вариантов.

3.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

**МЕТОДЫ ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАЧАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
(продолжительность 8 часов)**

1. Цель работы

Ознакомление с методами практического расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания и промышленной программой «ТКЗ» (разработчик Новосибирский государственный технический университет – НГТУ-НЭТИ).

2. Краткие теоретические сведения

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора и проверки электрооборудования по условиям короткого замыкания (КЗ); для выбора уставок и оценки возможного действия релейной защиты и автоматики; для определения влияния токов нулевой последовательности линий электропередачи на линии связи; для выбора заземляющих устройств.

При расчетах токов КЗ допускается не учитывать:

- сдвиг по фазе ЭДС и изменение частоты вращения роторов синхронных генераторов, компенсаторов и электродвигателей, если продолжительность КЗ не превышает 0,5 с;
- ток намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов;
- насыщение магнитных систем электрических машин;
- поперечную емкость воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ, если их длина не превышает 200 км, и напряжением 330–500 кВ, если их длина не превышает 150 км.

Расчет периодической составляющей тока КЗ допускается производить, не учитывая активные сопротивления элементов электроэнергетической системы, если результирующее эквивалентное сопротивление относительно точки КЗ не превышает 30% результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления.

Токи КЗ в зависимости от сложности расчетной схемы и цели расчета допускается определять путем аналитических расчетов с использованием эквивалентных схем замещения, а также расчетов с использованием ЭВМ.

2.1. Относительные единицы расчета

Вычисление величин в относительных единицах, т.е. в долях или процентах от некоторой заданной, так называемой базисной, величины встречались в дисциплинах, изучавшихся ранее: физике, электротехнике и др. Относительные единицы используются также и при расчетах токов КЗ.

Возьмем элемент трехфазной цепи (трансформатор, генератор, реактор) со следующими номинальными параметрами: $U_{\text{ном}}$ (кВ), $I_{\text{ном}}$ (кА), $S_{\text{ном}}$ (МВА), $x_{\text{ном}}$ (Ом).

Номинальные параметры связаны между собой соотношениями:

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3} I_{\text{ном}} U_{\text{ном}} ;$$

$$x_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} I_{\text{ном}}} .$$

Любой другой режим работы этого же элемента цепи, (не номинальный), характеризуется некоторыми значениями напряжения U , тока I , мощности $S = \sqrt{3}IU$ и сопротивления $x = U/\sqrt{3}I$, которые можно выразить в долях соответствующих номинальных параметров данного элемента, принимаемых в этом случае за базисные:

$$U_{(\text{ном})} = \frac{U}{U_{\text{ном}}} ; I_{(\text{ном})} = \frac{I}{I_{\text{ном}}} ; S_{(\text{ном})} = \frac{S}{S_{\text{ном}}} ;$$

$$x_{(\text{ном})} = \frac{x}{x_{\text{ном}}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{ном}} x}{U_{\text{ном}}} = \frac{x}{U_{\text{ном}}^2} S_{\text{ном}} .$$

В каталогах и справочных материалах приводятся относительные значения параметров, приведенные к номинальной мощности и номинальному напряжению элемента.

В некоторых случаях относительные номинальные величины выражают в %

$$x, \% = x_{(\text{ном})} \cdot 100 .$$

Относительные значения всех параметров можно определять не только по отношению к номинальным значениям данного элемента цепи, но и по отношению к любой другой базисной системе величин. В базисную систему величин должны входить базисные мощность $S_{\text{б}}$, напряжение $U_{\text{б}}$, ток $I_{\text{б}}$, сопротивление $x_{\text{б}}$, причем $S_{\text{б}} = \sqrt{3}U_{\text{б}}I_{\text{б}}$; $x_{\text{б}} = U_{\text{б}}/\sqrt{3}I_{\text{б}}$. При этом произвольно можно задаваться любыми двумя базисными величинами. Обычно задаются $S_{\text{б}}$ и $U_{\text{б}}$, а ток и сопротивление рассчитывают

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}};$$

$$x_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}I_{\delta}} = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}}.$$

При известных S_{δ} , U_{δ} , I_{δ} , x_{δ} относительные значения определяют:

$$U = \frac{U}{U_{\delta}}; I = \frac{I}{I_{\delta}}; S = \frac{S}{S_{\delta}};$$

$$x = \frac{x}{x_{\delta}} = \frac{x \sqrt{3}I_{\delta}}{U_{\delta}} = \frac{x S_{\delta}}{U_{\delta}^2}.$$

Если известны сопротивления в относительных единицах при номинальных условиях, то

$$x = x_{(ном)} \frac{I_{\delta} U_{ном}}{I_{ном} U_{\delta}} = x_{(ном)} \frac{S_{\delta} U_{ном}^2}{S_{ном} U_{\delta}^2}.$$

Относительные значения линейных и фазных напряжений (и ЭДС) численно равны:

$$U_{лин} = \frac{U_{лин}}{U_{блин}} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{\sqrt{3}U_{\delta\phi}} = \frac{U_{\phi}}{U_{\delta\phi}} = U_{\phi}.$$

При составлении схемы замещения в относительных единицах ее параметры приводят к базисным условиям на основной ступени напряжения (S_{δ} и U_{δ}). Значение базисной мощности выбирают таким, чтобы получались удобные для вычислений числа. Обычно S_{δ} принимают соразмерной номинальной мощности источника питания или кратной 100 МВА, 1000 МВА.

2.2. Расчет начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания

При расчете начального значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ ($I_{ПО}$) должны быть учтены все синхронные генераторы и компенсаторы, а также синхронные и асинхронные электродвигатели мощностью 100 кВт и более, если эти электродвигатели не отделены от точки КЗ токоограничивающими реакторами или силовыми трансформаторами. В автономных системах при расчетах токов КЗ следует учитывать и электродвигатели мощностью менее 100 кВт, если их доля в суммарном токе КЗ составляет не менее 5%.

На первом этапе расчета на основе принципиальной схемы электроэнергетической системы составляют расчетную схему. На ней в однолинейном изображении показывают источники электроэнергетической системы, точки КЗ и все силовые элементы, по которым возможно протекание тока КЗ.

Расчетные схемы элементов электроэнергетической системы и состав их параметров, необходимый в общем случае для расчетов токов КЗ приведены в табл. 10.

При расчетах токов КЗ все источники электроэнергии для которых замыкание является удаленным и соответствующие элементы электрической сети могут быть относительно точки КЗ или иного выбранного узла сети эквивалентированы одним источником неизменного напряжения и одним сопротивлением. Такой источник называется «системой». Удаленность точки КЗ от синхронной машины характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этой машины в начальный момент КЗ к номинальному току машины

$$I_{ПО(ном)} = \frac{I_{ПО}}{I_{ном}}.$$

Таблица 10

Расчетные схемы и параметры расчетных схем элементов электроэнергетической системы

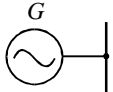
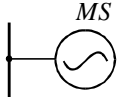
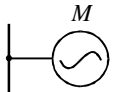
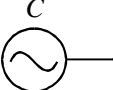
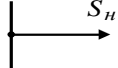
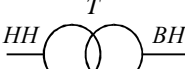
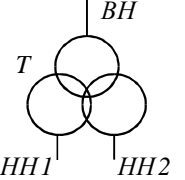
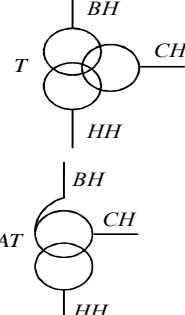

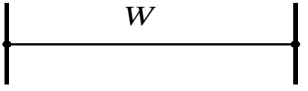
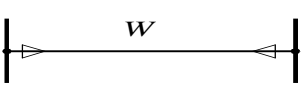
Наименование элемента	Расчетная схема	Параметры расчетной схемы
Генератор		$S_{\text{НОМ}}$ (МВА) или $P_{\text{НОМ}}$ (МВт); $U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$; $x''_{d(\text{НОМ})}$; $x_{d(\text{НОМ})}$; $x_{2(\text{НОМ})}$;
Синхронный двигатель		$S_{\text{НОМ}}$ (МВА) или $P_{\text{НОМ}}$ (МВт); $U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$; $x''_{d(\text{НОМ})}$ или $I_{*\text{пуск}}=K_{\text{П}}=\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$ и $x_{d(\text{НОМ})}$; $x_{2(\text{НОМ})}$
Асинхронный двигатель		$P_{\text{НОМ}}$ (МВт); $U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$; $K_{\text{П}}$; η (%).
Эквивалентный источник (система)		$U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $S_{\text{КЗ}}$ (МВА) или $I_{\text{НОМ. отк.}}$ (кА) или $x_{*(\text{НОМ})}$ и $S_{\text{НОМ}}$ (МВА).
Эквивалентная нагрузка		$U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $S_{\text{НОМ}}$ (МВА).
Двухобмоточный трансформатор (	$S_{\text{НОМ}}$ (МВА); $U_{\text{НОМВН}}$ (кВ); $U_{\text{НОМНН}}$ (кВ); $u_{\text{К}}$ (%); $P_{\text{К}}$ (кВт).
Двухобмоточный трансформатор с обмоткой НН, расщепленной на две части.		$S_{\text{НОМ ВН}}$ (МВА) или $S_{\text{НОМ НН}}=0,5S_{\text{НОМ ВН}}$ (МВА) $U_{\text{НОМВН}}$ (кВ); $U_{\text{НОМНН1}}$ (кВ); $U_{\text{НОМНН2}}$ (кВ); $u_{\text{К ВН1}}$ (%); $u_{\text{К ВН2}}$ (%); $u_{\text{К НН1Н2}}$ (%); $P_{\text{К}}$ (кВт).
Трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор)		$S_{\text{НОМ}}$ (МВА); $U_{\text{НОМВН}}$ (кВ); $U_{\text{НОМСН}}$ (кВ); $U_{\text{НОМНН}}$ (кВ); $u_{\text{К ВН}}$ (%); $u_{\text{К ВС}}$ (%); $u_{\text{К СН}}$ (%); $P_{\text{К ВН}}$ (кВт); $P_{\text{К ВС}}$ (кВт); $P_{\text{К СН}}$ (кВт).
Реактор		$U_{\text{НОМ}}$ (кВ); $I_{\text{НОМ}}$ (А); $x_{\text{НОМ}}$ (Ом).
Воздушная линия Электропередачи		$U_{\text{НОМ}}$ (кВ); x_1 (Ом/км); x_0 (Ом/км); $x_{\mu 0}$ (Ом/км); R_1 (Ом/км); R_0 (Ом/км); l (км), C (Ф/км).
Кабельная линия Электропередачи		$U_{\text{НОМ}}$ (кВ); x_1 (Ом/км); x_0 (Ом/км); $x_{\mu 0}$ (Ом/км); R_1 (Ом/км); R_0 (Ом/км); l (км), C (Ф/км).

Таблица 11

Схемы замещения и расчетные выражения для определения сопротивлений

Наименование элемента	Схема замещения	Исходный параметр	Сопротивление элемента (Ом)
Генератор (синхронный компенсатор)		$U_{ном}; S_{ном}; x_{*d(ном)}''$	$x = x_d'' = x_{*d(ном)}'' \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}$
Синхронный двигатель		$U_{ном}; S_{ном}$ (или $P_{ном}; \cos\varphi_{ном}$); $x_{*d(ном)}''$ (или $I_{*пуск}; M_{*пуск}$)	$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном}}; x = x_d'' = x_{*d(ном)}'' \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}};$ $x_{*d(ном)}'' = \frac{1}{I_{*пуск}} \cdot \sqrt{1 - (M_{*пуск} / I_{*пуск})^2}$
Асинхронный двигатель		$P_{ном}; \cos\varphi_{ном}; U_{ном}; K_{П}; \eta$	$x = x'' = x''(ном) \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}};$ $x''(ном) = \frac{1}{K_{П}}; S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном} \cdot \frac{3}{100}}$
Эквивалентная нагрузка		$U_{ном}; S_{ном}$	$x = x'' = 0,35 \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}$
Эквивалентный источник (система)		$U_{ном}; S_{КЗ}$	$x = \frac{U_{ном}^2}{S_{КЗ}}$
		$I_{отк. ном.}$	$x = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк. ном}}$

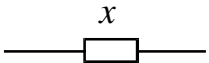
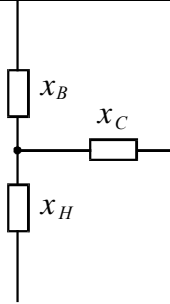
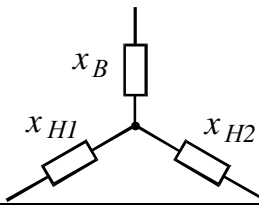
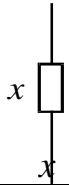
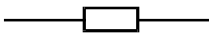
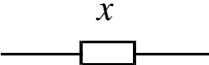
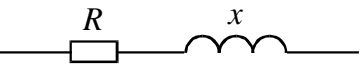
		$S_{НОМ}, x_{*(НОМ)}$	$x = x_{(НОМ)} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}$
Двухобмоточный трансформатор (автотрансформатор)		$U_{НОМ}; S_{НОМ}; u_{к}$	$x = \frac{u_{к}}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}$
Трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор)		$U_{НОМ}; S_{НОМ};$ $u_{кBC}; u_{кBH};$ $u_{кCH}$	$x_B = \frac{0,5(u_{кBC} + u_{кBH} - u_{кCH})}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}$ $x_C = \frac{0,5(u_{кBC} + u_{кCH} - u_{кBH})}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}$ $x_H = \frac{0,5(u_{кBH} + u_{кCH} - u_{кBC})}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}$
Двухобмоточный трансформатор с обмоткой НН, расщепленной на две части		$U_{НОМ}; S_{НОМВН};$ $u_{кВН}$	$x_B = \frac{0,125}{100} \frac{u_{кВН}}{S_{НОМВН}} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМВН}}$ $x_{H1} = x_{H2} = \frac{1,75}{100} \frac{u_{кВН}}{S_{НОМВН}} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМВН}}$
Двухобмоточный трансформатор с обмоткой НН, расщепленной на две части, при параллельной работе обмоток НН		$U_{НОМ};$ $S_{НОМВН}; u_{кВН}$	$x = \frac{u_{кВН}}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМВН}}$
Реактор		$x_{НОМ}$	$x = x_{НОМ}$
Воздушная линия электропередачи		$x_1; l$	$x = x_1 \cdot l$
Кабельная линия электропередачи		$x_1; R_1; l$	$x = x_1 \cdot l$ $R = R_1 \cdot l$

Таблица 12

Расчетные выражения для определения приведенных параметров элементов схемы замещения при приближенном учете коэффициентов трансформации трансформаторов.

Наименование элемента		Параметры элемента	
		Именованные единицы, R (Ом); E (кВ)	Относительные единицы
Генератор (синхронный компенсатор), синхронный двигатель		$x_d'' = x_d'' d(ном) \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x'' = x'' d(ном) \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Генератор, синхронный двигатель	В режиме перевозбуждения	$E'' = \sqrt{\left(\frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} + I_{ном(\delta)} x_d'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{ном(\delta)} x_d'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$	$E'' = \sqrt{\left(U_{(ном)} + I_{(ном)} x_d'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{(ном)} x_d'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$
	В режиме недо возбуждения	$E'' = \sqrt{\left(\frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} - I_{ном(\delta)} x_d'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{ном(\delta)} x_d'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$	$E'' = \sqrt{\left(U_{(ном)} - I_{(ном)} x_d'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{(ном)} x_d'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$
Синхронный компенсатор	В режиме перевозбуждения	$E'' = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} + I_{ном(\delta)} x_d''$	$E'' = U_{(ном)} + I_{(ном)} x_d''(ном)$
	В режиме недо возбуждения	$E'' = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} - I_{ном(\delta)} x_d''$	$E'' = U_{(ном)} - I_{(ном)} x_d''(ном)$
Асинхронный двигатель		$x'' = x''(ном) \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x'' = x''(ном) \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
		$E'' = \sqrt{\left(\frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} - I_{ном(\delta)} x'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{ном(\delta)} x'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$	$E'' = \sqrt{\left(U_{(ном)} - I_{(ном)} x'' \sin \varphi_{ном}\right)^2 + \left(I_{(ном)} x'' \cos \varphi_{ном}\right)^2}$

Эквивалентный источник (система)	$x = \frac{U_{\delta}^2}{S_{K3}}$	$x = \frac{S_{\delta}}{S_{K3}}$
	$x = \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} I_{\text{ном.отк}} U_{\text{ср}}}$	$x = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} I_{\text{ном.отк}} U_{\text{ср}}}$
	$x = x_{(\text{ном})} \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$	$x = x_{(\text{ном})} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$
	$E = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}}$	$E = U_{(\text{ном})}$
Эквивалентная нагрузка	$x'' = 0,35 \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$	$x'' = 0,35 \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$
	$E'' = 0,85 \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}}$	$E'' = 0,85 U_{(\text{ном})}$
Двухобмоточные трансформаторы (автотрансформаторы)	$x = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$	$x = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$
Трехобмоточные трансформаторы (автотрансформаторы)	$x_B = \frac{0,5(u_{\kappa BC} + u_{\kappa BH} \quad u_{\kappa CH})}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$ $x_C = \frac{0,5(u_{\kappa BC} + u_{\kappa CH} \quad u_{\kappa BH})}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$ $x_H = \frac{0,5(u_{\kappa BH} + u_{\kappa CH} \quad u_{\kappa BC})}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{ном}}}$	$x_B = \frac{0,5(u_{\kappa BC} + u_{\kappa BH} \quad u_{\kappa CH})}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$ $x_C = \frac{0,5(u_{\kappa BC} + u_{\kappa CH} \quad u_{\kappa BH})}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$ $x_H = \frac{0,5(u_{\kappa BH} + u_{\kappa CH} \quad u_{\kappa BC})}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном}}}$

Двухобмоточный трансформатор с обмоткой НН, расщепленной на две части	$x_B = \frac{0,125 u_{кВН}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$ $x_{H1} = x_{H2} = \frac{1,75 u_{кВН}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x_B = \frac{0,125 u_{кВН}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$ $x_{H1} = x_{H2} = \frac{1,75 u_{кВН}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Двухобмоточный трансформатор с обмоткой НН, расщепленной на две части, при параллельной работе обмоток НН	$x = \frac{u_{кВН}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x = \frac{u_{кВН}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Реактор	$x = x_{ном} \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x = x_{ном} \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$
Воздушная линия	$x = x_1 l \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x = x_1 l \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$
Кабельная линия	$x = x_1 l \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$ $R = R_1 l \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x = x_1 l \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$ $R = R_1 l \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$

Примечания:

1. До КЗ все источники работали в номинальном режиме.
2. $S_{ном}$ – номинальные мощности элементов (МВА); S_{δ} – базисная мощность (МВА); U_{δ} – среднее (по шкале средних номинальных напряжений) базисное напряжение основной ступени (кВ); U_{cp} – среднее (по шкале) напряжение в месте установки данного элемента (кВ); $I_{ном(\delta)} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{\delta}}$ – номинальный ток, приведенный к базисному напряжению основной ступени; $I_{(ном)} = 1$;

$U_{(ном)} = 1$.

3. Шкала средних номинальных напряжений: 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115;154;230;340;515 кВ.

Если $I_{\text{ПО(НОМ)}} > 2$, то КЗ считается удаленным, а при $I_{\text{ПО(НОМ)}} \leq 2$ – малоудаленным.

На основе расчетной схемы составляют схему замещения электроэнергетической системы. Параметры элементов схем замещения могут быть определены:

- 1) в именованных единицах с приведением значений параметров расчетных схем к выбранной основной (базисной) ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- 2) в относительных единицах с приведением значений параметров расчетных схем к выбранным базисным условиям и с учетом фактических коэффициентов трансформации всех силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- 3) в именованных единицах без приведения значений параметров расчетных схем к одной ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов (при таком представлении схемы замещения расчеты обычно выполняются на ЭВМ при наличии специализированных программ).

При отсутствии данных о фактических коэффициентах трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов допускается использовать приближенный способ их учета. Он состоит в замене фактических коэффициентов трансформации отношением средних номинальных напряжений сетей соответствующих ступеней напряжения. При этом рекомендуется использовать *шкалу средних номинальных напряжений сетей*: 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515 кВ.

Схема замещения электроэнергетической системы представляет собой совокупность схем замещения ее отдельных элементов, соединенных между собой в той же последовательности, что и на расчетной схеме. При расчете начального значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ синхронные и асинхронные машины в схему замещения должны быть введены сверхпереходными сопротивлениями и сверхпереходными ЭДС. Последние следует принимать численно равными значениям этих ЭДС в момент, предшествующий КЗ.

Для синхронных генераторов и электродвигателей, которые до КЗ работали с перевозбуждением, сверхпереходную ЭДС (фазное значение) в киловольтах следует определять по формуле:

$$E_{\phi}'' = \sqrt{(U_{\phi|0} + I_{|0} \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_{|0})^2 + (I_{|0} \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_{|0})^2},$$

где $U_{\phi|0}$ – фазное напряжение на выводах машины в момент, предшествующий КЗ, кВ; $I_{|0}$ – ток статора в момент, предшествующий КЗ, кА; $\varphi_{|0}$ – угол сдвига фаз напряжения и тока в момент, предшествующий КЗ, град.

Для синхронных генераторов и электродвигателей, работавших до КЗ с недозавозбуждением, сверхпереходную ЭДС следует определять по формуле

$$E_{\phi}'' = \sqrt{(U_{\phi|0} - I_{|0} \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_{|0})^2 + (I_{|0} \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_{|0})^2}.$$

Для синхронных компенсаторов, работавших до КЗ с перевозбуждением

$$E_{\phi}'' = U_{\phi|0} + I_{|0} \cdot x_d'',$$

а работавших с недозавозбуждением

$$E_{\phi}'' = U_{\phi|0} - I_{|0} \cdot x_d''.$$

Для асинхронных электродвигателей сверхпереходную ЭДС следует определять по формуле

$$E_{\phi}'' = \sqrt{(U_{\phi|0} - I_{|0} \cdot x'' \cdot \sin \varphi_{|0})^2 + (I_{|0} \cdot x'' \cdot \cos \varphi_{|0})^2}.$$

Для эквивалентного источника (системы)

$$E_{\phi}'' = E_{\phi} = U_{\phi|0|},$$

для эквивалентной нагрузки

$$E_{\phi}'' = 0,85 \cdot U_{\phi|0|}.$$

Если параметры режима, предшествующего КЗ, не заданы, то принимают, что до КЗ электрические машины работали в номинальном режиме.

Схемы замещения элементов электроэнергетической системы и формулы для расчета их сопротивлений приведены в табл. 11.

При определении параметров элементов схемы замещения в именованных единицах с приведением значений параметров расчетной схемы к выбранной основной ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов необходимо ЭДС источников и сопротивления всех элементов привести к основной ступени напряжения используя соотношения

$$\overset{\circ}{E} = E n_1 n_2 \dots n_m,$$

$$\overset{\circ}{Z} = \underline{Z} n_1^2 n_2^2 \dots n_m^2,$$

где E и \underline{Z} – действительные значения ЭДС источника электроэнергии (кВ) и сопротивления (Ом) какого-либо элемента; n_1, n_2, \dots, n_m – коэффициенты трансформации трансформаторов (автотрансформаторов), включенных каскадно между ступенью напряжения сети, где заданы E и \underline{Z} , и основной ступенью напряжения сети. Коэффициент трансформации каждого трансформатора (автотрансформатора) должен быть определен в направлении от основной ступени напряжения сети, т.е. как отношение напряжения холостого хода обмотки, обращенной в сторону основной ступени напряжения сети, к напряжению холостого хода другой обмотки.

При определении параметров элементов схемы замещения в относительных единицах с приведением значений параметров расчетной схемы к выбранной основной ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов необходимо:

- 1) задаться базисной мощностью (в МВА) и для одной из ступеней напряжения сети, принимаемой за основную, выбрать базисное напряжение $U_{\delta, \text{осн}}$ (кВ);
- 2) найти базисные напряжения (кВ) других ступеней напряжения сети, используя формулу

$$U_{\delta N} = \frac{1}{n_1 n_2 \dots n_m} U_{\delta, \text{осн}},$$

где n_1, n_2, \dots, n_m – коэффициенты трансформации трансформаторов (автотрансформаторов), включенных каскадно между основной и N -й ступенями напряжения;

- 3) определить относительные значения ЭДС и сопротивлений всех элементов при выбранных базисных условиях, используя формулы:

$$E_{(6)} = \frac{E}{U_{\delta}};$$

$$\underline{Z}_{(6)} = \underline{Z} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2},$$

где E – линейная ЭДС источника (кВ); \underline{Z} – сопротивление элемента (Ом); U_{δ} – базисное напряжение (кВ) той ступени напряжения сети, на которой находится элемент, подлежащий приведению; S_{δ} – базисная мощность (МВА).

При составлении схемы замещения в именованных и относительных единицах приближенным методом за номинальное и базисное напряжение каждой ступени принимается среднее номинальное напряжение по шкале средних номинальных напряжений.

Формулы для расчета параметров схемы замещения в именованных и относительных единицах при приближенном учете коэффициентов трансформации трансформаторов (автотрансформаторов) приведены в таблице 3. Принято, что до КЗ все источники работали в номинальном режиме.

Если для расчета используется аналитический способ, то полученную схему замещения необходимо преобразовать и определить эквивалентную ЭДС $E''_{эк,ф}$ (или $E''_{эк,(б)}$) и эквивалентное сопротивление $x_{эк}$ (или $x_{*эк(б)}$) относительно точки КЗ. Начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте КЗ (кА) равно

$$I_{П0} = \frac{E''_{эк,ф}}{x_{эк}} = \frac{E''_{эк(б)}}{x_{эк(б)}} I_б ,$$

где $I_б$ – базисный ток той ступени напряжения сети, где находится точка КЗ (кА).

Примеры составления схемы замещения и расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ для простой схемы приведены в приложении.

При расчете $I_{П0}$ для сложной схемы определяют эквивалентные ЭДС и сопротивление, используя известные методы преобразований линейных электрических цепей или используют специализированные программы расчета на ЭВМ.

3. Обеспечивающие средства

Персональные компьютеры лаборатории и программное обеспечение «ТКЗ». Полная справочная информация об этом программном продукте на персональных компьютерах.

4. Задание

Ознакомиться с техническим описанием программного комплекса «ТКЗ», приобрести практические навыки работы с данной программой. Подготовить схему замещения сети и рассчитать ее параметры. Ответить на контрольные вопросы.

5. Технология работы

3.1 Для заданной принципиальной схемы (рис. 10) определить параметры расчетной схемы.

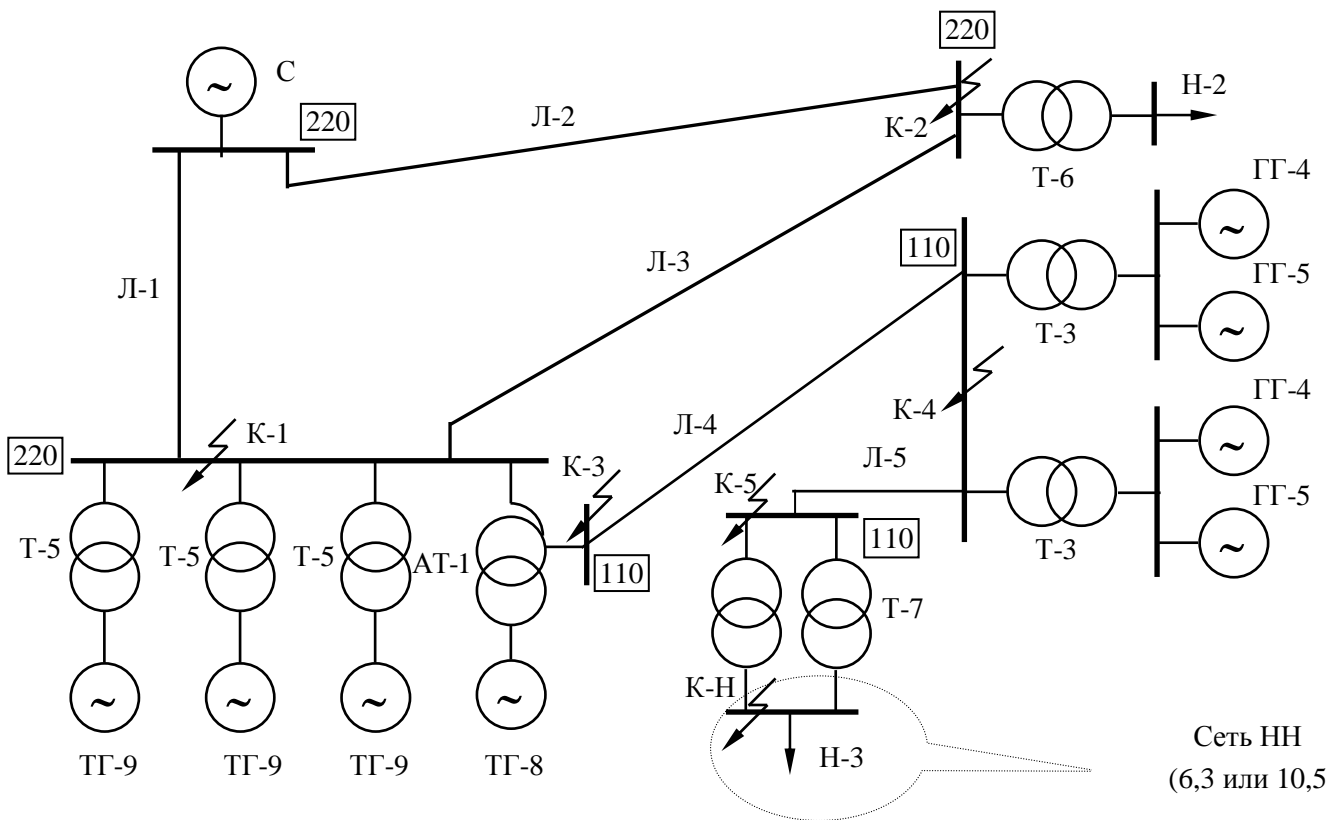
3.2 Составить схему замещения для расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания.

3.3 Заданным преподавателем методом рассчитать параметры схемы замещения.

3.4 Выполнить расчет тока $I_{П0}$.

3.4.1 Преобразовать схему замещения относительно точки КЗ и найти начальный ток в месте КЗ; определить токораспределение в схеме при КЗ в заданной точке.

3.4.2 Произвести расчет по программе ТКЗ, разработанной на кафедре «Электроэнергетические сети и системы» Новосибирского электротехнического университета. Необходимо пронумеровать ветви и узлы схемы замещения, ввести, согласно инструкции, исходные данные о схеме замещения и выполнить расчеты трехфазного КЗ в заданных точках; определить токи и напряжения в схеме в именованных единицах, приведенные к собственной ступени напряжения.



а) схема №1

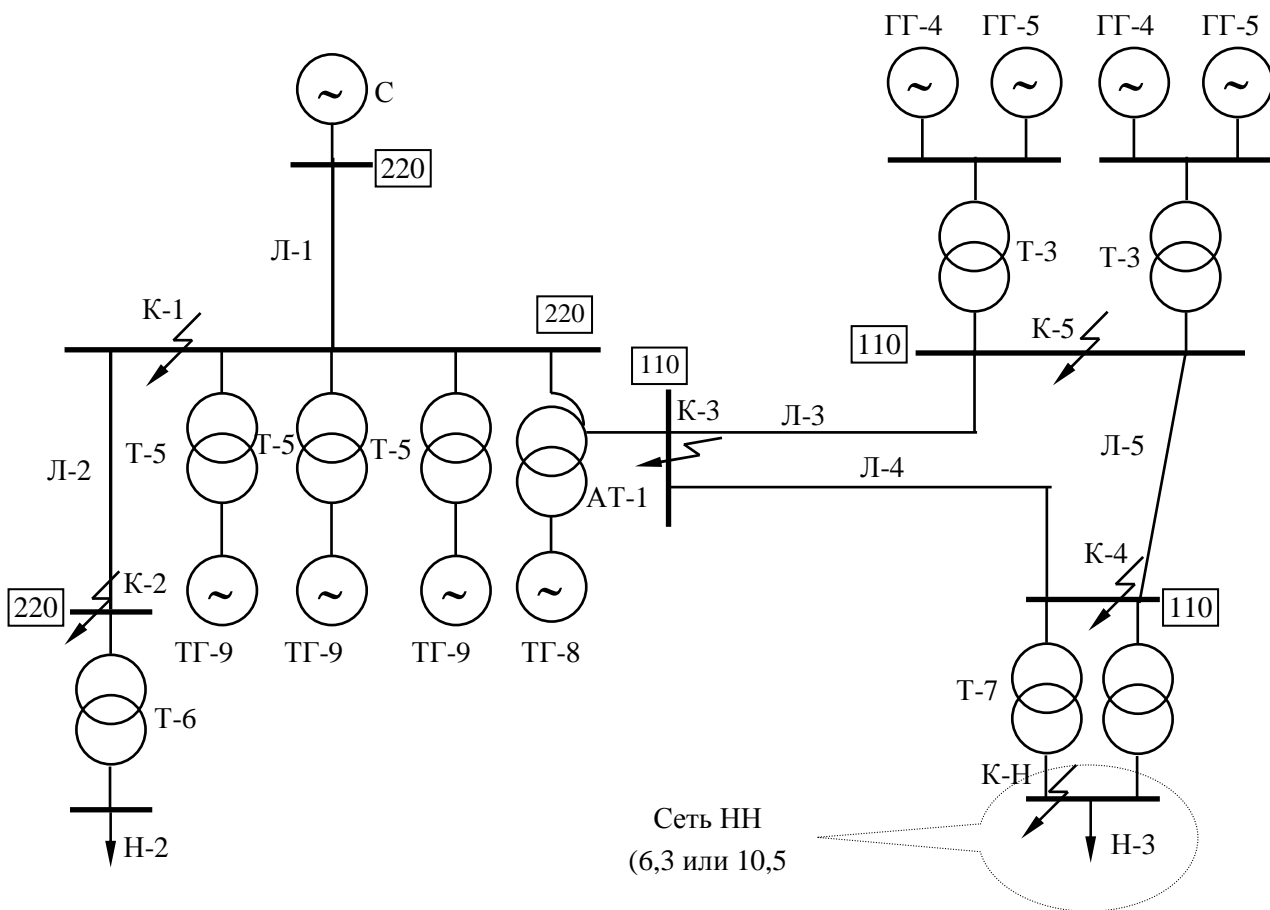


Рис. 10. Расчетные схемы
б) схема №2

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать следующее:

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Расчетную схему электрической сети и схему ее замещения с нанесенными расчетными параметрами.
- 6.3. Таблицы основных параметров схемы замещения для узлов и ветвей заданной схемы, аналогичные задаваемым в программе «ТКЗ».
- 6.4. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Каковы цели расчета КЗ?
2. Какие условия и основные допущения принимают при расчетах КЗ?
3. Что понимается под термином «относительные единицы»?
4. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения электроэнергетической системы?
5. Зависит ли результат расчета тока КЗ от выбора базисных условий?
6. Назовите отличия принципиальной схемы, расчетной схемы и схемы замещения.
7. На чем основаны точное и приближенное приведения параметров элементов короткозамкнутой цепи в схемах замещения?

3.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

РАСЧЕТ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАТУХАНИЯ (продолжительность 4 часа)

1. Цель работы

Ознакомление с методами расчета токов трехфазного короткого замыкания по методике индивидуального затухания. Ознакомление с комплексом программных средств, предназначенных для расчета токов коротких замыканий.

2. Краткие теоретические положения

1. *Базисные величины.* Представление любых физических величин не в обычных для них соответствующих именованных единицах, а в относительных, безразмерных единицах позволяет существенно упростить некоторые теоретические выкладки. В практических расчетах такое представление величины придает результатам большую наглядность и позволяет быстрее ориентироваться в порядке определяемых значений. Благодаря этому система относительных единиц (о.е.) широко используется, хотя на первый взгляд она может показаться несколько искусственной и даже излишней. *Под относительным значением* какой-либо величины понимают ее отношение к другой одноименной величине, выбранной за единицу измерения.

Например, если за базисный ток и базисное двухфазное напряжение приняты некоторые произвольные величины I_6 и U_6 , то $S_6 = \sqrt{3}U_6I_6$; $z_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_6}$. Как видно из 4-х базисных величин, только две могут быть выбраны произвольно, а две другие получаются из законов

электрических цепей. Таким образом, при выбранных базисных условиях относительные значения $E_{*6} = E/U_6$; $I_{*6} = I/I_6$; $U_{*6} = U/U_6$; $S_{*6} = S/S_6$; $z_{*6} = z/z_6$.

2. *Схема замещения.* При расчетах токов к.з. составляют расчетную схему, в которую вводят все участвующие в питании источники тока (генераторы, синхронные компенсаторы, синхронные и асинхронные электродвигатели) и все элементы (трансформаторы, воздушные и кабельные линии, реакторы), связанные между собой и с местом к.з. Мощные источники питающей системы можно вводить в схему как источники неограниченной мощности. Схемы замещения выполняются в однолинейном изображении с указанием на них порядковых номеров сопротивлений, их величин, выраженных в относительных единицах, приведенных к базисной мощности, или, реже, в именованных (Ом), приведенных

Генераторы вводятся в схему замещения своими сверхпереходными фазными э.д.с. E''_{ϕ} и сопротивлениями x''_d . Если известен предшествующий режим работы генератора, то величину сверхпереходной э.д.с. определяют по формуле

$$E''_{\phi} = \sqrt{(U_{\phi 0} + I_0 \cdot x''_d \cdot \sin \varphi_0)^2 + (I_0 \cdot x''_d \cdot \cos \varphi_0)^2},$$

где $U_{\phi 0}$, I_0 , φ_0 – предшествующие к.з. фазные напряжения (в дальнейшем индекс «ф» опускается), ток и угол сдвига между их векторами.

Все генераторы до возникновения к.з. работают с номинальной нагрузкой, т.е. в относительных единицах $I_0 = 1$, $U_0 = 1$ и $\cos \varphi_0 = 0,8$. В приближенных расчетах, когда нет данных о сверхпереходном сопротивлении x''_d , для турбогенераторов принимается $E'' = 1,08$, для гидрогенераторов $E'' = 1,13$. Для асинхронных электродвигателей сверхпереходную э.д.с. следует определять по формуле

$$E''_{\phi} = \sqrt{(U_{\phi 0} - I_0 \cdot x'' \cdot \sin \varphi_0)^2 + (I_0 \cdot x'' \cdot \cos \varphi_0)^2}.$$

Для эквивалентного источника (системы) $E''_{\phi} = E_{\phi} = U_{\phi}$. Эквивалентные, обобщенные нагрузки вводятся в схему замещения в точках их действительного присоединения. Относительная реактивность нагрузки при их полной рабочей мощности и среднем номинальном напряжении той ступени, где они присоединены, принимается равной $x''_{нагр} = 0,35$, а сверхпереходная э.д.с. $E''_{\phi.нагр} = 0,85 U_{\phi}$.

3. *Определение параметров элементов схемы замещения, приведение их к базисным величинам.* При расчете в относительных единицах базисная мощность может быть взята произвольной (например, 100 или 1000 МВА). Если производится точный учет действительных коэффициентов трансформации, то вначале задаются базисным (средним) напряжением на ступени к.з. $U_6 = U_{ср}$, (его обычно принимают равным номинальному напряжению данной ступени, умноженному на коэффициент 1,05), а затем определяются базисные напряжения для каждой другой ступени путем пересчета через коэффициенты трансформации по формуле: $U_{6n} = U_6 (K_1 K_2 \dots K_n)$, где K_1, K_2, \dots, K_n – коэффициенты трансформации трансформаторов, связывающих данную ступень напряжения схемы со ступенью напряжения точки к.з. В России рекомендуется использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений сети: 0,4; 0,66; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515 кВ.

Базисный ток любой ступени напряжения может быть найден по выражению

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}.$$

Сопротивления элементов схемы замещения в относительных единицах, приведенные к базисным параметрам, определяют следующим образом:

– если оно задано в относительных единицах $x_{*(н)}$ при известных S_n и U_n (генераторы, трансформаторы), то

$$x_{*(б)} = x_{*(н)} \frac{S_б}{S_н} \frac{U_н^2}{U_{ср}^2} \approx x_{*(н)} \frac{S_б}{S_н};$$

– если оно задано в процентах $x_{(н)}\%$ при известных $I_н$ и $U_н$ (реакторы), то

$$x_{*(б)} = \frac{x_{*(н)}\%}{100} \frac{I_б}{I_н} \frac{U_н}{U_{ср}} = \frac{x_{*(н)}\%}{100} \frac{U_н}{I_н} \frac{S_б}{U_{ср}^2};$$

– в Омах x (воздушные и кабельные линии, реакторы) на единицу длины l :

$$x_{*(б)} = x_{уд} l \frac{S_б}{U_{ср}^2}; \quad x_{*(б)} = x_p \frac{S_б}{U_{ср}^2}.$$

В указанных формулах следует принимать $U_{ср}$ той ступени, на которой находится данный элемент.

Э.д.с. источников при принятых базисных условиях, определяются по формуле

$$E_{*(б)}'' = \frac{E_{*(н)} U_н}{U_{ср}}.$$

Определение сопротивлений элементов схемы, при приближенном приведении их к базисным величинам представлено в табл. 13

4. *Расчеты токов короткого замыкания с использованием метода индивидуального затухания.* При относительно небольшой электрической удаленности точки к.з. определение периодической слагающей тока к.з. можно производить при помощи так называемого метода индивидуального затухания, т.е. отдельно для генератора или группы генераторов, находящихся примерно в одинаковых условиях. При этом можно провести определение тока к.з. для произвольного момента времени с помощью расчетных кривых, построенных для турбогенераторов и гидрогенераторов (рис. 11 и 12) и представляющих собой зависимости периодической тока к.з. от расчетного сопротивления $x_{*расч.}$. Следует заметить, что кривыми для гидрогенераторов можно пользоваться и для определения тока к.з. от синхронных двигателей. Ток к.з. от источника неограниченной мощности определяется отдельно и прибавляется к токам от отдельных генераторов и двигателей.

Для определения тока к.з. от отдельных источников питания необходимо определить вклад каждого из них в общий ток к.з. Этот вклад оценивается так называемым расчетным сопротивлением ($x_{*расч.}$) цепи к.з. Его определение для сложных схем представляет собой довольно сложную процедуру и как правило основано на использовании коэффициентов распределения (C_i), представляющих собой токи в ветвях схемы, выраженные в относительных единицах по отношению к суммарному току в месте к.з. от рассматриваемых источников питания.

Применение метода расчетных кривых требует приведения результирующего сопротивления $x_{*рез.}$ к номинальным параметрам мощностей всех i -х источников, участвующих в питании точки к.з. с учетом участия каждого из источников по формуле

$$x_{*расч.i} = \frac{x_{*рез.}}{C_i} \frac{S_н}{S_б}.$$

При известном $x_{*расч.i}$ по соответствующим расчетным кривым находится относительный ток периодической слагаемой тока $I_п$ для тех моментов времени, для которых производятся вычисления. Искомое значение периодической слагающей сверхпереходного тока трехфазного к.з. $I_{*п}''$ от i -го источника определяется по формуле:

$$I_{*п}'' = I_п I_н,$$

где $I_н = \frac{S_н}{\sqrt{3}U_н}$ – суммарный номинальный ток i -го источника тока, отнесенный к напряжению $U_н$ той ступени, где рассматривается к.з.

Таблица 13

Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений

Элемент электроустановки	Исходный параметр	Именованные единицы (Ом)	Относительные единицы
Генераторы и синхронные электродвигатели	$x_{d^* \text{НОМ}}, S_{\text{НОМ}}$	$x = x_{d^* \text{НОМ}} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = x_{d^* \text{НОМ}} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$
	$x_d \%, S_{\text{НОМ}}$	$x = \frac{x_d \%}{100} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{x_d \%}{100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$
Энергосистема	$S_{\text{к}}$	$x = \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{к}}}$	$x_* = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{к}}}$
	$I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}$	$x = \frac{U_{\text{б}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} U_{\text{ср}}}$	$x_* = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} U_{\text{ср}}}$
Трансформатор двухобмоточный	$x_{\text{Т}} \%, S_{\text{НОМ}}$	$x = \frac{x_{\text{Т}} \%}{100} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{x_{\text{Т}} \%}{100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$
Трансформатор трехобмоточный, автотрансформатор	$x_{\text{В-Н}} \%, x_{\text{С-Н}} \%, x_{\text{В-С}} \%, S_{\text{НОМ}}$	$x_{\text{В}} = \frac{(x_{\text{В-Н}} + x_{\text{В-С}} - x_{\text{С-Н}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{\text{С}} = \frac{(x_{\text{С-Н}} + x_{\text{В-С}} - x_{\text{В-Н}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{\text{Н}} = \frac{(x_{\text{В-Н}} + x_{\text{С-Н}} - x_{\text{В-С}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_{\text{В}*} = \frac{(x_{\text{В-Н}} + x_{\text{В-С}} - x_{\text{С-Н}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{\text{С}*} = \frac{(x_{\text{В-С}} + x_{\text{С-Н}} - x_{\text{В-Н}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$ $x_{\text{Н}*} = \frac{(x_{\text{В-Н}} + x_{\text{С-Н}} - x_{\text{В-С}}) \%}{2 \cdot 100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$
Реактор	$x_{\text{р}}$	$x = x_{\text{р}} \frac{U_{\text{б}}^2}{U_{\text{ср}}^2}$	$x_* = x_{\text{р}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2}$
Линия электропередачи	$x_{\text{уд}}, l$	$x = x_{\text{уд}} l \frac{U_{\text{б}}^2}{U_{\text{ср}}^2}$	$x_* = x_{\text{уд}} l \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2}$

Расчет токов к.з. с использованием метода индивидуального затухания производится в следующей последовательности (алгоритму).

а) определяется суммарное результирующее сопротивление $x_{* \text{рез.}}$, желательно в относительных единицах;

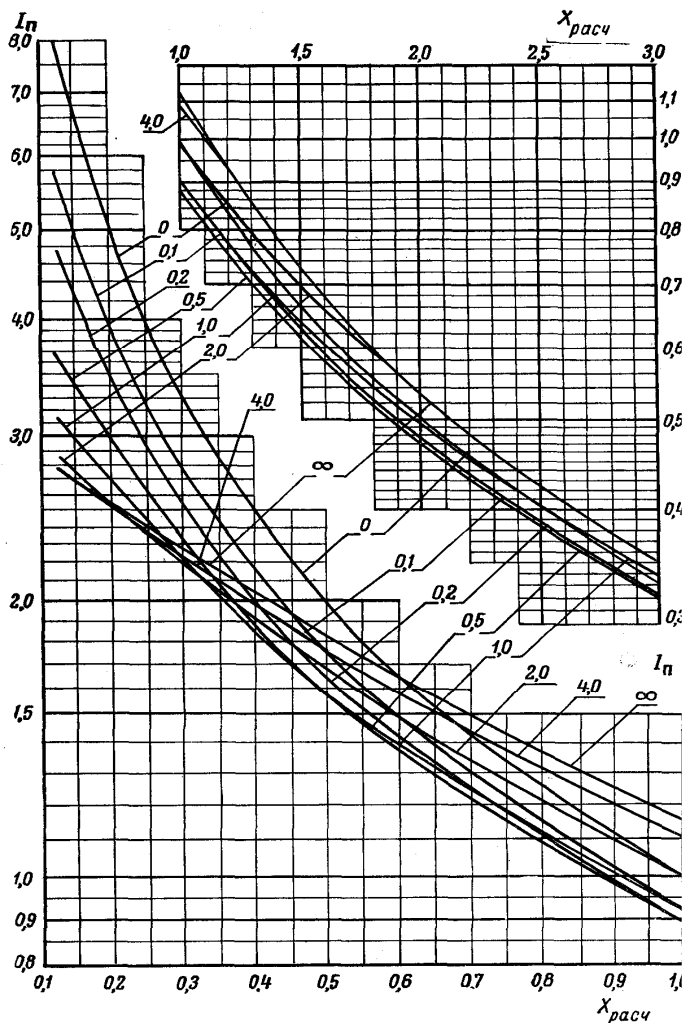


Рис. 11. Расчетные кривые изменения токов к.з. для мощных турбогенераторов с АРВ (t , с).

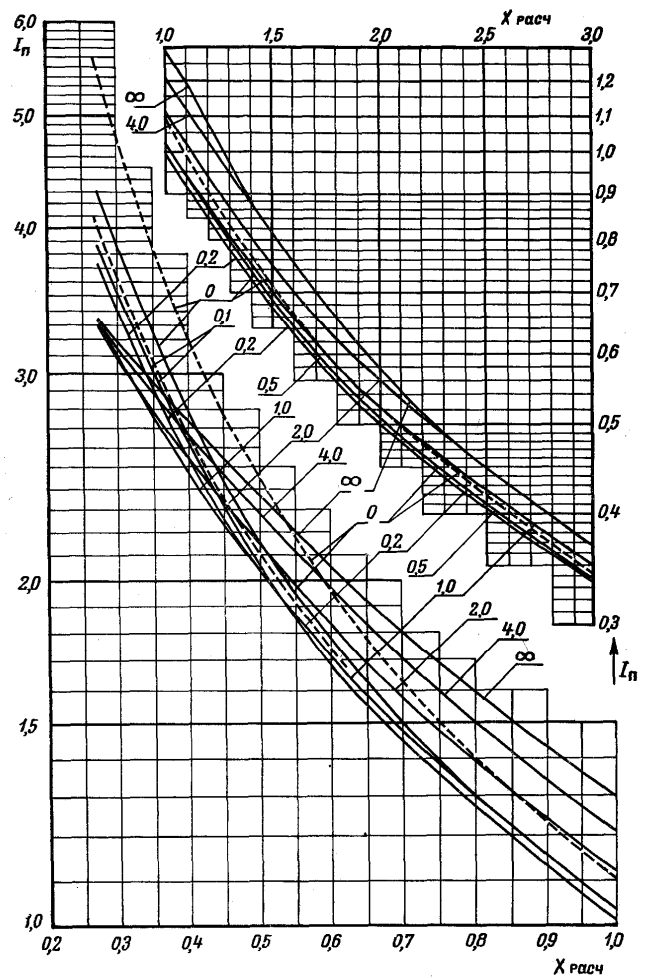


Рис. 12. Расчетные кривые изменения токов к.з. для мощных гидрогенераторов с АРВ (t , с).

б) определяется расчетные сопротивления $x_{расч,i}$ для отдельных i -х генерирующих ветвей в о.е., в том числе с использованием так называемых коэффициентов распределения C_i (см. пример, приведенный ниже);

в) по кривым затухания $I_{п} = f(x_{расч.})$ определяются относительные токи для каждой i -ой генерирующей ветви;

г) определяется периодическая слагающая тока суммарного к.з. по выражению

$$I_{п(t)}^* = I_{п(t)1} \cdot I_{н1} + I_{п(t)2} \cdot I_{н2} + \dots + I_{п(t)n} \cdot I_{нn},$$

где $I_{нi} = \frac{S_{нi}}{\sqrt{3}U_{нi}}$.

Объединение источников мощности (питания) допустимо, если выполняется условие

$$\frac{S_1}{S_2} \frac{x_1}{x_2} = 0,4 \text{ ч } 2,5,$$

где x_1, x_2 – сопротивления в о.е., приведенные к базисной мощности.

При упрощении схемы можно пренебречь источниками питания меньшей мощности, если одновременно выполняются условия:

$$\frac{x_2}{x_1} \geq 20 \text{ и } \frac{S_2}{S_1} \leq 0,05,$$

где S_2 – источник питания с меньшей мощностью.

Если в объединяемых ветвях $x_{*расч.} > 3$, то объединение возможно во всех случаях. Нельзя объединять ветвь источника питания с неизменной э.д.с. (система бесконечной мощности) и ветвь источника питания с расчетным сопротивлением $x_{*расч.} > 3$.

Для турбогенераторов следует пользоваться расчетными кривыми рис. 11, для гидрогенераторов и синхронных двигателей – расчетными кривыми, рис. 12. Для последних, расчетное сопротивление $x_{*расч}$ должно быть увеличено на 0,07. При этом для момента времени $t < 0,1$ с. следует пользоваться пунктирными кривыми, для остальных – сплошными кривыми.

Установившееся значение тока к.з. можно определить также пользуясь кривыми затухания: найти $I_{п}$ для $t = \infty$, а затем по формуле $I_{\infty} = I_{к}^{(3)} = I_{п} \cdot I_{н}$ определить искомый ток. При к.з. в точках, имеющих большую электрическую удаленность от генерирующих источников, можно считать ток к.з. незатухающим и тогда установившееся значение тока к.з. $I_{к}^{(3)} = I'' = I_{\infty}$. В этом случае ток трехфазного к.з. определяется их выражения:

$$I_{к}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{*рез.}},$$

где $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{н}}$ – базисный ток для ступени напряжения, где производится расчет тока к.з., как правило $U_{н} = U_6$.

Помимо генераторов электрических станций в качестве источника тока при к.з. в некоторых случаях могут явиться и асинхронные двигатели. Приближенно можно считать, что схема замещения асинхронного двигателя аналогична схеме синхронного генератора, работающего в режиме недовозбуждения. Для асинхронного двигателя также может быть введено понятие переходной э.д.с. и переходного сопротивления.

Поскольку асинхронный двигатель потребляет активную и реактивную мощность из сети, значение этой э.д.с. меньше номинального напряжения сети и приблизительно может быть принято в относительных единицах равным $E^* = 0,9$. При этом сопротивление двигателя можно принимать индуктивным и равным в относительных единицах $x^* = 0,2$. Если, вследствие к.з., напряжение на зажимах двигателя окажется ниже $0,9U_{н}$, то двигатель может представлять собой дополнительный источник питания точки к.з. Физически появление тока к.з. от двигателя объясняется выдачей в момент к.з. электромагнитной энергии, запасенной в двигателе при нормальной работе двигателя.

Вследствие относительно больших активных сопротивлений обмоток двигателя посылаемый им ток к.з. чрезвычайно быстро затухает. В практических расчетах промышленных и сельских электрических сетей в качестве источника питания при определении тока к.з. в начальный момент времени следует учитывать лишь наиболее мощные асинхронные двигатели.

3. Обеспечивающие средства

Персональные компьютеры лаборатории и программное обеспечение «ТКЗ». Полная справочная информация об этом программном продукте на персональных компьютерах.

4. Задание

Ознакомиться с техническим описанием программного комплекса «ТКЗ», приобрести практические навыки работы с данной программой. Подготовить схему замещения сети и рассчитать ее параметры. Ответить на контрольные вопросы.

5. Технология работы

5.1. Для заданной принципиальной схемы (рис. 13) определить параметры расчетной схемы.

5.2. Составить схему замещения для расчета начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания.

5.3. С использованием метода индивидуального затухания рассчитать параметры схемы замещения. Рассчитать коэффициенты распределения.

5.4. Рассчитать сверхпереходные токи трехфазного короткого замыкания и токи короткого замыкания для моментов времени $t = 0,2$ с и $t = \infty$ на элементах системы, указанных на рис. 13 по данным, приведенным в табл. 14 и 15.

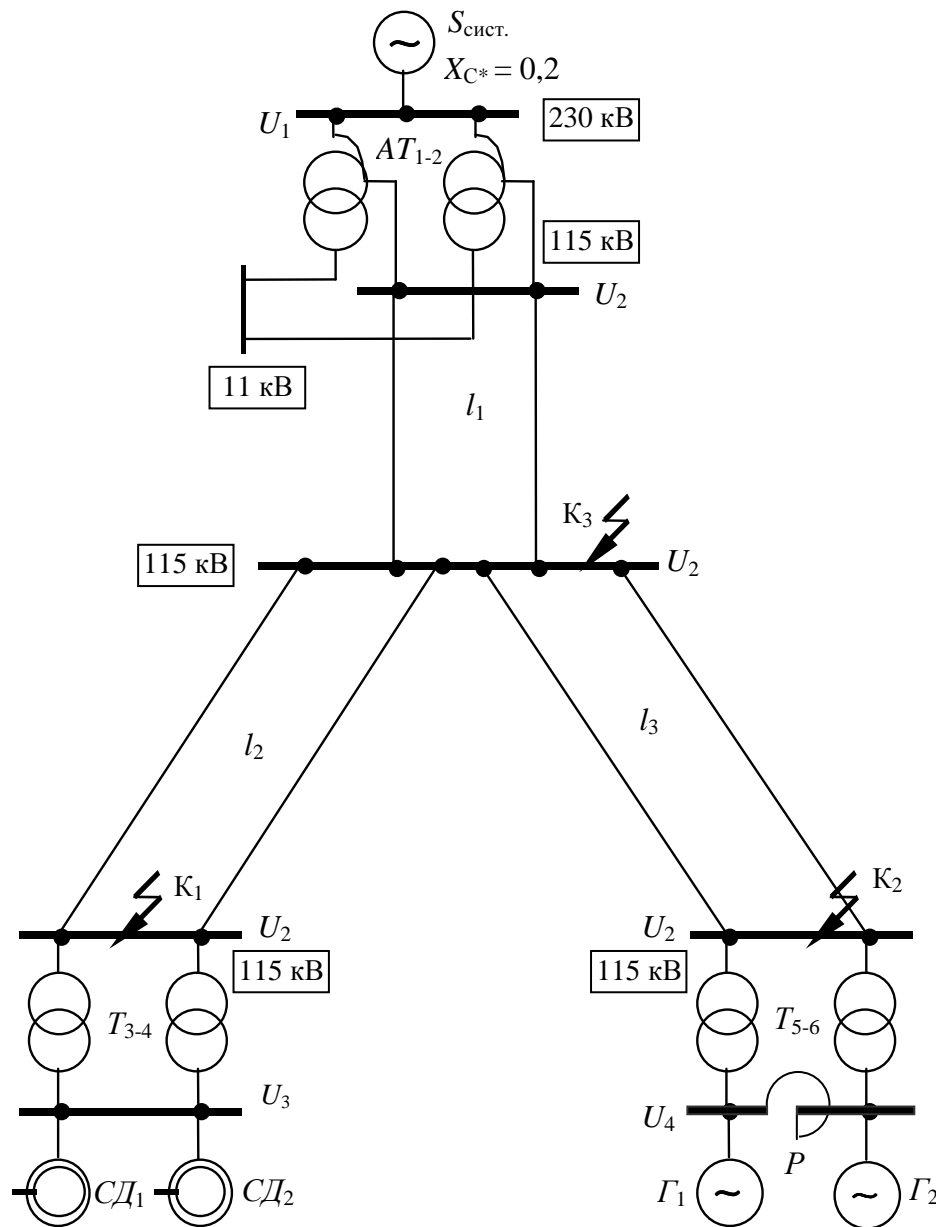


Рис. 13. Расчетная схема системы электроснабжения

5.5. Преобразовать схему замещения относительно точки КЗ и найти начальный ток в месте КЗ; определить токораспределение в схеме при КЗ в заданной точке.

5.6. Произвести расчет по программе ТКЗ, разработанной на кафедре «Электроэнергетические сети и системы» Новосибирского электротехнического университета. Необходимо пронумеровать ветви и узлы схемы замещения, ввести, согласно инструкции, исходные данные о схеме замещения и выполнить расчеты трехфазного КЗ в заданных точках; определить токи и напряжения в схеме в именованных единицах, приведенные к собственной ступени напряжения.

Таблица 14

Варианты исходных данных

Но- мер вари- анта	Сис- тема, $S_{\text{сист}},$ МВА	Автотрансформаторы AT_{1-2}				Трансформаторы, T_{3-4}		U_3	Двигатели, синхрон- ные $СД_1$ и $СД_2$		
		Тип	$u_{\text{кв-с}},$ %	$u_{\text{кв-с}},$ %	$u_{\text{кв-с}},$ %	Тип	$u_{\text{к}},$ %		Мош- ность, кВт	x''_d	$\cos\varphi$
1	400	АТДТН-32000	11	34	21	ТМН-4000	10,5	10,5	2000	0,21	0,8
2	550	АТДТН-32000	11	34	21	ТМН-2500	10,5	10,5	1200	0,24	0,9
3	650	АТДТН-32000	11	34	21	ТМН-6300	10,5	10,5	4000	0,21	0,8
4	800	АТДТН-63000	11	35	22	ТРДН-25000	10,5	6,3	16000	0,21	0,85
5	900	АТДТН-63000	11	35	22	ТРДН-25000	10,5	10,5	11700	0,21	0,80
6	1000	АТДТН-63000	11	35	22	ТРДН-6300	10,5	10,5	3200	0,21	0,85
7	1200	АТДТН-125000	11	31	19	ТРДН-25000	10,5	6,3	16000	0,21	0,80
8	1300	АТДТН-63000	11	35	22	ТМН-4000	10,5	10,5	2000	0,21	0,85
9	1400	АТДТН-63000	11	35	22	ТМН-2500	10,5	10,5	1200	0,21	0,85
0	1500	АТДТН-63000	11	35	22	ТМН-25000	10,5	6,3	15000	0,21	0,85

Таблица 15

Варианты исходных данных

Но- мер вари- анта	Трансформаторы, T_{5-6}		$U_4,$ кВ	Генераторы G_1-G_2			Длины ли- ний, км			Реактор P		Место к.з.
	Тип	$u_{\text{к}},$ %		Мош- ность, МВт	x''_d	$\cos\varphi$	l_1	l_2	l_3	Ток, $I_{\text{н}},$ кА	$U_{\text{н}},$ кВ	
А, Д	ТД-80000	10,5	6,3	60	0,12	0,8	50	30	40	1,2	6,0	K_1, K_3
Б, Е	ТДЦ-200000	10,5	15,8	135	0,16	0,85	40	20	60	0,6	13,0	K_2, K_3
В, Г, Я	ТРДЦН-80000	10,5	10,5	60	0,12	0,75	60	45	20	0,8	10	K_1, K_3
Ж, З, И, Л	ТРДЦН-80000	10,5	6,3	60	0,14	0,85	55	35	45	0,8	10	K_2, K_3
К	ТДЦ-250000	10,5	15,8	135	0,16	0,80	45	25	60	0,6	10,0	K_2, K_3
М, О	ТДЦ-250000	10,5	15,8	135	0,16	0,75	50	20	35	0,8	10,0	K_1, K_3
Н, П	ТРДЦН-63000	10,5	6,3	35	0,11	0,80	70	30	40	0,8	10,0	K_1, K_3
Р, Т, У, Ф	ТРДЦН-80000	10,5	10,5	35	0,10	0,85	80	70	50	0,8	10	K_2, K_3
С, Ч	ТРДЦН-63000	10,5	6,3	35	0,10	0,80	85	70	80	0,8	10	K_1, K_3
Х, Ц, Ш, Щ, Э, Ю	ТРДЦН-80000	10,5	6,3	35	0,11	0,85	90	75	60	0,8	10,0	K_2, K_3

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать следующее:

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Расчетную схему электрической сети и схему ее замещения с нанесенными расчетными параметрами.
- 6.3. Таблицы основных параметров схемы замещения для узлов и ветвей заданной схемы, аналогичные задаваемым в программе «ТКЗ».
- 6.4. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Каковы цели расчета КЗ?
2. Какие условия и основные допущения принимают при расчетах КЗ?
3. Что понимается под термином «относительные единицы»?
4. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения электроэнергетической системы?
5. Зависит ли результат расчета тока КЗ от выбора базисных условий?
6. Назовите отличия принципиальной схемы, расчетной схемы и схемы замещения.
7. На чем основаны точное и приближенное приведения параметров элементов короткозамкнутой цепи в схемах замещения?
8. Поясните основные принципы метода индивидуального затухания?
9. Объясните сущность расчетных кривых, от каких параметров они зависят?
10. Что такое коэффициенты распределения? Объясните их физическую сущность?

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

Согласно учебному плану курса электроснабжения студенты очного и заочного обучения выполняют курсовой проект. Задания на проект и методические рекомендации по его выполнению приведены в приложении. Студенты очного обучения выполняют две расчетно-графические работы (РГР), заочного – две контрольные работы. Своевременное их выполнение способствует лучшему изучению и усвоению предполагаемого курса. К сдаче экзамена допускаются студенты после полного прослушивания лекционного курса, успешного выполнения и защиты курсовой и контрольных работ.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕКУЩЕМУ КОНТРОЛЮ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

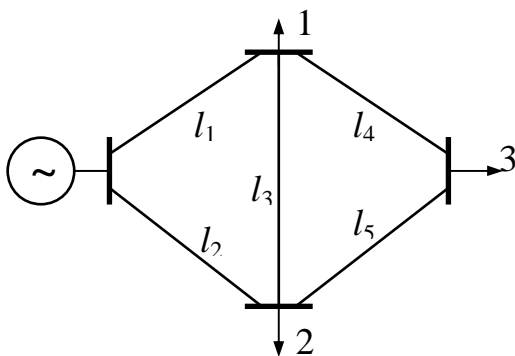
5.1. Рубежный контроль

Текущая успеваемость контролируется проведением контрольной работы в середине семестра и зачетом. Контрольная работа включает материал, пройденный на лекциях, в соответствии с разделами изучаемой дисциплины. Контрольная работа включает в себя четыре варианта.

Контрольная работа № 1

Вариант 1

1. Понятие средней нагрузки. Ее определение по графику нагрузки. Каким образом ее можно использовать при проверке правильности определения расчетной нагрузки?
2. Коэффициент формы и коэффициент спроса. Применение последнего для определения расчетных нагрузок.
3. Коэффициент одновременности и его использование для определения расчетной нагрузки в сельских сетях. Привести пример.
4. Привести векторную диаграмму для участка линии электропередачи и показать на ней вектор падения напряжения в линии. Привести формулу определения потери напряжения через ток в линии, коэффициент мощности и параметры схемы замещения линии.
5. Сформулируйте правило моментов для кольцевой сети. Каковы особенности правила моментов для однородной сети?
6. Задача. Электроснабжение узлов нагрузки 1, 2 и 3 осуществляется по однородным линиям электропередачи переменного напряжения от источника питания «А». Заданы длины линий $l_1 = 2$ км; $l_2 = 3$ км; $l_3 = 4$ км; $l_4 = 1$ км; $l_5 = 4$ км и нагрузки в узлах:



Заданы длины линий $l_1 = 2$ км; $l_2 = 3$ км; $l_3 = 4$ км; $l_4 = 1$ км; $l_5 = 4$ км и нагрузки в узлах:

$$\dot{S}_1 = 2 + j0,4 \text{ кВА}; \quad \dot{S}_2 = 2,5 + j0,8 \text{ кВА}; \quad \dot{S}_3 = 4 + j1,0 \text{ кВА}.$$

Определить потоки мощности по линиям, используя метод расщепления контуров замкнутой схемы. Для упрощения расчетов выполнить перенос нагрузки из узла 3 в узлы 1 и 2. Потерями мощности в линиях электропередачи пренебречь.

Вариант 2

1. Понятие максимальных нагрузок. Два вида максимальных нагрузок по продолжительности, области их применения. Что понимают под расчетной нагрузкой?

2. Коэффициент использования и коэффициент максимума. Их использование для определения расчетной нагрузки.

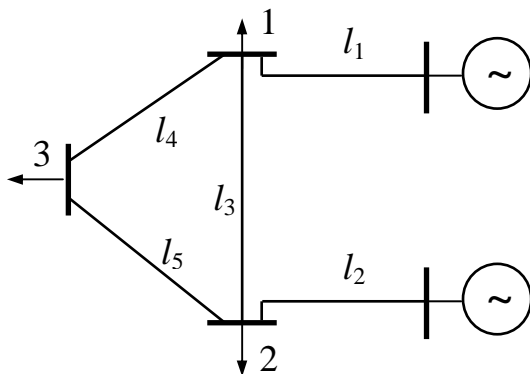
3. Коэффициент одновременности и его использование для определения расчетной нагрузки в сельских сетях. Привести пример.

4. Привести векторную диаграмму для участка линии электропередачи и показать на ней величину потери напряжения в линии. Привести формулу определения потери напряжения через активную и реактивную мощность в линии и параметры схемы замещения линии.

5. Укажите способ проверки правильности расчетов токов в сети с двухсторонним питанием по правилу моментов. Что такое точка потокораздела и как она определяется?

6. Задача. Электроснабжение узлов нагрузки 1, 2 и 3 осуществляется по однородным линиям электропередачи переменного напряжения от источников питания «А» и «В». Заданы длины линий $l_1 = 4$ км; $l_2 = 6$ км; $l_3 = 8$ км; $l_4 = 2$ км; $l_5 = 8$ км и нагрузки в узлах:

$$\dot{S}_1 = 2 + j0,4 \text{ кВА}; \dot{S}_2 = 2,5 + j0,8 \text{ кВА}; \dot{S}_3 = 4 + j1,0 \text{ кВА}$$



Определить потоки мощности по линиям, используя методику расчета линии с двухсторонним питанием. Для упрощения расчетов выполнить перенос нагрузки из узла 3 в узлы 1 и 2. Потерями мощности в линиях электропередачи пренебречь.

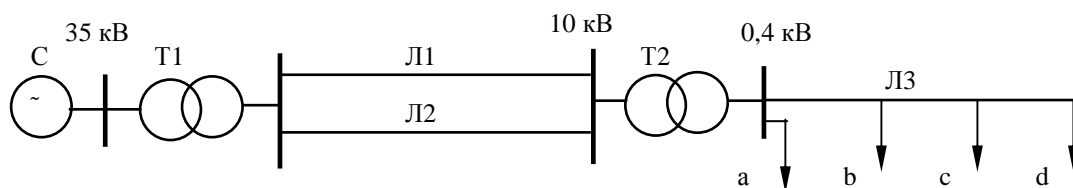
Контрольная работа № 2

Вариант 1

1. Приведите векторную диаграмму для одной фазы участка линии электропередачи и покажите на ней падение напряжения и потерю напряжения на линии. Приведите формулу определения потери напряжения.

2. Составьте табл. отклонений напряжения для наиболее удаленного и приближенного потребителя при нагрузке 100% и 25% для схемы рис. Напряжение на шинах 10 кВ трансформатора Т1 принять равным в режиме 100% - $1,05U_{ном}$, в режиме 25% - $1,0U_{ном}$. Написать основную цель составления данной таблицы и показать, каким образом определяется сечение F проводов линий 10 и 0,4 кВ.

3. Способы регулирования напряжения в электрических сетях. Сетевые регуляторы напряжения, принцип их работы.



Вариант 2

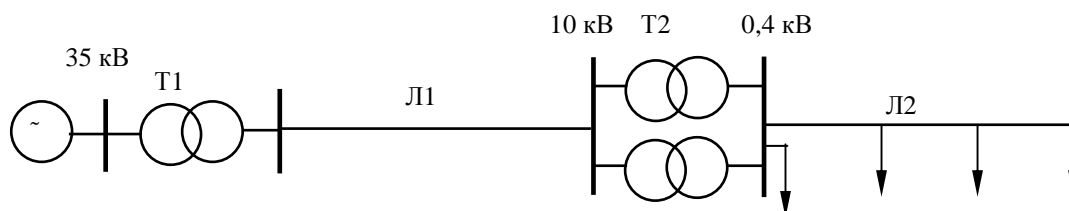
1. Приведите векторную диаграмму для одной фазы участка линии электропередачи и покажите на ней падение напряжения и потерю напряжения на линии. Приведите формулы оп-

ределения продольной и поперечной составляющих падения напряжения в линии и покажите их на векторной диаграмме.

2. Составьте табл. отклонений напряжения для наиболее удаленного и приближенного потребителя при нагрузке 100% и 25% для схемы рис. Напряжение на шинах 10 кВ трансформатора Т1 принять равным в режиме 100% - $1,0U_{ном}$, в режиме 25% - $1,0U_{ном}$. Написать основную цель составления данной таблицы и показать, каким образом определяется сечение F проводов линий 10 и 0,4 кВ.

3. Способы регулирования напряжения в электрических сетях. Продольное и поперечное включение конденсаторов.

5.2. Тестовые задания



Тесты составлены в соответствии с ГОС и предназначены для студентов как очной, так и заочной формы обучения. Могут использоваться для самостоятельной подготовки студентов других электроэнергетических специальностей, при изучении соответствующих разделов дисциплины «Электроснабжение».

Электрические нагрузки промышленных и сельскохозяйственных предприятий

1. Что принимается за расчетную нагрузку в сельских и промышленных сетях?

- 1) средняя нагрузка на вводе потребителя в течение суток (рабочей смены для промышленного предприятия);
- 2) наибольшее значение полной мощности на вводе к потребителю или в электрической сети усредненное на 30-ти минутном интервале времени в течение всего расчетного периода (рабочей смены для промышленного предприятия);
- 3) среднее значение полной мощности на вводе к потребителю или в электрической сети усредненное на всех 30-ти минутных интервалах времени в течение всего расчетного периода (рабочей смены для промышленного предприятия);
- 4) наименьшее значение полной мощности на вводе к потребителю или в электрической сети усредненное на 30-ти минутном интервале времени в течение всего расчетного периода (рабочей смены для промышленного предприятия);
- 5) наибольшее значение полной мощности на вводе к потребителю или в электрической сети усредненное на 10-ти минутном интервале времени в течение всего расчетного периода (рабочей смены для промышленного предприятия).

2. Годовой график по продолжительности составляется на основе...

- 1) годового изменения нагрузки потребителей в часы максимумов;
- 2) годового изменения нагрузки потребителя в часы максимумов, включая нагрузку сезонных потребителей;
- 3) среднемесячного изменения нагрузки потребителей в часы максимумов;
- 4) суточных графиков нагрузки потребителей 1-й и 2-й категории в течение всего года;
- 5) суточных графиков нагрузки для характерных зимних и летних суток.

3. Что можно определить из годового графика нагрузки энергообъекта?

- 1) среднее время действия нагрузки потребителя;
- 2) максимальное время действия нагрузки;

- 3) время использования максимальной нагрузки;
- 4) длительность использования электрооборудования;
- 5) время потерь мощности.

4. Расчетную нагрузку вероятностно-статистическим методом определяют по

- 1) дисперсии и числу присоединенных электроприемников;
- 2) математическому ожиданию и вероятности включения n -го количества электроприемников;
- 3) математическому ожиданию и среднему квадратическому отклонению нагрузки;
- 4) среднему квадратическому отклонению и единичной мощности электроприемника;
- 5) вероятности включения потребителей и среднему квадратическому отклонению.

5. По коэффициенту одновременности осуществляется суммирование нагрузок потребителей, если они...

- 1) являются однородными и отличаются по мощности не более чем в 4 раза;
- 2) отличаются по мощности более чем на 5 кВА;
- 3) отличаются по мощности не менее чем на 25%;
- 4) не зависят от характера изменения сетевого напряжения;
- 5) являются однородными и отличаются по мощности более чем в 4 раза.

6. При суммировании нагрузок потребителем по добавкам мощностей.. ΔS .

- 1) к минимальной мощности нагрузки прибавляют добавку от максимальной;
- 2) из максимальной мощности нагрузки вычитают добавку от минимальной;
- 3) умножают мощность максимальной нагрузки на добавку от минимальной;
- 4) к максимальной мощности нагрузки прибавляют добавку от минимальной;
- 5) добавку мощности от максимальной нагрузки умножают на минимальную мощность потребителей, присоединенных к данной отходящей линии.

7. Коэффициентом одновременности называется...

- 1) отношение максимальной мощности нагрузки к ее расчетной мощности;
- 2) отношение расчетной нагрузки группы электроприемников узла к сумме их максимальных нагрузок;
- 3) отношение среднего значения мощности нагрузки группы электроприемников за расчетный период к сумме действующих значений их максимальных мощностей;
- 4) отношение расчетного значения мощности нагрузки к среднему значению мощности группы электроприемников;
- 5) отношение суммарной номинальной мощности нагрузки группы электроприемников к значению их расчетной нагрузки.

8. Что такое коэффициент спроса?

- 1) отклонение получасового максимума нагрузки от ее среднего значения;
- 2) отношение номинальной мощности группы электроприемников к максимальной мощности узла;
- 3) отношение расчетной мощности нагрузки к номинальной мощности группы приемников;
- 4) отношение среднего значения мощности нагрузки электроприемников к максимальной мощности;
- 5) среднее значение нагрузки, за интервал заданной длительности.

9. Пиковая нагрузка – это...

- 1) кратковременная нагрузка длительностью от 1-2 до 10-20 с, обусловленная пуском электродвигателей, эксплуатационными короткими замыканиями дуговых электропечей, электросваркой;

- 2) нагрузка электроприемников в часы работы мощных электроприводов;
- 3) максимальное изменение расчетной нагрузки при полной загрузке трансформатора;
- 4) кратковременная нагрузка электроприемника, принимаемая за основу в расчетах колебания напряжений при выборе устройств и уставок аппаратов защиты и при проверке сетей по условиям самозапуска электродвигателей;
- 5) ответы 1) и 4).

10. Какой из перечисленных методов определения электрических нагрузок не применяется в проектной практике

- 1) по установленной мощности и коэффициенту спроса;
- 2) по средней нагрузке и коэффициенту формы графика нагрузки;
- 3) по средней нагрузке и коэффициенту максимума;
- 4) по установленной мощности и коэффициенту максимума нагрузки;
- 5) по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.

11. Коэффициент использования активной мощности это отношение ...

- 1) расчетной активной нагрузки к средней нагрузке за исследуемый период времени;
- 2) средней активной мощности группы электроприемников к их номинальной мощности;
- 3) номинальной мощности группы электроприемников к величине их среднеквадратической мощности;
- 4) расчетной активной мощности к номинальной мощности электроприемников;
- 5) средней активной мощности к расчетной за исследуемый промежуток времени.

12. Коэффициент максимума активной мощности это отношение ...

- 1) средней активной мощности группы электроприемников к их номинальной мощности;
- 2) номинальной мощности группы электроприемников к величине их среднеквадратической мощности;
- 3) расчетной активной мощности к средней мощности за исследуемый период времени;
- 4) расчетной активной мощности к номинальной мощности электроприемников;
- 5) средней активной мощности к расчетной за исследуемый промежуток времени.

13. В зависимости от режима работы нейтрали электрические сети делятся на 4 группы. Какая из перечисленных ниже групп имеет не верное название.

- 1) сети с незаземленными (изолированными) нейтралью;
- 2) сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралью;
- 3) сети с эффективно-заземленными нейтралью;
- 4) сети с продольно-емкостным заземлением нейтралью;
- 5) сети с глухозаземленными нейтралью.

Устройство наружных и внутренних электрических сетей, их расчет

1. Какой материал допускается применять для однопроволочных неизолированных проводов воздушных линий электропередачи?

- 1) Медь. 2) Алюминий. 3) Сталь. 4) Медь и сталь. 5) Медь и алюминий.

2. Значение активного сопротивления для стальных проводов.

- 1) не зависит от проходящего по ним тока;
- 2) зависит от проходящего тока;
- 3) ограниченно зависит от тока;
- 4) зависит от напряжения сети;
- 5) не зависит от напряжения сети.

3. Индуктивное сопротивление проводов обусловлено...

- 1) переменным магнитным полем вне проводов ВЛ;
- 2) переменным магнитным полем внутри проводов;
- 3) постоянным магнитным полем вне проводов ВЛ;
- 4) постоянным магнитным полем внутри проводов ВЛ;
- 5) ответы 1) и 2).

4. Удельное индуктивное сопротивление проводов ВЛ определяется, по выражению

$$x_0 = 0,145lg \frac{2D_{cp}}{d} + 0,0157\mu, \text{ где } d - \text{ диаметр провода; } \mu - \text{ относительная магнитная проницае-}$$

мость материала провода; D_{cp} -...

- 1) среднестатистическое значение диаметра провода;
- 2) среднее геометрическое расстояние между проводами;
- 3) диаметр провода ВЛ при среднегодовой температуре;
- 4) среднее расстояние между опорами ВЛ;
- 5) среднестатистическая стрела провеса провода ВЛ.

5. Внешнее индуктивное сопротивление провода ВЛ зависит от

- 1) материала провода;
- 2) диаметра провода;
- 3) расстояния между проводами;
- 4) ответы 2) и 3);
- 5) ответы 1) и 2);

Регулирование напряжения в электрических сетях

1. Плавное регулирование напряжения в сетях под нагрузкой осуществляется с помощью...

- 1) индукционного регулятора – синхронного компенсатора;
- 2) автотрансформатора;
- 3) продольной емкостной компенсации;
- 4) ответы 2) и 3);
- 5) ответы 1) и 3).

2. Ступенчатое регулирование напряжения может осуществляться...

- 1) изменением коэффициента трансформации;
- 2) последовательного включения к основному трансформатору регулировочных автотрансформаторов;
- 3) последовательного включения к основному трансформатору регулировочных трансформаторов со ступенчатым изменением добавляемого напряжения, например ВДТ.
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 1), 2) и 3).

3. Где располагается переключющее устройство для изменения коэффициента трансформации понижающего трансформатора?

- 1) в первичной обмотке трансформатора;
- 2) во вторичной обмотке трансформатора;
- 3) ответы 1) и 2);
- 4) в распределительном устройстве;
- 5) ответы 2 и 4.

4. Что может быть использовано для регулирования напряжения в центре питания на шинах 6-10 кВ?

- 1) трансформатор с РПН;

- 2) трансформатор без РПН в блоке с линейным регулятором напряжения (ЛРН);
- 3) сочетание трансформатора без РПН с отключаемой конденсаторной батареей на шинах 6-10 кВ;
- 4) ответы 2) и 3);
- 5) Ответы 1), 2) и 3).

Токи короткого замыкания и замыкания на землю

1. Если в параллельных ветвях имеются э.д.с., то эквивалентная э.д.с., приложенная за общим сопротивлением Z_{Σ} , равна

$$\begin{aligned}
 1) \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_1}{z_1} + \frac{\dot{E}_2}{z_2} + \frac{\dot{E}_n}{z_n} z_Y; & 2) \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_1/z_1 + \dot{E}_2/z_2 + \dot{E}_n/z_n}{1/z_1 + 1/z_2 + 1/z_n} Y_{\Sigma}; \\
 3) \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_1}{z_1} + \frac{\dot{E}_2}{z_2} + \frac{\dot{E}_n}{z_n} Y_Y; & 4) \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_1 z_1 + \dot{E}_2 z_2 + \dot{E}_n z_n}{z_1 + z_2 + z_n}; \\
 5) \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_1/z_1 + \dot{E}_2/z_2 + \dot{E}_n/z_n}{z_1 + z_2 + z_n}.
 \end{aligned}$$

2. Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений генератора, соответственно в именованных и относительных единицах ($U_H, S_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение и мощность генератора, U_6 - напряжение приведения).

$$\begin{aligned}
 1) x &= x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{U_H^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}; & 2) x &= x_{\text{НОМ}} \frac{U_H^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{S_{\text{НОМ}}}{U_H}; \\
 3) x &= x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{U_H^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{S_{\text{НОМ}}}{S_6}; & 4) x &= x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{U_H^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = x_d \frac{U_H^2}{S_{\text{НОМ}}}; \\
 5) x &= x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = x_{d^* \text{НОМ}}'' \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}.
 \end{aligned}$$

3. Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений двухобмоточного трансформатора, соответственно в именованных и относительных единицах ($S_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность генератора, U_6 - напряжение приведения).

$$\begin{aligned}
 1) x &= \frac{x_T}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = \frac{x_T}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}; & 2) x &= \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6^2}{S_6} \text{ и } x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{S_{\text{НОМ}}}{S_6}; \\
 3) x &= \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}; & 4) x &= \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}; \\
 5) x &= \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}} \text{ и } x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{U_6}{S_{\text{НОМ}}}.
 \end{aligned}$$

4. Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений линии электропередачи, соответственно в именованных и относительных единицах (U_{cp} - напряжение ЛЭП, U_6 - напряжение приведения).

$$1) x = x_{\text{уд}} l \frac{U_6}{U_{\text{cp}}} \text{ и } x_* = x_{\text{уд}} l \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2}; \quad 2) x = x_{\text{уд}} l \frac{U_6^2}{U_{\text{cp}}^2} \text{ и } x_* = x_{\text{уд}} l \frac{S_6}{U_{\text{cp}}};$$

$$3) \quad x = x_{уд} l \frac{U_{сп}^2}{U_6^2} \quad \text{и} \quad x_* = x_{уд} l \frac{S_6}{U_{сп}^2}; \quad 4) \quad x = x_{уд} l \frac{U_6^2}{U_{сп}^2} \quad \text{и} \quad x_* = x_{уд} l \frac{S_6}{U_{сп}^2};$$

$$5) \quad x = x_{уд} l \frac{U_6^2}{U_{сп}^2} \quad \text{и} \quad x_* = x_{уд} l \frac{S_6}{U_{сп}^2}.$$

5. Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений энерго-системы, соответственно в именованных и относительных единицах (S_K - мощность системы, U_6 - напряжение приведения)

$$1) \quad x = \frac{U_6}{S_K} \quad \text{и} \quad x_* = \frac{S_6}{S_K}; \quad 2) \quad x = \frac{U_6^2}{S_K} \quad \text{и} \quad x_* = \frac{S_6}{S_K};$$

$$3) \quad x = \frac{U_6^2}{S_K} \quad \text{и} \quad x_* = \frac{S_6^2}{S_K}; \quad 4) \quad x = \frac{U_{НОМ}^2}{S_K} \quad \text{и} \quad x_* = \frac{S_6}{S_K};$$

$$5) \quad x = \frac{U_{НОМ}}{S_K} \quad \text{и} \quad x_* = \frac{S_6}{S_K}.$$

6. Что называют ударным током короткого замыкания?

- 1) мгновенное значение периодического тока;
- 2) максимальное мгновенное значение полного тока;
- 3) затухающий периодический ток;
- 4) апериодическая слагающая тока короткого замыкания;
- 5) действующее значение периодической слагающей тока короткого замыкания.

7. В чисто индуктивной цепи ударный ток наступает через

- 1) 0,1 с; 2) 1 с; 3) 0,01 с; 4) 0,2 с; 5) 0,02 с.

8. В формуле $I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_{II}}$, предназначенной для определения однофазного тока ко-

роткого замыкания в системах электроснабжения до 1000 В, Z_{II} означает

- 1) полное сопротивление цепи до точки короткого замыкания;
- 2) приведенное сопротивление сети к базисному напряжению;
- 3) сопротивление петли: фаза-ноль;
- 4) погонное сопротивление проводов линий электропередачи;
- 5) постоянная составляющая сопротивления цепи от шин ТП до точки к.з.

9. При замыкании какой-либо из фаз трехфазной системы на землю напряжения двух неповрежденных фаз.....

- 1) уменьшается в $\sqrt{3}$ раз; 2) увеличивается в $\sqrt{3}$ раз;
- 3) уменьшается в $\sqrt{2}$ раз; 4) увеличивается в $\sqrt{2}$ раз;
- 5) остаются без изменения.

10. Периодическую составляющую тока к.з. генерирующей ветви определяют аналитическим путем по формуле $I_{II}'' = E_Y^* / (\sqrt{3}Z_Y)$, в которой E_Y^* и Z_Y означают

- 1) результирующую сверхпереходную э.д.с. и сопротивление для схемы обратной последовательности;
- 2) результирующую сверхпереходную э.д.с. и сопротивление для схемы прямой последовательности;
- 3) результирующую э.д.с. и сопротивление для схемы нулевой последовательности;

- 4) результирующую э.д.с. и сопротивление трансформаторной подстанции;
 5) результирующую сверхпереходную э.д.с. генерирующей ветви и сопротивление от шин до точки короткого замыкания.

11. Ударный коэффициент K_y зависит от постоянной времени T_a короткозамкнутой цепи следующим образом

$$\begin{aligned}
 &1) K_y = 1 + e^{-0,02/T_a}; & 2) K_y = 1 + e^{-0,01/T_a}; & 3) K_y = 1 + e^{-1/T_a}; \\
 &4) K_y = 1 + e^{-0,005/T_a}; & 5) K_y = 1 + e^{-0,01/T_a}.
 \end{aligned}$$

12. Какое из перечисленных ниже дополнительных сопротивлений $x_{\Delta}^{(1)}$ и коэффициентов $m^{(1)}$ соответствуют однофазному к.з.

$$\begin{aligned}
 &1) x_{\Delta}^{(1)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(1)} = 3; & 2) x_{\Delta}^{(1)} = x_{2Y} + x_{0Y} \text{ и } m^{(1)} = 3; \\
 &3) x_{\Delta}^{(1)} = \frac{x_{2Y}x_{0Y}}{x_{2Y} + x_{0Y}} \text{ и } m^{(1)} = \sqrt{3}; & 4) x_{\Delta}^{(1)} = 0 \text{ и } m^{(1)} = 1; \\
 &5) x_{\Delta}^{(1)} = \frac{x_{2Y}x_{0Y}}{x_{2Y} + x_{0Y}} \text{ и } m^{(1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 + \frac{x_{2Y}x_{0Y}}{(x_{2Y} + x_{0Y})^2}}.
 \end{aligned}$$

13. Какое из перечисленных ниже дополнительных сопротивлений $x_{\Delta}^{(2)}$ и коэффициентов $m^{(2)}$ соответствуют двухфазному к.з.

$$\begin{aligned}
 &1) x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(2)} = 3; & 2) x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} \text{ и } m^{(2)} = 3; \\
 &3) x_{\Delta}^{(2)} = \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \text{ и } m^{(2)} = \sqrt{3}; & 4) x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(2)} = \sqrt{3}; \\
 &5) x_{\Delta}^{(2)} = \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \text{ и } m^{(2)} = \sqrt{3} \sqrt{1 + \frac{x_{2Y}x_{0Y}}{(x_{2Y} + x_{0Y})^2}}.
 \end{aligned}$$

14. Какое из перечисленных ниже дополнительных сопротивлений $x_{\Delta}^{(1,1)}$ и коэффициентов $m^{(1,1)}$ соответствуют двухфазному к.з. на землю

$$\begin{aligned}
 &1) x_{\Delta}^{(1,1)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(1,1)} = 3; & 2) x_{\Delta}^{(1,1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} \text{ и } m^{(1,1)} = 3; \\
 &3) x_{\Delta}^{(1,1)} = \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \text{ и } m^{(1,1)} = \sqrt{3}; & 4) x_{\Delta}^{(1,1)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(1,1)} = \sqrt{3}; \\
 &5) x_{\Delta}^{(1,1)} = \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \text{ и } m^{(1,1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 + \frac{x_{2Y}x_{0Y}}{(x_{2Y} + x_{0Y})^2}}.
 \end{aligned}$$

15. Какое из перечисленных ниже дополнительных сопротивлений $x_{\Delta}^{(3)}$ и коэффициентов $m^{(3)}$ соответствуют трехфазному к.з.

$$\begin{aligned}
 &1) x_{\Delta}^{(3)} = x_{2\Sigma} \text{ и } m^{(3)} = 3; & 2) x_{\Delta}^{(3)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} \text{ и } m^{(3)} = 3;
 \end{aligned}$$

$$3) x_{\Delta}^{(1)} = \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \quad \text{и} \quad m^{(1)} = \sqrt{3}; \quad 4) x_{\Delta}^{(1)} = 0 \quad \text{и} \quad m^{(1)} = 1;$$

$$5) x_{\Delta}^{(1)} = \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \quad \text{и} \quad m^{(1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 + \frac{x_{2Y} x_{0Y}}{(x_{2Y} + x_{0Y})^2}}.$$

11. Для проверки высоковольтных аппаратов подстанций на термическую и динамическую устойчивость необходимо знать...

- 1) наименьшее возможное значение тока к.з.
- 2) наибольшее возможное значение тока к.з.
- 3) усредненное значение тока трехфазного к.з.
- 4) усредненное значение тока двухфазного к.з.
- б) усредненное значение тока однофазного к.з.

Перенапряжения и защита от них

1. Какие параметры влияют на разрядные напряжения воздушных промежутков?

- 1) напряженность электрического поля;
- 2) давление и температура;
- 3) температура и абсолютная влажность;
- 4) давление, температура и абсолютная влажность;
- 5) напряженность электрического поля и давление.

2. Чем осуществляется защита от прямых ударов молнии?

- 1) антенной;
- 2) трубчатым разрядником;
- 3) молниеотводом;
- 4) громоотводом;
- 5) вентильным разрядником.

3. Какую функцию выполняют разрядники?

- 1) защитную;
- 2) коммутационную;
- 3) сигнальную;
- 4) связи;
- 5) информационную.

4. За счет чего происходит гашение дуги в трубчатом разряднике?

- 1) фильтрации напряжения;
- 2) минимального сопротивления заземляющего устройства;
- 3) газогенерирования;
- 4) магнитного поля;
- 5) резонанса напряжений.

5. Расшифровать аббревиатуру: РТВ-35-2/ЮУ1.

- 1) разрядник трубчатый, винипластовый на 35 кВ, нижний предел тока отключения – 2 кА, верхний предел тока отключения – 10 кА, для работы в умеренном климате, на открытом воздухе;

- 2) разрядник вентильный, на 35 кВ, номинальный ток – до 200 А, ток отключения – 10 кА, тропического исполнения, унифицированный, для закрытых помещений;
- 3) разрядник трубчатый, внутренней установки, рабочее напряжение 35 кВ, ток отключения от 2 до 10 кА, унифицированный, 1-й категории;
- 4) разъединитель, тропического исполнения для напряжения 35 кВ, до 200 А, низшая граница напряжения 10 кВ, унифицированный;
- 5) разрядник вентильный с тепловым гашением дуги, напряжение 35 кВ, токи 2 кА и 10 кА, для умеренного климата.

6. Что является основным элементом вентильного разрядника?

- 1) многократный искровой промежуток и соединенный с ним последовательно резистор с нелинейной вольт-амперной характеристикой;
- 2) многократный искровой промежуток и соединенный с ним параллельно резистор с нелинейной вольт-амперной характеристикой;
- 3) дугогасительная камера;
- 4) вилитовые диски;
- 5) магнитная ловушка.

7. Для чего предназначен вентильный разрядник?

- 1) защиты линий электропередачи от токов короткого замыкания;
- 2) защиты изоляции электрооборудования станций и подстанций от перегрузок;
- 3) защиты изоляции электрооборудования станций и подстанций от перенапряжений;
- 4) защиты трансформатора от коротких замыканий;
- 5) ответы 3) и 4).

8. Что называется напряжением гашения?

- 1) наибольшее напряжение промышленной частоты;
- 2) наименьшее импульсное напряжение;
- 3) наибольшее импульсное напряжение;
- 4) наименьшее напряжение промышленной частоты;
- 5) минимальное напряжение сетевого напряжения в момент перехода импульса через нулевую точку.

Электрическая аппаратура

1. Расшифруйте аббревиатуру КРУ.

- 1) комплексные разрядные установки;
- 2) комплекс ремонтных устройств;
- 3) комплексное распределительное устройство;
- 4) компенсационный регулятор, унифицированный;
- 5) компактное распределительное устройство.

2. Для чего предназначено КРУ?

- 1) приема и преобразования электрической энергии;
- 2) преобразования;
- 3) приема и распределения электрической энергии;
- 4) преобразования и распределения электрической энергии;
- 5) информации о повреждениях.

3. Какое основное условие должно выполняться при работе с разъединителем?

- 1) отсутствие токов нагрузки;

- 2) обязательное наложение переносного заземлителя;
- 3) отключение электрической энергии на головной ТП;
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 2) и 3).

4. Какое значение рабочего тока допускается разъединителем без отключения токов нагрузки?

- 1) 50 А; 2) 20 А; 3) 15 А; 4) 100 А; 5) 8 А.

5. Какой тип привода применяется для главных ножей разъединителя рубящего типа наружной установки?

- 1) электродвигательный;
- 2) пневматический;
- 3) пневмогидравлический;
- 4) ручной;
- 5) гидравлический.

Трансформаторные подстанции

1. Для чего предназначен силовой трансформатор

- 1) повышения напряжения в сети переменного тока;
- 2) понижения напряжения в сети переменного тока;
- 3) преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока;
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 2) и 3).

2. Как определяется коэффициент трансформации силового трансформатора

- 1) $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$; 2) $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_2}{w_1}$; 3) $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2}{I_1}$;
- 4) $k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2}{I_1}$; 5) $k = U_1 U_2$

3. Что входит во вводное устройство КТП при питании их от ВЛ

- 1) силовые предохранители;
- 2) проходные изоляторы;
- 3) разъединитель;
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 2) и 3).

4. От чего зависят дополнительные потери мощности и электроэнергии в трансформаторе при несимметричной нагрузке?

- 1) от тока обратной последовательности;
- 2) от напряжения обратной последовательности;
- 3) от тока нулевой последовательности;
- 4) от тока и напряжения нулевой последовательности;
- 5) от тока нулевой и обратной последовательностей.

5. Как варьируются переменные надбавки силового трансформатора в %

- 1) -5,0; -2,5; 0; +2,5; +5,0;
- 2) -7,5; -5,0; -2,5; 0; +2,5; +5,0; +7,5;

- 3) -10,0; -5,0; 0; +5,0; +10,0;
- 4) -10,0; -7,5; -5,0; 0; 5,0; +7,5; +10,0;
- 5) -6,3; -2,5; 0; +2,5; +6,3.

6. Для чего предназначена КТП?

- 1) для производства и распределения электрической энергии;
- 2) для распределения электрической энергии;
- 3) для приема электрической энергии;
- 4) для приема, преобразования и распределения электрической энергии;
- 5) для производства и преобразования электрической энергии.

7. Какие классы номинальных мощностей (*кВА*) трансформаторных подстанций Вы знаете?

- 1) 20;63;100;150;200;450; 620; 700;
- 2) 16; 25; 60; 120; 250; 450; 600; 750;
- 3) 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630;
- 4) 25;43;60;100;140;200;450;600;
- 5) 23; 40; 63; 140; 160; 250; 400; 630.

Надежность электроснабжения

1. Что должно быть предусмотрено для резервирования особой группы электроприемников 1-й категории?

- 1) дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания;
- 2) дополнительное питание от линии электропередачи;
- 3) автоматическое секционирование;
- 4) автоматическое повторное включение;
- 5) автоматическая частотная разгрузка.

2. На какое время допускается перерыв в электроснабжении потребителей 3-й категории?

- 1) не более 1,5 часа;
- 2) не более 3 часов;
- 3) не более суток;
- 4) на время автоматического включения резервного питания;
- 5) не более 12 часов.

3. Что можно использовать для резервирования потребителей 1-й категории?

- 1) независимую трансформаторную подстанцию;
- 2) резервную линию электропередачи;
- 3) аккумуляторную батарею;
- 4) дизельную электростанцию;
- 5) ответы 1), 3) и 4).

4. Какие мероприятия из перечисленных ниже могут использоваться для повышения надежности электроснабжения?

- 1) многократное резервирование;
- 2) замена недогруженного трансформатора на два трансформатора меньшей мощности;
- 3) установка средств компенсации реактивной мощности;
- 4) устройства многократного АПВ;
- 5) ответы 1) и 2).

5. К потребителям 1-й категории надежности относятся потребители, перерыв в электро-снабжении которых влечет за собой...

- 1) опасность для жизни людей;
- 2) повреждение оборудования и массовый брак продукции;
- 3) массовый недоотпуск продукции;
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 1), 2) и 3).

Электроснабжение и рациональное использование электроэнергии

1. Какое значение отклонения напряжения соответствует ГОСТ в нормальном режиме работы системы электроснабжения?

- 1) 10%;
- 2) 7,5%;
- 3) 5%;
- 4) 2,5%;
- 5) 2%.

2. Для повышения коэффициента мощности необходимо:

- 1) правильный выбор двигателей по мощности;
- 2) замена недогруженных трансформаторов на трансформаторы меньшей мощности;
- 3) применение устройств компенсации реактивной мощности;
- 4) установка средств регулирования напряжения;
- 5) ответы 1), 2) и 3).

3. Синхронный компенсатор предназначен для ...

- 1) стабилизации напряжения в точке подключения и регулирования его в небольших пределах (± 5 номинального), а также для выработки и потребления активной мощности;
- 2) компенсации реактивной мощности нагрузки;
- 3) потребления излишней реактивной мощности;
- 4) потребления и выработки реактивной мощности;
- 5) потребления и выработки активной мощности.

4. При параллельной работе двух одинаковых трансформаторов:

- 1) потери на намагничивание сердечника увеличиваются в 2 раза, а эквивалентное сопротивление остается без изменения;
- 2) потери на намагничивание сердечника уменьшаются в 2 раза, а эквивалентное сопротивление остается без изменения;
- 3) эквивалентное сопротивление уменьшается в 2 раза, потери на намагничивание сердечника остаются без изменения;
- 4) эквивалентное сопротивление увеличивается в 2 раза, потери на намагничивание сердечника уменьшаются в 2 раза;
- 5) потери на намагничивание сердечника увеличиваются в 2 раза, а эквивалентное сопротивление уменьшается в 2 раза.

5. Несинусоидальность напряжения характеризуется...

- 1) коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- 2) коэффициентом n -й гармонической составляющей напряжения;
- 3) коэффициентом обратной последовательности напряжения;
- 4) ответы 1) и 2);
- 5) ответы 2) и 3).

6. Несимметрия трехфазной системы напряжений характеризуется...

- 1) коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- 2) коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- 3) коэффициентом несимметрии токов по обратной последовательности;
- 4) ответы 1) и 3);
- 5) ответы 1) и 2).

7. Работа каких электроприемников является причиной выхода показателей несимметрии напряжения за установленные ГОСТом пределы?

- 1) дуговые сталеплавильные печи;
- 2) электросварочные агрегаты;
- 3) осветительные установки;
- 4) однофазная коммунально-бытовая нагрузка;
- 5) все перечисленные электроприемники.

Технико-экономические показатели установок сельского электроснабжения

1. Наиболее целесообразный вариант электроснабжения можно выбрать по...

- 1) сроку окупаемости;
- 2) приведенным дисконтированным затратам;
- 3) дополнительным капитальным вложениям;
- 4) ответы 1) и 3);
- 5) ответы 1) и 2).

5.3. Требования к зачету и экзамену

К зачету и экзамену допускаются студенты, не имеющие пропусков лекционных и практических занятий и успешно написавшие контрольную работу по данной дисциплине.

Вопросы к экзамену по электроснабжению

1. Графики электрических нагрузок, назначение, классификация (номинальная мощность, средняя и максимальная нагрузка).
2. Графики электрических нагрузок сельскохозяйственных и промышленных потребителей. Понятие расчетной нагрузки.
3. Показатели, характеризующие графики нагрузок (коэффициенты использования, включение, загрузки и формы).
4. Показатели, характеризующие графики нагрузок (коэффициенты максимума, спроса, заполнения и разновременности).
5. Эффективное число электроприемников и его определение.
6. Методы расчета электрических нагрузок и характерные расчетные точки системы электроснабжения. Определение расчетной нагрузки отдельных узлов системы электроснабжения.
7. Определение расчетной нагрузки по методу упорядоченных диаграмм.
8. Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса, по удельной нагрузке на единицу производственной площади, по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.
9. Пиковые нагрузки. Их определение.
10. Электрические нагрузки сельскохозяйственных потребителей. Расчет нагрузок по вероятностным характеристикам сельскохозяйственных потребителей.
11. Определение расчетных нагрузок электрических сетей с помощью коэффициентов разновременности для сельскохозяйственных потребителей на напряжении 0,38 – 10 кВ, распределительной сети 6-110 кВ и ТП 6-110 кВ.
12. Расчет электрических сетей. Связь допустимого падения напряжения и сечения проводника.
13. Понятие падения и потери напряжения. Векторная диаграмма для участка электрической сети для равномерной нагрузки фаз.

14. Особенности выбор сечений проводов линий электропередачи по допустимой потере напряжения для сетей с двухсторонним питанием
15. Допустимые потери напряжений и особенности их определения. Влияние отклонения напряжения на работу ЭП, в том числе асинхронных двигателей.
16. Определение допустимо потери напряжения табличным способом в централизованной и децентрализованной СЭС. Проверка сети на глубину провала напряжения при пуске асинхронных двигателей.
17. Токи к.з. и замыканий на землю. Виды к.з. и причины возникновения. Назначение расчетов токов к.з. Основные допущения. Составление расчетных схем замещения и применяемые системы единиц.
18. Системы единиц при расчетах токов к.з. Именованная система единиц. Преобразование и упрощение эквивалентных схем.
19. Системы единиц при расчетах токов к.з. Относительная система единиц. Преобразование и упрощение эквивалентных схем.
20. Расчет по индивидуальному затуханию. Порядок расчета, основные допущения при упрощении схем замещения. Понятие коэффициентов распределения. Пример их использования.
21. Определение токов к.з. в сельских сетях напряжением выше 1 кВ. Схема замещения сельской электрической сети и определение ее параметров.
22. Несимметричные к.з.. Метод симметричных составляющих, его основные положения (5 штук).
23. Параметры элементов электрической системы обратной и нулевой последовательностей (синхронная машина, трансформаторы и автотрансформаторы, воздушные и кабельные линии, асинхронные двигатели).
24. Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.
25. Несимметричные режимы к.з. Однофазное к.з. на землю. Комплексная схема замещения. Векторная диаграмма.
26. Несимметричные режимы к.з. Двухфазное к.з. Комплексная схема замещения. Векторная диаграмма.
27. Несимметричные режимы к.з. Двухфазное к.з. на землю. Комплексная схема замещения.
28. Алгоритм расчета тока несимметричного короткого замыкания. Сравнение токов различных видов к.з.
29. Защита сельских электрических сетей от атмосферных перенапряжений: тупиковые, проходные ТП напряжением 10 – 110 кВ.
30. Режимы работы нейтралей электрических сетей (4 группы). Работа сети с изолированной нейтралью. Схема и векторная диаграмма.
31. Режимы работы нейтралей электрических сетей (4 группы). Режим работы сети с резонансно-заземленными нейтральями. Схема и векторная диаграмма.
32. Режимы работы нейтралей электрических сетей (4 группы). Режим работы сети с глухо-заземленными и эффективно-заземленными нейтральями. Способы заземления оборудования.
33. Общие сведения о релейной защите. Требования к ней.
34. Элементы защиты. Электромагнитные и индукционные реле. Принцип действия
35. Элементы защиты. Тепловое реле, область применения, принцип действия.
36. Логические операции в релейной защите («И» «ИЛИ» «НЕ» «ЗАПРЕТ» «ЗАДЕРЖКА ВРЕМЕНИ»).
37. Способы воздействия релейной защиты на высоковольтный выключатель. Реле прямого и косвенного действия. Их принципиальные схемы.
38. Принципы выполнения различных защит. Максимальная токовая защита и токовая отсечка.
39. Принципы выполнения различных защит. Максимальная токовая направленная защита и токовая отсечка.

40. Принципы выполнения различных защит. Продольные и поперечные дифференциальные защиты.
41. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Системы оперативного тока.
42. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы тока. Схема замещения и векторная диаграмма.
43. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы тока (ТТ). Погрешности ТТ. Зависимость первичного тока от вторичного.
44. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы тока (ТТ), схемы их соединения (полная и неполная звезда, включение двух ТТ на разность двух фаз). Понятие коэффициента схемы.
45. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы тока (ТТ), схемы их соединения (соединение ТТ в «треугольник», а обмоток реле в «звезду», схема фильтра токов нулевой последовательности). Понятие коэффициента схемы.
46. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы напряжения, схема замещения и векторная диаграмма.
47. Источники оперативного тока в цепях релейной защиты. Трансформаторы напряжения (ТН), схема включения, векторная диаграмма и погрешности ТН.
48. Максимальная токовая защита. Принцип действия и выбор параметров защиты. Ток срабатывания МТЗ.
49. Схемы максимальной токовой защиты. Место установки защиты. Схема соединения обмоток ТТ и обмоток реле в звезду. Двухфазная схема включения реле максимальной защиты (двух, трех и однорелейные).
50. Схемы максимальной токовой защиты. Схема двухфазной МТЗ с реле прямого действия. .Схема МТЗ на постоянном оперативном токе.
51. Выбор параметров максимальной токовой защиты. Условия определения тока срабатывания защиты.
52. Токовая отсечка на линиях с односторонним и двухсторонним питанием.
53. Токовая направленная защита. Размещение защит в сети с двухсторонним питанием.
54. Дифференциальная защита – продольная и поперечная. Принцип действия продольной дифференциальной защиты. Ток срабатывания защиты.
55. Дифференциальная защита – продольная и поперечная. Принцип действия поперечной дифференциальной защиты. Ток срабатывания защиты.
56. Направленная поперечная дифференциальная защита двух параллельных линий. Схема и ток срабатывания защиты.
57. Защита силовых трансформаторов. Особенности настройки продольной дифференциальной защиты. Соотношение токов при различном соединении обмоток трансформатора: «звезда» – «треугольник».
58. Защита трансформатора от внешних к.з. Место установки токовой отсечки. Газовая защита. Область применения, принцип действия.
59. Автоматическое повторное включение линий электропередачи. Классификация АПВ по числу циклов, по числу фаз, по способу воздействия на выключатель. Взаимодействие АПВ с релейной защитой.
60. Автоматическое повторное включение линий электропередачи. Требования, предъявляемые к АПВ. Типовая схема АПВ однократного действия. по числу циклов, по числу фаз, по способу воздействия на выключатель.
61. Автоматическое включение резервного питания. Основные требования к АВР. Схема АВР двухстороннего действия для двухтрансформаторной подстанции.
62. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях. Устройства для ускорения поиска мест повреждения.
63. Методы определения мест повреждения кабельных линиях (импульсный, петли и индукционный).

Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная учебная литература

1. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. 110302 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – Москва : КолосС, 2008. – 655 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Воробьев, В. А. Электрификация и автоматизация сельского хозяйства [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по агрономическим спец. / В. А. Воробьев. – Москва : КолосС, 2007. – 280 с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

2. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 2-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 187 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/702/>.

3. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. 140610 — «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подгот. 140600 — «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / Н. К. Полуянович ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 396 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/2767/>.

4. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 432 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4544/>.

5. Цапенко, Е. Ф. Перенапряжения в системах электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. "Электроснабжение" направления подготовки дипломированных специалистов / Е. Ф. Цапенко ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – 63 с. – (Горная электромеханика). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/100035/>.

6. Электроснабжение района [Текст] : метод. пособие по выполн. курсового проекта (курсовой работы) для студ. спец. 311400 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" всех форм обучения / Федеральное агентство по образованию, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. электроэнергетики ; сост. : Ю. Я. Чукреев. – Сыктывкар : СЛИ, 2005. – 168 с.

Дополнительная литература

1. Ерахтин, Б. М. Строительство гидроэлектростанций в России [Текст] : учебно-справочное пособие гидростроителя / Б. М. Ерахтин, В. М. Ерахтин. – Москва : АСВ, 2007. – 732 с.

2. Гайдукевич, В. И. Справочник электромонтера строительной площадки [Текст] / В. И. Гайдукевич, Я. В. Гайдукевич. – Москва : АСВ, 2003. – 232 с.

3. Ганелин, А. М. Справочник сельского электрика (в вопросах и ответах) [Текст] / А. М. Ганелин, С. И. Коструба. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1980. – 256 с.

4. Механизация и электрификация сельского хозяйства [Текст] : теоретический и научно – практический журнал. – Выходит раз в два месяца.

2008 № 1-12;
2009 № 1-6;
2010 № 1,2,4-12;
2011 № 1-12;
2012 № 1-6;

5. Наука и жизнь [Текст] : научно – популярный журнал/ Автономная некоммерческая организация "Редакция журнала "Наука и жизнь". – Москва : [б. и.]. – Основан в 1890 г. Издание возобновлено в 1934 г. – Выходит ежемесячно.

2008 № 7-12;
2009 № 1-7,9;
2010 № 1-12;
2011 № 1-12;
2012 № 1-12;

6. Проблемы энергетики [Текст] : научно-технический и производственный журнал. Известия вузов/ Мин-во образования и науки Рос. Федерации, КГЭУ. – Выходит ежемесячно.

2008 № 7/8,9/10,11/12;

7. Электричество [Текст] : теоретический и научно-практический журнал. – Выходит ежемесячно.

2009 № 2-6;
2010 № 1-6;
2012 № 1-6.