

Министерство образования и науки Российской Федерации

Донской государственный технический университет

Методические указания и контрольные задания

по дисциплине «Кибернетические электроэнергетические системы»

для студентов заочной формы обучения

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2020

УДК 620.9 (075.8)

Рецензент д-р техн. наук Н.И. Цыгулёв

Составитель: Хлебников В.К.

Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Кибернетические электроэнергетические системы» для студентов заочной формы обучения/ Дон. гос. техн. ун-т – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. – 54 с.

Определены перечень и объём вопросов по дисциплине «Кибернетические энергетические системы». Приведены методические указания, вопросы для самопроверки и контрольные задания для самостоятельного выполнения.

Предназначены для студентов нормативного и сокращённого срока заочной формы обучения по направлению 130302 «Электроэнергетика и электротехника».

© Донской государственный
технический университет, 2020

© Хлебников В.К.

Содержание

1. Структура и содержание дисциплины	
1.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе	
1.2. Связь с предшествующими и последующими дисциплинами	
1.3. Тематический план дисциплины	
1.4. Перечень вопросов для подготовки к экзаменам	
2. Краткие методические указания	
2.1. Введение	
2.2. Параметры и схемы замещения элементов электрической сети	
2.3. Установившиеся режимы электрических сетей	
2.4. Технологические потери электроэнергии	
2.5. Регулирование режимов электрической сети	
2.6. Оценивание состояния и идентификация в ЭЭС	
3. Контрольные задания	
3.1. Задача № 1	
3.2. Задача № 2	
3.3. Контрольные вопросы	
4. Учебно-методические материалы по дисциплине (литература	

1. Структура и содержание дисциплины

1.1 Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Целью преподавания дисциплины «Кибернетические энергетические системы» является формирование у студентов современного уровня теоретических знаний в области управления режимами и развитием электроэнергетических систем (ЭЭС), а также подготовка студентов к освоению специальных дисциплин.

Задачи преподавания дисциплины:

- изложить системно в форме, доступной для понимания студентами, сведения о передаче и распределении электрической энергии, методы расчёта нормальных режимов электрических сетей и их проектирования;
- изучить основное оборудование электрических сетей электроэнергетических систем, методы и алгоритмы расчётов режимов электрических сетей ;
- привить навыки проведения расчётно-аналитической работы для принятия технически и экономически грамотных решений по управлению нормальными режимами и развитием электрических сетей, обеспечивающих эффективную деятельность энергосистем.

1.2 Связь с предшествующими и последующими дисциплинами

Дисциплина относится к циклу профессиональных дисциплин.

Фундаментальными основами преподавания дисциплины являются: «высшая математика», «специальные главы математики» (разделы: векторная алгебра, теория функций, системы уравнений), «физика», «концепции современного естествознания» (раздел электричество), «общая энергетика» (разделы: общие сведения об энергетике, электротехническое оборудование электрических станций и энергетических систем, энергетические системы, линии элект-

тропередачи), «теоретические основы электротехники (разделы: теория электрических цепей переменного тока)».

Дисциплины, при изучении которых будут использоваться компетенции (знания, умения, и навыки), приобретённые в результате изучения данной дисциплины: все специальные дисциплины, практики и дипломный проект.

1.3. Тематический план дисциплины

Раздел 1. Введение. Общая характеристика ЭЭС, электрических сетей

Основные понятия, термины и определения. Характеристика передачи электроэнергии переменным и постоянным током. Характеристики систем передачи и распределения электроэнергии. Система передачи и распределения электроэнергии.

Литература [4.1], [4.2], [4.3]

Раздел 2.

Тема 2.1. Принципы конструктивного исполнения силовых элементов электрической сети

Воздушные (ВЛ) и кабельные линии (КЛ) электропередачи. ВЛ с расщеплёнными фазами. Двухобмоточные трансформаторы. Трёхобмоточные трансформаторы. Автотрансформаторы. Компенсирующие устройства.

Литература [4.1], [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Тема 2.2. Схемы замещения элементов электрической сети и их параметры

Параметры схем замещения ВЛ и КЛ. Параметры схем замещения трансформаторов. Нагрузки и их графики. Статические характеристики нагрузок.

Литература [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Раздел 3.

Тема 3.1. Расчёт режимов элементов электрических сетей

Расчёты режимов линий и трансформаторов по току и мощности нагрузки. Круговые диаграммы линий. Векторные диаграммы токов и напряжений линии.

Литература [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Тема 3.2. Методы расчётов установившихся режимов электрических сетей

Общая характеристика задачи расчёта и анализа установившихся режимов электрических сетей. Расчётные схемы. Расчётные режимы электрических сетей. Расчёты режимов разомкнутых электрических сетей. Расчёты режимов простых замкнутых электрических сетей.

Литература [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Тема 3.3. Основы расчёта установившихся режимов электрической сети на ЭВМ

Математическая постановка задачи. Метод узловых напряжений. Методы решения систем уравнений установившихся режимов электрических сетей. Применение ЭВМ для расчётов режимов.

Литература [4.2], [4.3]

Раздел 4. Технологические потери электроэнергии. Методы расчёта и анализа потерь электрической энергии

Общая характеристика задач расчёта, анализа и снижения потерь электроэнергии. Метод оперативных расчётов. Метод расчётных суток. Метод числа часов наибольших потерь мощности. Оценка потерь по обобщённой информации о схемах и нагрузках сети.

Литература [4.2], [4.3], [4.4]

Раздел 5. Регулирование режимов электрической сети

Тема 5.1. Основы регулирования режимов электрической сети

Задачи регулирования режимов. Способы и средства регулирования режимов. Показатели качества электрической энергии. Регулирование напряжения дальних электропередач. Регулирование напряжения в системообразующей сети.

Литература [4.1], [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Тема 5.2. Регулирование напряжения в распределительных сетях

Регулирование напряжения трансформаторами с РПН. Выбор режимов регулирования напряжения в распределительных сетях. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.

Литература [4.2], [4.3], [4.4], [4.5]

Тема 5.3. Оптимизация режимов электрической сети

Задачи и критерии оптимизации. Управление потоками мощности в замкнутых сетях. Основы оптимизации режимов системообразующих сетей. Оптимизация режимов распределительных сетей.

Литература [4.2], [4.3]

Раздел 6. Оценивание состояния и идентификация в ЭЭС

Тема 6.1. Статическое оценивание состояния ЭЭС.

Задачи обеспечения качества диспетчерской информации. Уравнения состояния электрической сети. Критерии статического оценивания состояния. Алгоритм статического оценивания состояния сети.

Литература [4.6]

Тема 6.2. Идентификация параметров схем электрических сетей

Характеристика задачи. Идентификация параметров схемы замещения линии. Идентификация параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора. Идентификация параметров трёхобмоточного трансформатора (автотрансформатора).

Литература [4.6]

1.4. Перечень вопросов для подготовки к экзаменам

1. Чем отличаются понятия «система электроснабжения» и «электроэнергетическая система»?
2. Какие значения мощностей и дальностей передачи характерны для систем передачи электроэнергии?
3. Каковы основные принципы построения схем передачи электроэнергии?
4. Что понимается под пропускной способностью электропередачи?
5. Преимущества и недостатки сложнзамкнутых сетей?
6. Каково назначение распределительных сетей?
7. Каковы основные конструктивные элементы ВЛ?
8. Основные конструктивные элементы КЛ?
9. Как определить активное и индуктивное сопротивления ЛЭП?
10. Как зависят активная, реактивная проводимость линии от геометрических размеров проводов и опоры?
11. Как определяются параметры П-образной схемы замещения линии?
12. При каких длинах параметры линии можно определять приближённо?
13. Схемы замещения двухобмоточных трансформаторов
14. Схемы замещения трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов?
15. Определение средних и среднеквадратичных нагрузок по графикам
16. Как определить время использования максимальной нагрузки?
17. Вид типовых статических характеристик нагрузки по напряжению и частоте
18. В каких сетях допустимо представление нагрузок в виде неизменного тока?
19. Как нагрузка моделируется неизменным сопротивлением?
20. Виды компенсирующих устройств в системообразующих и распределительных сетях

- 21.Схемы замещения КУ
- 22.Принцип работы СТК
- 23.Как определить потерю и падение напряжения?
- 24.Зависимость потерь мощности от тока и мощности электропередачи
- 25.Векторная диаграмма токов и напряжений электропередачи
- 26.Этапы итерационного алгоритма расчёта режима участка сети
- 27.Векторная диаграмма мощностей участка сети
- 28.Расчёт режима разомкнутой сети в два этапа
- 29.Какие сети называются замкнутыми?
- 30.Как определить точку потокораздела линии с двухсторонним питанием?
- 31.Вид уравнений узловых напряжений
- 32.Матрица собственных и взаимных проводимостей узлов
- 33.Решение системы нелинейных УУН методом Зейделя
- 34.Решение системы нелинейных УУН методом Ньютона
- 35.Как определить токи ветвей схемы сети при известных напряжениях узлов?
- 36.Как определить мощности ветвей при известных напряжениях узлов?
- 37.Контроль сходимости итерационного процесса решения УУН
- 38.Какова структура технологических потерь электроэнергии?
- 39.Как определяются условно-постоянные потери электроэнергии трансформаторов, воздушных и кабельных линий?
- 40.Определение нагрузочных потерь электроэнергии методом оперативных расчётов
- 41.В чём сущность определения потерь электроэнергии методом расчётных суток?
- 42.Какова сущность определения потерь электроэнергии методом средних нагрузок?
- 43.Как определяются потери электроэнергии методом числа часов наибольших потерь мощности?
- 44.Как определяются потери электроэнергии в сетях напряжением до 1000 В?

45. Какими показателями определяется качество напряжения?
46. Каковы причины появления отклонений напряжения?
47. Какие средства используются для регулирования напряжения в системообразующей сети?
48. Как формулируется задача регулирования напряжения в системообразующей сети?
49. Продольное и поперечное регулирование напряжения с помощью вольтодобавочного трансформатора
50. Выбор ответвлений двухобмоточных и трёхобмоточных трансформаторов с РПН
51. Какова последовательность выбора ответвлений трансформаторов с ПБВ в распределительной сети 10(6) кВ?
52. Сущность регулирования напряжения изменением потоков реактивной мощности
53. Критерии оптимизации режимов электрической сети
54. Как зависят потери мощности в линии высокого напряжения от рабочего напряжения?
55. Как определить естественное и экономичное потокораспределение в замкнутой сети?
56. Как формулируется задача оптимизации распределения реактивных мощностей источников в системообразующих сетях?
57. Как выбрать оптимальный режим параллельно включённых трансформаторов?
58. Как выравнивание суточного графика нагрузки потребителей влияет на потери электроэнергии в электрической сети?
59. Как снижаются потери электроэнергии при замене проводов на повышенные сечения?
60. Как зависят потери мощности в трансформаторе от рабочего напряжения?

2. Краткие методические указания

2.1. Введение

При изучении этого раздела необходимо уяснить физические основы передачи и распределения электрической энергии, становление и состав систем ее передачи и распределения, изучить понятия и определения, связанные с рассматриваемой проблемой. Обратить особое внимание на понятие «режим» электрической системы и соответственно «параметры режима», а также на то, что в данной дисциплине рассматриваются только установившиеся режимы.

Для осуществления передачи и распределения электроэнергии необходимы: замкнутая электрическая цепь и разность напряжений по пути передачи. Эти условия создаются совокупностью устройств: синхронных генераторов, линий и приемников электроэнергии. По пути передачи осуществляется преобразование электроэнергии с помощью трансформаторов.

Указанные процессы реализуются в рамках энергетических систем.

Энергетическая система - это совокупность электрических станций (ЭС) и потребителей, связанных между собой электрическими и тепловыми сетями.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) - это энергетическая система без парогенераторов на ЭС и тепловых сетей.

Электрическая система - это электрическая часть электроэнергетической системы (без котлов и турбин на ЭС).

Электрическая сеть - это совокупность линий, подстанций и компенсирующих устройств.

Режим ЭЭС - это физическое состояние системы в любой момент времени. Режим характеризуется семью параметрами режима. Это: напряжения во всех узлах, токи, полные мощности, активные мощности, реактивные мощности во всех элементах, углы между векторами напряжений в разных узлах системы, частота. Эти параметры всё время изменяются. Существуют условно постоян-

ные параметры — параметры системы. Это - сопротивления и проводимости элементов системы, коэффициенты трансформации трансформаторов и т.п.

В данной дисциплине рассматриваются установившиеся режимы (УР). УР - это нормальные (рабочие) и послеаварийные режимы (ПАР).

УР все время меняются, так как непрерывно изменяются мощности (нагрузки) потребителей. При этом изменяются потоки мощностей и токи по сети. Следовательно, изменяются падения напряжения в элементах и, как следствие, изменяются значения напряжений во всех узлах.

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. Каковы физические основы и условия передачи и распределения электрической энергии?
2. Каковы особенности электроэнергетики как определяющей отрасли экономики?
3. Назвать основные этапы развития техники и технологии передачи и распределения электроэнергии.
4. Чем объяснить постоянное увеличение номинальных напряжений линий по мере развития техники передачи электрической энергии?
5. Дать определения понятиям: энергетическая система, электроэнергетическая система, электрическая система, электрическая сеть, режим системы (сети).
6. Каковы преимущества объединения энергосистем?
7. Перечислить и пояснить параметры режима, параметры системы.
8. Назвать виды электрических сетей.

2.2. Параметры и схемы замещения элементов электрической сети

Основные задачи рассмотрения данного раздела — изучить все элементы электрических систем с помощью которых осуществляется передача и распределение электроэнергии и моделирование этих элементов. Зная модели отдельных элементов, можно моделировать электрические системы в целом. Следует иметь в виду, что современное управление электроэнергетикой базируется на использовании моделей электрических систем, поэтому вопросы моделирования систем и их режимов являются ключевыми для данной дисциплины.

Для установившихся режимов моделирование элементов электрических систем сводится к составлению их схем замещения. Поэтому по данной теме необходимо усвоить методику составления схем замещения всех элементов электрических сетей и определения их параметров. Надо иметь в виду, что без этого *невозможно дальнейшее изучение курса*.

Студент должен знать разновидности схем замещения линий, понимать возможность и целесообразность упрощения их, в частности за счет неучёта активных проводимостей линий. Надо знать условия, при которых потерями на корону в линиях допустимо пренебрегать.

Необходимо изучить виды силовых трансформаторов, представлять особенности автотрансформаторов, знать их преимущества перед трансформаторами. Хорошо усвоить связь потерь в стали трансформатора с проводимостями и потерь в обмотках с их сопротивлениями. Следует различать в схемах замещения продольные и поперечные ветви.

Кроме линий и трансформаторов надо хорошо представлять и понимать, как моделируются при расчетах установившихся режимов остальные элементы: электрические нагрузки (потребители), компенсирующие устройства, синхронные генераторы (электрические станции).

При изучении характеристик электрических нагрузок обратить внимание на один из ключевых параметров - «время использования наибольшей нагрузки», где оно используется.

При расчётах УР элементы ЭЭС представляются следующим образом:

- линии и трансформаторы - схемами замещения;
- нагрузки - значениями активных и реактивных мощностей потребления;
- генераторы - значениями активных и реактивных мощностей генерации;
- компенсирующие устройства - значениями реактивных мощностей потребления или генерации.

Для линий применяется П-образная схема замещения, в которой активное и индуктивное сопротивление - это продольные ветви, а активная и ёмкостная проводимости — это поперечные ветви.

Для двухобмоточных трансформаторов применяется Г-образная схема замещения, в которой активное и индуктивное сопротивление — это продольные ветви, а активная и индуктивная проводимости — это поперечные ветви. Проводимости трансформаторов могут также учитываться соответствующими потерями мощности холостого хода. Для трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов используется трёхлучевая схема замещения.

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. Перечислить номинальные напряжения линий, электроприёмников, генераторов, трансформаторов. Как различать повышающие и понижающие трансформаторы по номинальным напряжениям обмоток?
2. Изобразить основные разновидности схем замещения линий.
3. Пояснить физический смысл каждого из параметров схемы замещения линии. Как определяются эти параметры?
4. Что такое корона на воздушных линиях, зарядная мощность линий, транспозиция воздушных линий, расщепление проводов?

5. Изобразить схемы замещения трансформаторов разных видов.
6. Пояснить физический смысл каждого из параметров схем замещения трансформаторов. Как определяются эти параметры?
7. Перечислить и пояснить все паспортные данные трансформаторов.
8. В чем преимущества автотрансформаторов по сравнению с трехобмоточными трансформаторами?
9. Что такое графики нагрузок?
10. Какие виды графиков нагрузок используются?
11. Пояснить параметр «время использования максимальной (наибольшей) нагрузки».
12. Как моделируются (представляются) нагрузки при расчетах установившихся режимов электрических систем?
13. Каковы виды и назначение компенсирующих устройств?
14. Как моделируются (представляются) компенсирующие устройства при расчетах установившихся режимов электрических систем?
15. Как моделируются (представляются) синхронные генераторы при расчетах установившихся режимов электрических систем?

2.3. Установившиеся режимы электрических сетей

Как отмечалось выше, в рамках данной дисциплины рассматриваются только установившиеся режимы электрических сетей. С помощью этих расчетов моделируются соответствующие режимы, что лежит в основе управления электрическими системами.

Прежде чем приступить к изучению вопросов расчетов режимов систем в целом, надо ознакомиться с методикой расчетов режимов отдельных элементов, прежде всего линий и трансформаторов. Четко уяснить, что должно быть известно перед расчетом и что требуется определить, т.е. какова цель расчетов. На практике чаще всего приходится иметь дело с так называемым «расчетом по

данным начала». Когда известно напряжение в начале, например, линии и мощность в конце линии, требуется определить напряжение в конце линии (если распространить на систему в целом, то это будут напряжения на шинах нагрузок) и мощность в начале линии (если распространить на систему в целом, то это будет мощность источника питания). Хорошо понять соответствующую методику расчета режима, обратив внимание на то, что в расчете «участвуют» такие базовые параметры, как потери мощности, падение напряжения.

Схемы замещения линий и трансформаторов отражают свойства самих объектов, в частности то, что в них имеют место потери мощности и падение напряжения. Причем в продольных элементах - переменные потери мощности, а в поперечных элементах — условно постоянные потери мощности.

Падение напряжения определяется в соответствии с законом Ома и представляет собой геометрическую разность векторов напряжений по концам элемента сети. А потеря напряжения — это алгебраическая разность между модулями этих напряжений.

Такие параметры, как мощности, потери мощности являются мгновенными параметрами. Их значения характеризуют потребителей, элементы или сеть в целом в рассматриваемый момент времени.

Кроме основного расчета по мощностям, следует познакомиться с методикой расчетов режимов по току нагрузки. При этом целесообразно использовать соответствующую векторную диаграмму. Это очень полезно для понимания сути рассматриваемых вопросов.

При расчете режима линии сначала определяются значения мощностей в начале линии. Для этого к известным значениям мощностей в конце линии прибавляются значения соответствующих потерь мощности. Далее определяется напряжение в конце линии, для этого из заданного значения напряжения в начале линии вычитается значение падения напряжения в ней. Расчет режима трансформатора выполняется аналогично. Лишь при переходе с одной ступени напряжения на другую (через идеальный трансформатор схемы замещения)

необходимо изменить напряжение, умножив или разделив его на величину коэффициента трансформации.

Рекомендуется добиться глубокого понимания прежде всего ключевых основ рассматриваемой проблемы, а именно: *исходная информация, задачи и цели расчётов установившихся режимов*.

Обязательный состав *необходимой информации*: а) схема электрической системы и параметры всего оборудования; б) значения нагрузок всех узлов в рассматриваемом режиме; в) выбор (назначение) балансирующего и базового узлов; г) значения мощностей генерации всех электростанций, кроме одной в балансирующем узле; д) значение напряжения в базовом узле.

Задача расчета режима - определение значений параметров этого режима: напряжений во всех узлах, токов во всех ветвях, полных, активных и реактивных мощностей во всех ветвях, углов векторов всех напряжений. (Частота предполагается неизменной в рассматриваемых режимах). Важными сопутствующими результатами являются значения потерь мощности в элементах и в сети в целом.

Цели расчетов режимов. Результаты расчетов режимов используются при управлении и проектировании электрических систем. В простейшем представлении по результатам расчета режима можно судить: а) *о допустимости* этого режима (например, по токам в линиях); б) *о качестве электроэнергии* в этом режиме (например, по напряжениям в узлах нагрузок); в) *об экономичности* рассматриваемого режима (например, по величине потерь активной мощности в сети).

Студент должен представлять, что расчет режима ведётся по схеме замещения электрической сети, которая составляется из схем замещения отдельных элементов. Необходимо свободно составлять схемы замещения для сетей различных номинальных напряжений, уметь упрощать расчетные схемы, в частности путем введения расчетных нагрузок подстанций. Начать изучение методов расчёта режимов сети целесообразно с расчётов режимов разомкнутых

электрических сетей. Следует иметь в виду, что если освоены методы расчетов режимов отдельных линий, то овладеть методами расчетов разомкнутой сети не составляет труда.

Четко представлять, что в расчетах режимов этих сетей используется метод последовательных приближений, когда на первом этапе выполняется расчёт мощностей по номинальному напряжению, начиная от одной из удаленных точек сети, а на втором этапе выполняется расчет напряжений, начиная от точки питания. После чего расчеты повторяются уже по полученным значениям напряжений в каждой точке, если требуется уточнить параметры режимов сети.

Следующим этапом является освоение методов расчетов режимов простейших замкнутых сетей. Иметь в виду, что расчеты режимов замкнутых электрических сетей значительно усложняются, так как распределение мощностей в них зависит не только от нагрузок потребителей, но и от параметров сети, напряжения питающих пунктов. В первую очередь надо освоить методику расчетов потоков мощностей по участкам линии с двухсторонним питанием и несколькими нагрузками. Затем ознакомиться и усвоить порядок расчета режимов кольцевых сетей по методу «в два этапа», когда на первом этапе сеть размыкается в точке питания, рассчитывается приближённое потокораспределение, а на втором этапе сеть размыкается в другой точке - точке потокораздела, уточняется потокораспределение и рассчитываются напряжения.

Упомянутый выше порядок расчета режима разомкнутых электрических сетей сводится к следующему. Составляется схема замещения, на которой представляются так называемые расчетные точки (в этих точках определяются значения мощностей, протекающих по соответствующим элементам сети, и значения напряжений).

На первом этапе, начиная от одной из удаленных нагрузок сети, переходя от точки к точке, определяются значения мощностей в этих точках. При этом используется одно из трех возможных обстоятельств:

1) если по ходу расчета встречается идеальный трансформатор, то мощности не изменяются; 2) если по ходу расчета встречается сопротивление, то к предыдущим значениям мощностей добавляются потери мощности в сопротивлении; 3) если по ходу расчета встречаются ответвления линий или отборы мощностей, то используется первый закон Кирхгофа. Расчет мощностей завершается в точке питания (в балансирующем и базовом узле).

На втором этапе ведется расчет напряжений в обратном направлении, начиная от точки питания, в которой значение напряжения задается. При этом напряжение после сопротивления определяется как разность между напряжением в начале сопротивления и падением напряжения в нем, а напряжение после идеального трансформатора определяется путем деления или умножения его значения до идеального трансформатора на коэффициент трансформации.

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. Каковы задачи расчетов режимов элементов электрических сетей? Каковы исходные данные при расчетах режимов?
2. Изобразить схему замещения линии ПО кВ и построить для нее векторную диаграмму токов и напряжений.
3. Каков порядок расчета режимов линий, если известны мощности нагрузки (мощности в конце линии)?
4. Каков порядок расчета режимов трансформаторов?
5. В чем суть и разница понятий «падение напряжения», «потеря напряжения»?
6. Какие виды потерь мощности имеют место в линиях, трансформаторах? От чего они зависят? Как определяются?
7. Дать определение параметру «время наибольших потерь».
8. Как определить переменные потери электрической энергии в трансформаторах, в сети в целом по времени наибольших потерь?

9. Как определяются условно постоянные потери электроэнергии?
10. Какая исходная информация необходима для выполнения расчетов установившихся режимов электрических систем?
11. Какие узлы называются балансирующим и базовым?
12. Каковы задача и цели расчетов режимов электрических систем?
13. Для чего и как используются результаты расчетов установившихся режимов?
14. Как оценить допустимость рассматриваемого режима?
15. Как оценить качество электроэнергии в рассматриваемом режиме?
16. Как оценить экономичность рассматриваемого режима?
17. Каков алгоритм расчета режима разомкнутой электрической сети?
Пояснить на примерах.
18. Почему при расчете режима разомкнутой электрической сети используется метод последовательных приближений?
19. Каков алгоритм расчета режима простейшей замкнутой сети? Пояснить на примерах.
20. Какова методика расчета потокораспределения в линиях с двухсторонним питанием?
21. Каковы причины того, что в реальных условиях для расчетов режимов электрических систем используются компьютерные технологии?
22. Каковы основы современных компьютерных методов расчетов режимов электрических систем?

2.4. Технологические потери электроэнергии

Студент должен помнить, что проблема снижения потерь мощности и электроэнергии весьма актуальна для электрических систем, поэтому надо уделять ей должное внимание. В данном разделе рассматриваются различные ме-

тоды расчёта потерь электроэнергии, используемые при определении нормативов технологических потерь электроэнергии. Необходимо знать технические и режимные мероприятия по снижению потерь мощности и электроэнергии, иметь представление о целесообразности применения любого из них в конкретных условиях.

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. Какова структура технологических потерь электроэнергии?
2. Как определяются условно-постоянные потери электроэнергии трансформаторов, воздушных и кабельных линий?
3. Определение нагрузочных потерь электроэнергии методом оперативных расчётов
4. В чём сущность определения потерь электроэнергии методом расчётных суток?
5. Как определить среднюю нагрузку сети?
6. Как определить коэффициент формы графика нагрузки?
7. Какова сущность определения потерь электроэнергии методом средних нагрузок?
8. Как определить число часов наибольших потерь мощности?
9. Как определяются потери электроэнергии методом числа часов наибольших потерь мощности?
10. Как определяются потери электроэнергии в сетях напряжением до 1000 В?
11. Поясните каждое из технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии.
12. Поясните суть каждого из режимных мероприятий по снижению потерь электроэнергии.

2.5. Регулирование режимов электрической сети

Прежде чем приступать к изучению данного раздела, необходимо осознать следующее. Весь предыдущий материал дисциплины является базой для решения вопросов управления установившимися (нормальными) режимами электрических сетей. Указанные вопросы составляют суть этой темы. Иметь в виду, что *главными задачами управления установившимися режимами* являются: а) обеспечение необходимого качества электроэнергии (для потребителей); б) обеспечение экономичности работы (для самой системы и сети). Эти задачи решаются на фоне главной особенности электроэнергетики: производство, передача, распределение и потребление электроэнергии осуществляются *одновременно*. Данным обстоятельством объясняется то, что в основе управления режимами лежит *регулирование балансов* активных и реактивных мощностей в электрических системах. От этого зависит прежде всего качество электроэнергии.

Необходимо знать и понимать показатели и требования к качеству, а также последствия от низкого качества электроэнергии.

Студент должен иметь четкое представление о причинах и последствиях нарушения баланса реактивных мощностей в сети и отдельных ее частях, о способах поддержания требуемого баланса. Необходимо знать источники реактивной мощности, характеристики компенсирующих устройств.

Особое внимание требуется уделить проблеме регулирования напряжения в электрических сетях. Надо иметь представление о способах, средствах и законах регулирования напряжения.

Следует обратить внимание на причины и последствия изменения дополнительных показателей качества: колебаний, несимметрии напряжений, не-синусоидальности кривой напряжения, а также на способы улучшения этих показателей.

При разборе материала данного раздела надо уяснить возможности регулирования режимов электрических систем, понять задачу оптимизации режима.

Как отмечалось выше, при изменении составляющих баланса мощностей в системе изменяются показатели качества электроэнергии. При этом нарушение баланса активных мощностей приводит к изменению прежде всего частоты. Поэтому регулирование частоты осуществляется за счет ликвидации небаланса активных мощностей в системе путем изменения обеих составляющих баланса. Однако следует иметь в виду, что в нормальных условиях при достаточной величине вращающегося резерва мощности для регулирования частоты привлекается только левая часть баланса - мощность генерации. Это осуществляется за счет регулирования скорости вращения турбин и генераторов с помощью соответствующих автоматических регуляторов. В особых условиях при отсутствии резерва мощности для регулирования частоты приходится привлекать правую часть баланса, уменьшая мощность нагрузок за счет отключения части потребителей.

Нарушение баланса реактивных мощностей приводит в большей степени к изменению напряжения. В частности, например, при появлении дефицита реактивной мощности в каком-либо районе увеличится передача по сети реактивной мощности из соседних районов от удаленных источников.

Это приведёт к увеличению падения напряжения по пути передачи, а следовательно, к снижению напряжения в рассматриваемом районе.

Для регулирования напряжения привлекаются все источники реактивной мощности: а) основные - это синхронные генераторы; б) дополнительные - это синхронные компенсаторы, батареи конденсаторов, статические тиристорные компенсаторы.

Возможно применение четырех способов регулирования напряжения: 1) за счет изменения напряжения на шинах генераторов путем регулирования их возбуждения; 2) за счет изменения коэффициентов трансформации трансфор-

маторов путем изменения количества витков одной из обмоток; 3) за счет изменения потоков реактивной мощности по сети путем компенсации реактивной мощности; 4) за счет изменения сопротивлений элементов сети, например, путем изменения количества параллельно включенных линий, трансформаторов.

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. В чем сущность балансов активных и реактивных мощностей в электрических системах?
2. Какими показателями характеризуется качество электрической энергии? Каковы требования к показателям качества?
3. Поясните связь балансов мощностей с качеством электрической энергии.
4. Каковы способы поддержания требуемых балансов мощностей в электрических системах?
5. Дайте сравнительную характеристику различных источников реактивной мощности.
6. Какова причина отклонения частоты от номинального значения?
7. В чем сущность первичного и вторичного регулирования частоты?
8. Каковы принципы регулирования частоты в сложных электрических системах?
9. Как влияет величина резерва мощности на станциях на регулирование частоты?
10. Каковы причины ухудшения показателей качества электроэнергии по напряжению?
11. Каковы способы и соответствующие им средства регулирования напряжения?
12. Поясните суть каждого из четырех способов регулирования напряжения.

13. Что такое оптимизация режимов электрических систем? Как она осуществляется?

2.6. *Оценивание состояния и идентификация в ЭЭС*

В этом разделе рассматриваются основы расчётов установившихся режимов при диспетчерском управлении. Необходимо обратить внимание на изучение следующих вопросов. Задачи обеспечения качества диспетчерской информации. Уравнения состояния электрической сети. Критерии статического оценивания состояния. Алгоритм статического оценивания состояния сети. Идентификация параметров схемы замещения линии. Идентификация параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора. Идентификация параметров трёхобмоточного трансформатора (автотрансформатора).

При изучении данного раздела рекомендуется ориентироваться на приведенные ниже *вопросы для самопроверки*:

1. Каковы источники информации для расчётов режимов?
2. Как используется избыточность измерений для повышения достоверности измерений параметров режима?
3. Вид критерия статического оценивания состояния ЭЭС.
4. Какова последовательность вычислений при статической оценке состояния сети?
5. Цель идентификации параметров схем замещения элементов сети.
6. Какие исходные данные необходимы для идентификации параметров схем замещения сети?

3. Контрольное задание

В соответствии с учебным планом каждый студент должен выполнить *контрольную работу, состоящую из трёх задач и трёх контрольных вопросов*. Исходные данные контрольной работы определяются по табл. 3.1. – 3.3 и одной из схем, приведённой на рис. 1 – 9. Схема сети является общей для всех задач контрольной работы.

Кроме решения трёх задач, студент должен ответить на *три контрольных вопроса*. Номера этих вопросов определяются двумя последними цифрами шифра зачетной книжки: предпоследняя цифра определяет номер вопроса из первой группы, последняя цифра определяет номер вопроса из второй группы, увеличенная на единицу последняя цифра определяет номер вопроса из третьей группы.

3.1. Варианты исходных данных для задач № 1 – № 3

Вариант задания состоит из 7 цифр (например, последних семи цифр Вашего мобильного телефона):

- первая цифра — номер схемы электрической сети (рис. 1 – 9);
- вторая — длины линий (табл. 3.1);
- третья — номера марок проводов для соответствующих линий (табл. 3.1), их погонные параметры приведены в табл. 3.2;
- четвертая — номера типов трансформаторов, установленных на подстанциях (табл. 3.1), их паспортные данные находятся в табл. 3.3;
- пятая — модуль базисного напряжения на шинах балансирующей электростанции ЭС1, $U_{\text{эс1}}$ (табл. 3.1);
- шестая — мощность генерации станции ЭС2, $P_{\text{эс2}}$, $Q_{\text{эс2}}$ (табл. 3.1);
- седьмая — данные о нагрузках на шинах подстанций P , $\cos \varphi$ (табл. 3.1).

Таблица 3.1. – Варианты исходных данных к задачам № 1 – № 3

Позиция цифры в номере варианта	Вид данных	Значение цифр в варианте									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Первая	Номер рисунка										
	Рис.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Вторая	Длина линий, км										
	Л 1	100	110	80	95	80	80	75	90	80	95
	Л 2	80	100	70	45	70	60	65	75	90	75
	Л 3	40	45	50	55	60	40	45	50	55	35
	Л 4	20	25	40	35	50	45	30	35	45	20
	Л 5	60	30	20	50	45	25	35	55	40	55
	Л 6	40	45	50	35	40	45	60	35	55	40
	Л 7	35	20	35	25	45	60	55	25	30	35
Третья	Номер марки провода линии (данные о параметрах в табл. 3.2)										
	Л 1	6	8	9	9	8	7	6	8	7	8
	Л 2	9	9	6	8	7	9	7	6	8	9
	Л 3, 4, 5	6	7	6	7	6	7	6	7	6	6
	Л 6	5	1	2	7	4	2	3	6	5	5
	Л 7	1	6	5	4	3	7	2	3	4	1
Четвёртая	Номер типа трансформатора ПС (данные о параметрах в табл. 3.3)										
	ПС А	22	22	23	21	20	23	22	20	23	22
	ПС Б	21	20	21	20	23	21	20	23	21	21
	ПС В	13	12	11	10	4	6	5	3	8	13
	ПС Г	14	14	15	14	16	14	15	16	17	14
	ПС Д	2	4	1	3	5	3	4	6	7	2
Пятая	Напряжение на шинах балансирующей станции ЭС 1										
	$U_{\text{ЭС1}}$, кВ	242	241	240	239	238	237	236	235	234	241
Шестая	Генерация станции ЭС 2										
	$P_{\text{ЭС2}}$, МВт	40	35	25	20	35	25	40	15	25	40
	$Q_{\text{ЭС2}}$, Мвар	20	15	20	25	25	10	15	5	10	15
Седьмая	Максимальная нагрузка на подстанции и коэффициент мощности										
	P_A , МВт	70	65	90	60	55	80	75	50	85	55
	$\cos \varphi_A$	0,90	0,85	0,95	0,89	0,85	0,90	0,89	0,85	0,65	0,80
	P_B , МВт	45	35	30	40	60	65	50	75	55	40
	$\cos \varphi_B$	0,89	0,85	0,75	0,95	0,95	0,75	0,75	0,89	0,75	0,85
	P_{B1} , МВт	50	18	22	20	15	15	20	10	18	45
	$\cos \varphi_{B1}$	0,75	0,79	0,65	0,75	0,75	0,65	0,75	0,79	0,65	0,70
	P_{B2} , МВт	30	25	15	10	20	45	25	10	6	28
	$\cos \varphi_{B2}$	0,70	0,85	0,69	0,75	0,77	0,78	0,75	0,65	0,65	0,75
	P_Γ , МВт	20	35	40	25	70	35	45	75	90	18
	$\cos \varphi_\Gamma$	0,65	0,80	0,79	0,78	0,90	0,65	0,85	0,75	0,85	0,70
	P_D , МВт	40	60	14	30	55	35	40	65	70	35
	$\cos \varphi_D$	0,75	0,90	0,89	0,85	0,95	0,75	0,79	0,88	0,95	0,70

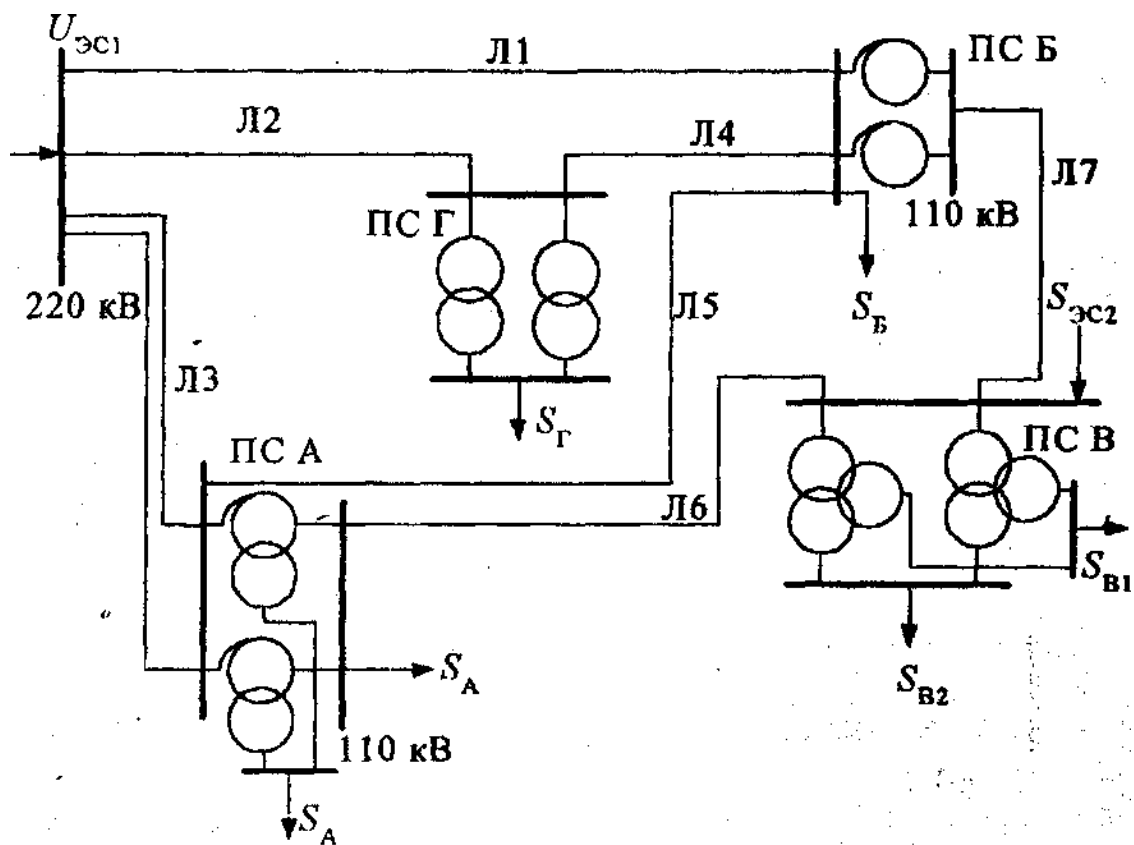


Рисунок 1

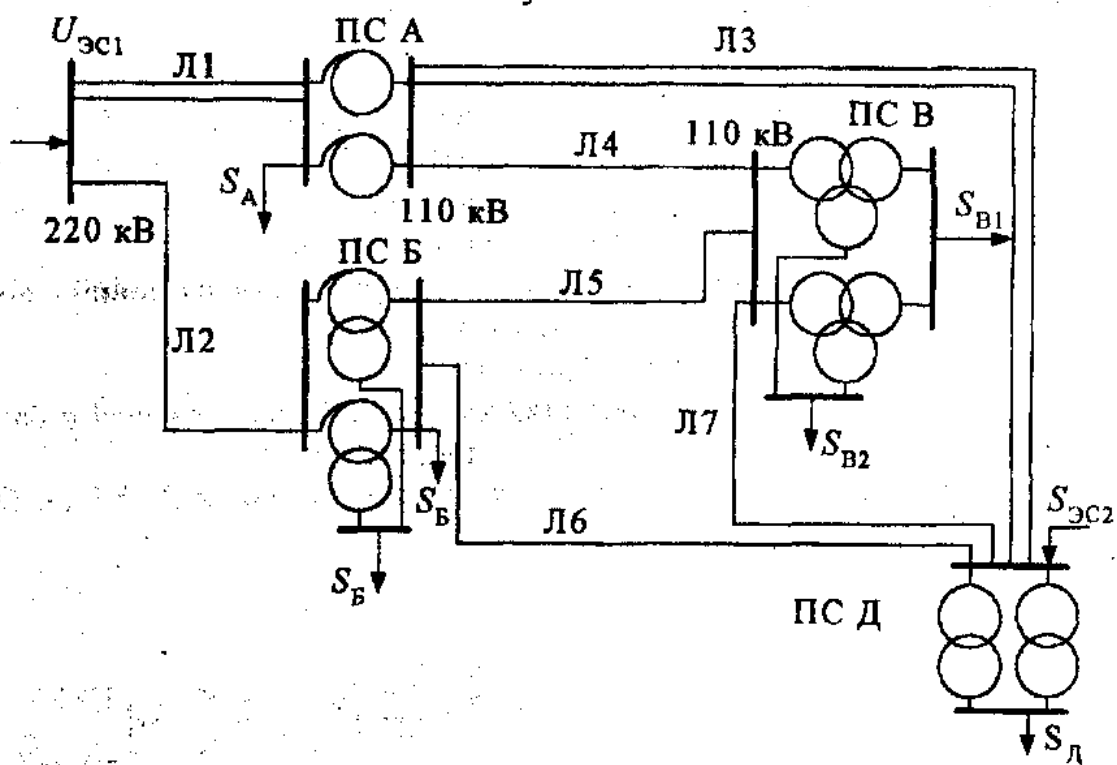


Рисунок 2

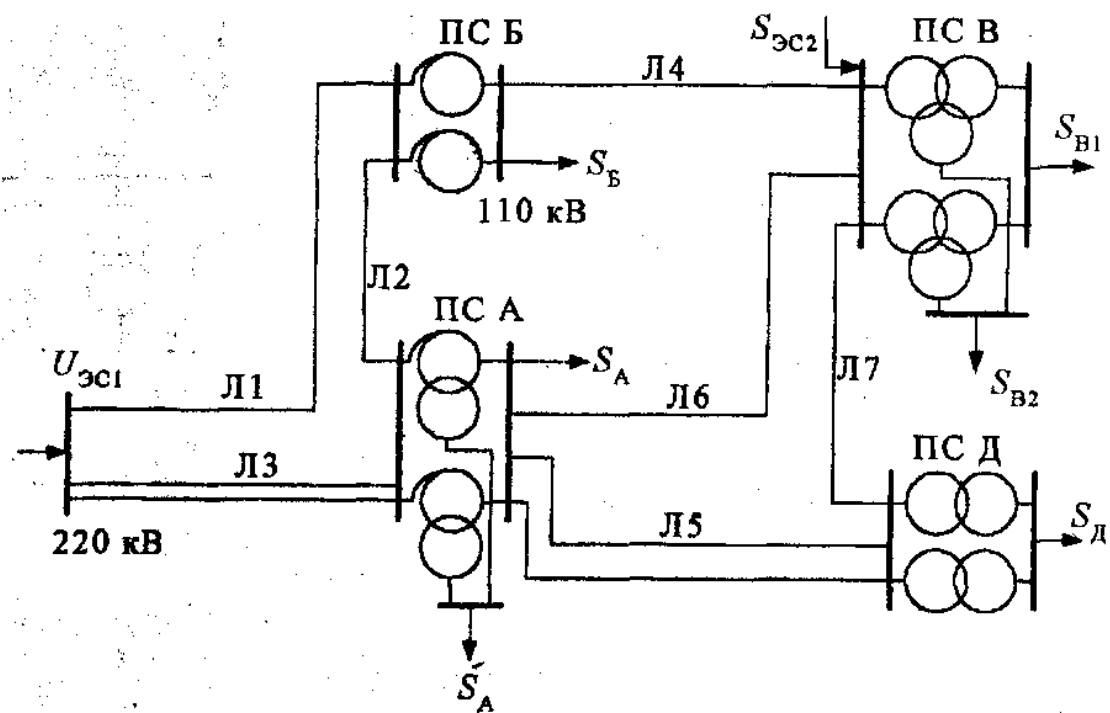


Рисунок 3

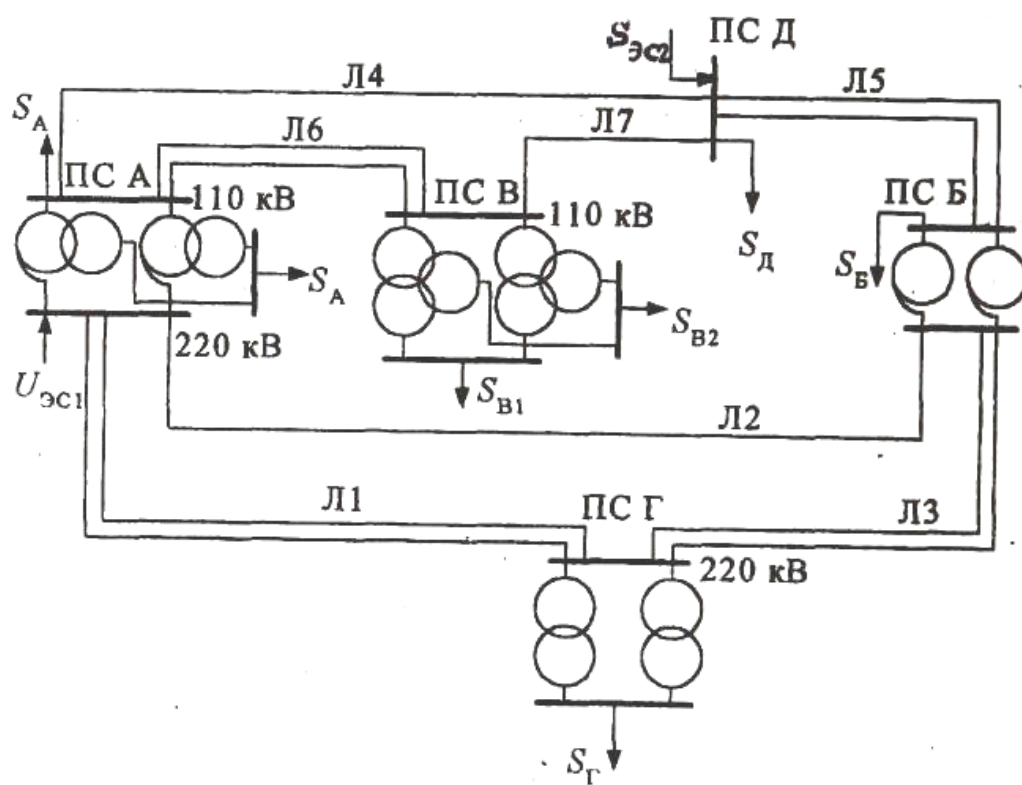


Рисунок 4

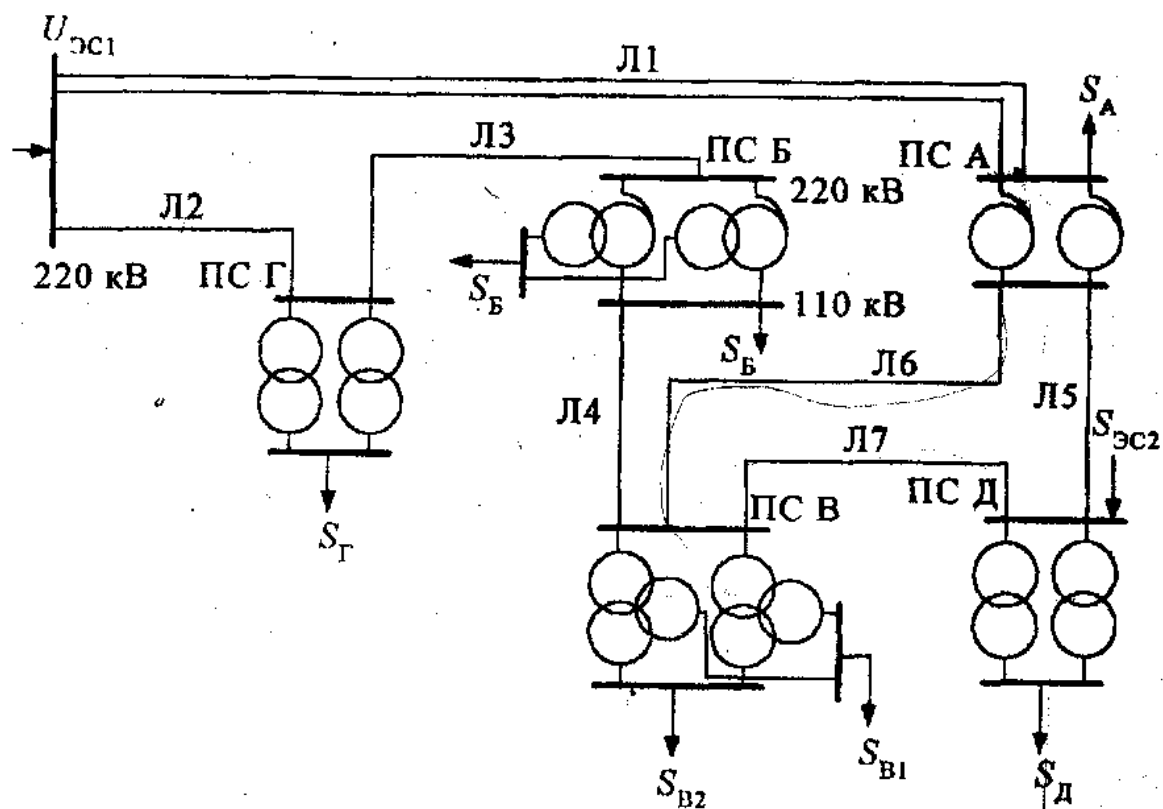


Рисунок 5

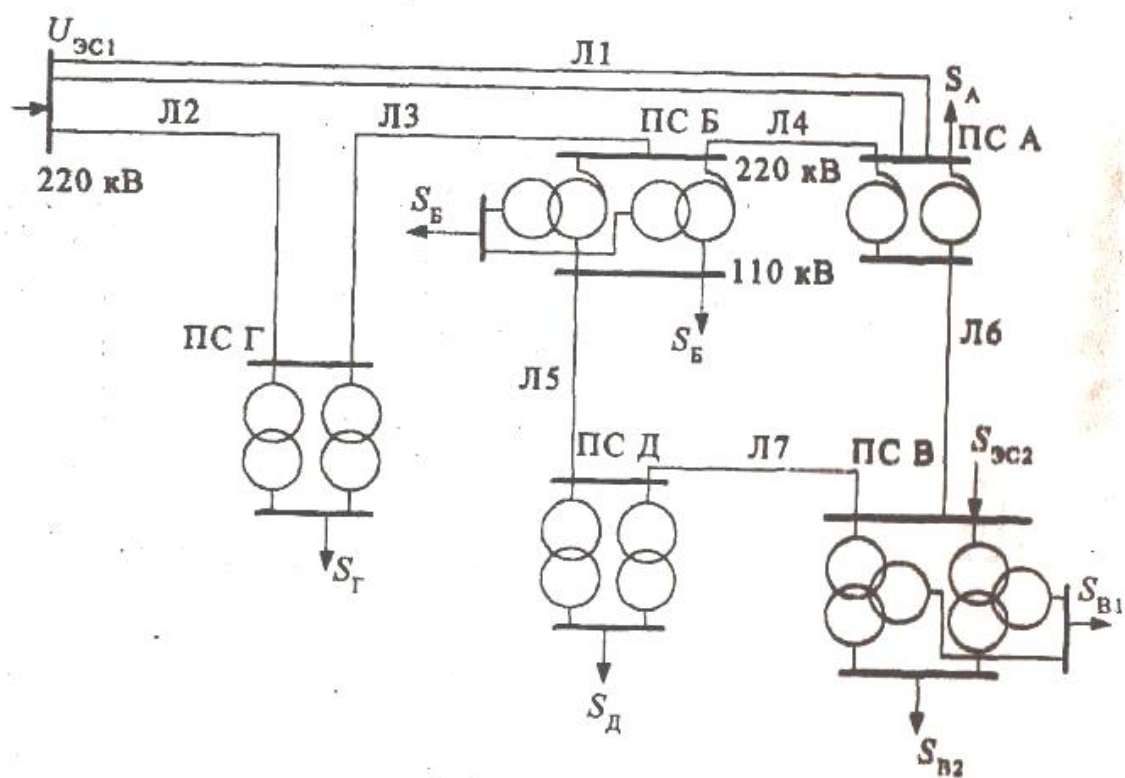


Рисунок 6

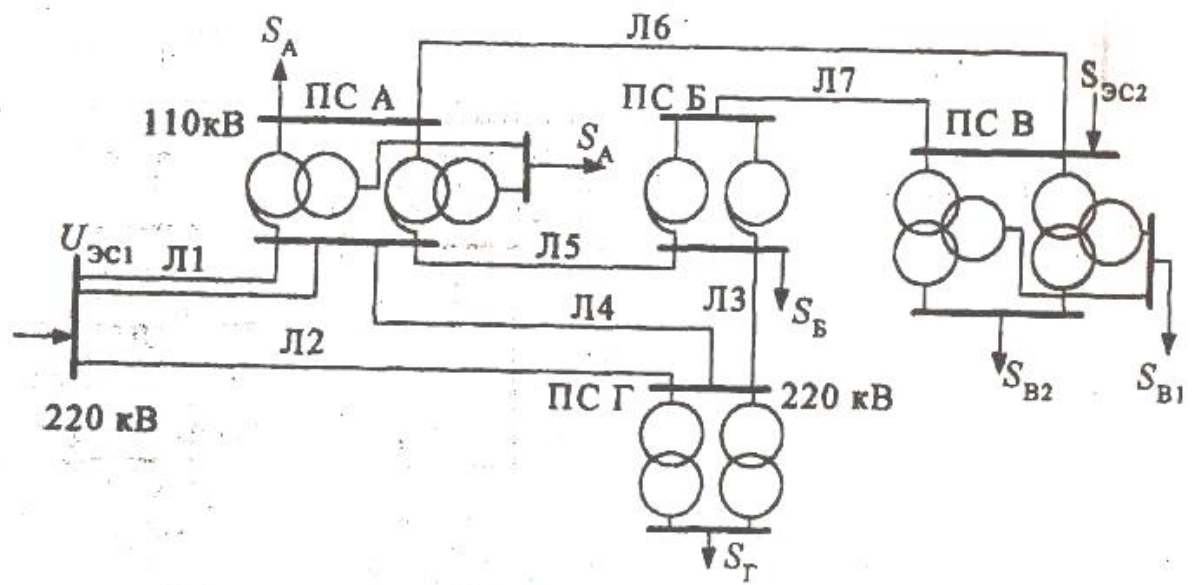


Рисунок 7

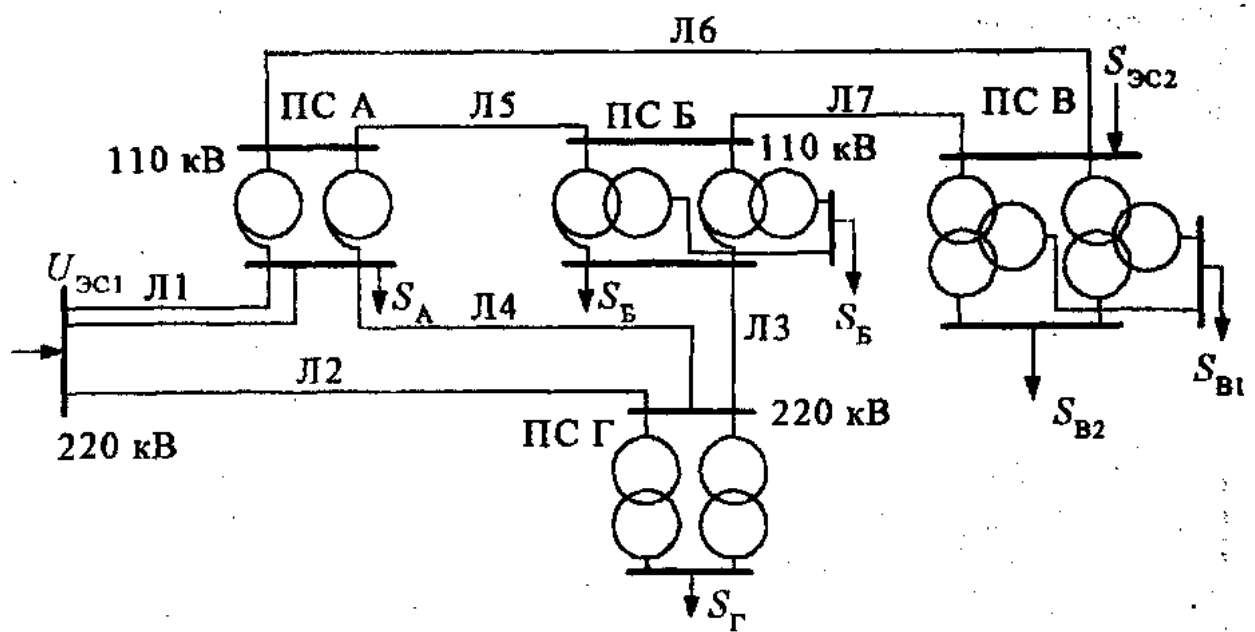


Рисунок 8

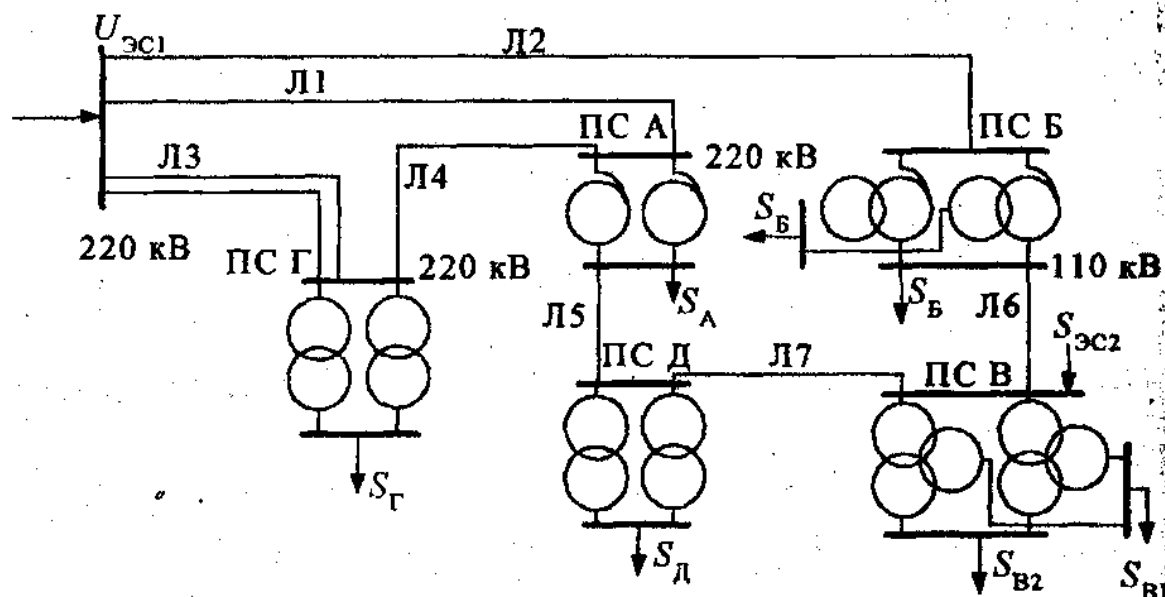


Рисунок 9

Например, вариант контрольной работы определён следующими цифрами: **2589173**.

Первая цифра – 2. Номер рисунка 2;

вторая цифра – 5. Длины линий: Л1 – 80 км, Л2 – 70 км, Л3 – 60 км, Л4 – 50 км, Л5 – 45 км, Л6 – 40 км, Л7 – 45 км;

третья цифра – 8. Номер марки провода линии в табл. 3.2: Л1 – № 8 (АС-400 из табл. 3.2), Л2 – № 6 (АС-240), Л3 – № 7 (АС-300), Л4 – № 7 (АС-300), Л5 – № 7 (АС-300), Л6 – № 6 (АС-240), Л7 – № 3 (АС-120);

четвёртая цифра – 9. Номер марки трансформатора ПС в табл. 3.3: ПС А – № 23 (АТДЦТН-250000/220/110 из табл. 3.3), ПС Б – № 21 (АТДЦТН-125000/220/110), ПС В – № 8 (ТДТН-10000/110), ПС Г – № 17 (ТРДЦН-160000/220), ПС Д – № 7 (ТРДЦН-125000/110);

пятая цифра – 1. Напряжение на шинах балансирующей станции: $U_{\text{ЭС1}} = 242$ кВ

шестая цифра – 7. Генерация станции ЭС 2: $P_{ЭС2}=40$ МВт, $Q_{ЭС2}=15$ Мвар;
седьмая цифра – 3. Максимальная нагрузка на подстанции и коэффициент мощности: $P_A=90$ МВт, $\cos\varphi_A=0,95$, $P_B=30$ МВт, $\cos\varphi_B=0,75$, $P_{B1}=22$ МВт, $\cos\varphi_{B1}=0,65$, $P_{B2}=15$ МВт, $\cos\varphi_{B2}=0,69$, $P_\Gamma=40$ МВт, $\cos\varphi_\Gamma=0,79$, $P_D=14$ МВт, $\cos\varphi_D=0,89$.

При необходимости (если это указано на схеме сети) разделите нагрузку ПС-Б на нагрузку шин низшего и среднего(высшего) напряжений пропорционально мощностям соответствующих обмоток автотрансформатора (см. примечание к табл. 3.3).

Таблица 3.2. – Параметры проводов линий

Номер марки провода из табл. 3.1	Марка провода	Погонные параметры					Длительно допустимый ток, А
		$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	110 кВ		220 кВ		
			$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$b_0, \frac{\text{мкСм}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$b_0, \frac{\text{мкСм}}{\text{км}}$	
1	АС-70	0,428	0,444	2,55			265
2	АС-95	0,306	0,434	2,61			330
3	АС-120	0,249	0,427	2,66			380
4	АС-150	0,198	0,420	2,70			445
5	АС-185	0,162	0,413	2,75			510
6	АС-240	0,120	0,405	2,81	0,435	2,60	610
7	АС-300	0,098	0,309	2,85	0,429	2,64	690
8	АС-400	0,075			0,420	2,70	825
9	АС-500	0,060			0,413	2,74	945

Таблица 3.3. – Паспортные данные трансформаторов

Номер типа из табл. 3.1	Тип трансформатора	$S_{\text{НОМ}}$, МВ·А	$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, кВ			Пределы регу- лирования РПН на стороне ВН(СН)	U_K , %			ΔP_K , кВт	ΔP_X , кВт	I_X , %
			В	С	Н		В-С	В-Н	С-Н			
1	ТДН-10000/110	10	115	-	11	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	60	14	0,7
2	ТДН-16000/110	16	115	-	6,6	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	85	19	0,7
3	ТРДН-25000/110	25	115	-	10,5/10,5	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	120	27	0,7
4	ТРДН-40000/110	40	115	-	6,3/6,3	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	172	36	0,65
5	ТРДЦН-63000/110	63	115	-	6,3/6,3	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	260	59	0,6
6	ТРДЦН-80000/110	80	115	-	6,3/6,3	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	310	70	0,6
7	ТРДЦН-125000/110	125	115	-	10,5/10,5	$\pm 9 \times 1,78\%$	-	10,5	-	400	120	0,55
8	ТДТН-10000/110	10	115	38,5	6,6"	$\pm 9 \times 1,78\%$	10,5	17	6	76	17	1,1
9	ТДТН -16000/110	16	115	38,5	11	$\pm 9 \times 1,78\%$	10,5	17	6	100	23	1,0
10	ТДТН-25000/110	25	115	38,5	6,6	$\pm 9 \times 1,78\%$	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7
11	ТДТН-40000/110	40	115	38,5	6,6	$\pm 9 \times 1,78\%$	10,5	17	6	200	43	0,6
12	ТДТН-63000/110	63	115	38,5	11	$\pm 9 \times 1,78\%$	10,5	17	6,5	290	56	0,7
13	ТДТН -80000/110	80	115	38,5	11	$\pm 9 \times 1,78\%$	11	18,5	7	390	82	0,6
14	ТРДН-40000/220	40	230	-	11/11	$\pm 8 \times 1,5\%$	-	12	---	170	50	0,9
15	ТРДЦН-63000/220	63	230	-	6,6/6,6	$\pm 8 \times 1,5\%$	-	12	-	300	82	0,8
16	ТРДЦН-100000/220	100	230	-	11/11	$\pm 8 \times 1,5\%$	-	12	-	360	115	0,7
17	ТРДЦН-160000/220	160	230	-	11/11	$\pm 8 \times 1,5\%$	-	12	-	525	167	0,6
18	ТДТН-25000/220	25	230	38,5	6,6	$\pm 12 \times 1\%$	12,5	20	6,5	135	50	1,2
19	ТДТН-40000/220	40	230	38,5	6,6	$\pm 12 \times 1\%$	12,5	22	9,5	220	55	1,1
20	АТДЦТН-63000/220/110	63	230	121	11	$\pm 6 \times 2\%$	11	35,7	21,9	215	45	0,5
21	АТДЦТН-125000/220/110	125	230	121	6,6	$\pm 6 \times 2\%$	11	45	28	290	85	0,5
22	АТДЦТН-200000/220/110	200	230	121	11	$\pm 6 \times 2\%$	11	32	20	430	125	0,5
23	АТДЦН-250000/220/110	250	230	121	10,5	$\pm 6 \times 2\%$	11,5	33,4	20,8	520	145	0,5

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Для автотрансформаторов соотношение мощностей обмоток ВН/СН/НН составляет 100/100/50%.

2. Регулирование напряжения для двухобмоточного трансформатора осуществляется на стороне ВН, автотрансформатора - на стороне СН, трехобмоточного - на стороне ВН (РПН) и СН (ПБВ $\pm 2 \times 2,5\%$).

3.2. Задачи для самостоятельного решения

Задача № 1

Составить полную схему замещения электрической сети, определить её параметры.

Указания по решению.

Изобразите схему Вашего варианта (например, рис. 10) и нанесите на неё исходные данные (длины линий и марки проводов, типы трансформаторов на подстанциях, мощности нагрузок подстанций и электростанции ЭС 2, напряжение на шинах балансирующей станции).

В качестве примера рассматривается схема электрической сети (рис. 10), полная схема замещения которой приведена на рис. 11. Такая схема замещения составляется путём объединения схем замещения отдельных элементов электрической сети в соответствии с её схемой.

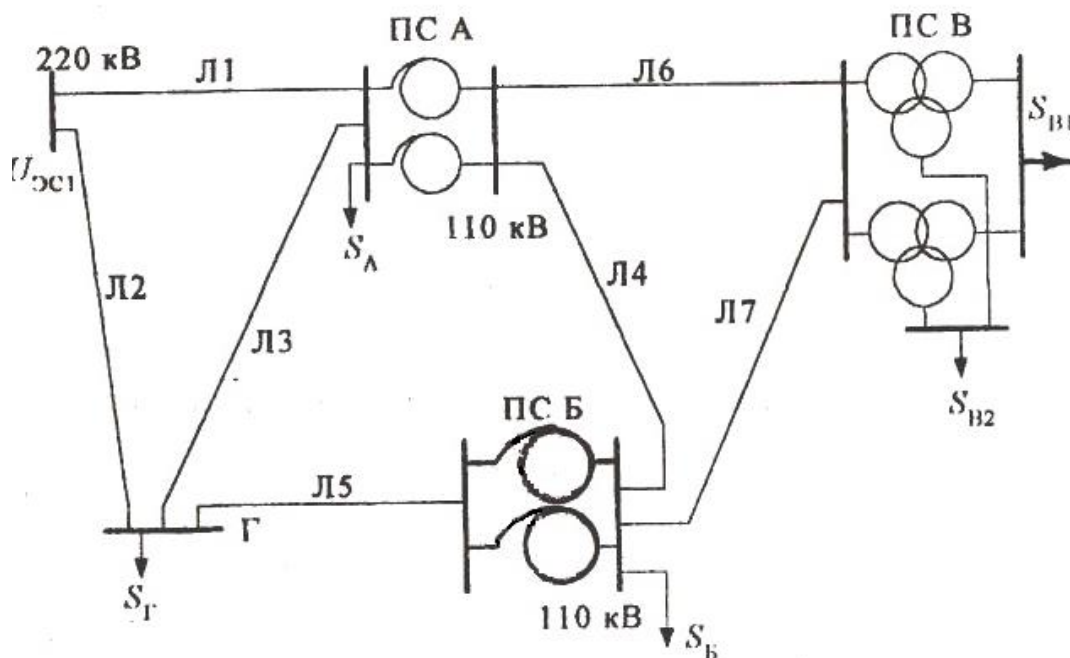


Рис. 10

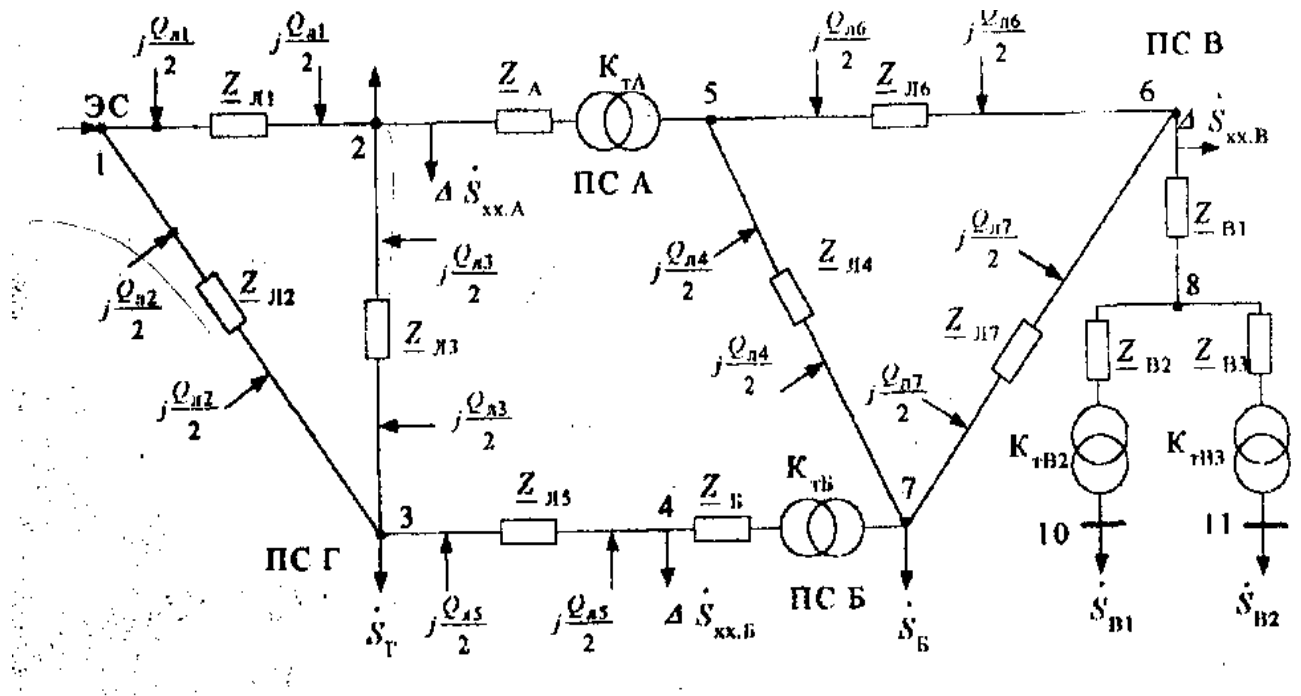


Рис.11

Схемы замещения отдельных элементов и формулы для расчёта их параметров приведены ниже. На рис. 12 - 19: часть а – условное изображение элемента электрической сети; б, в – виды схем замещения этого элемента (б – точная, в – упрощенная).

Воздушная линия электропередачи

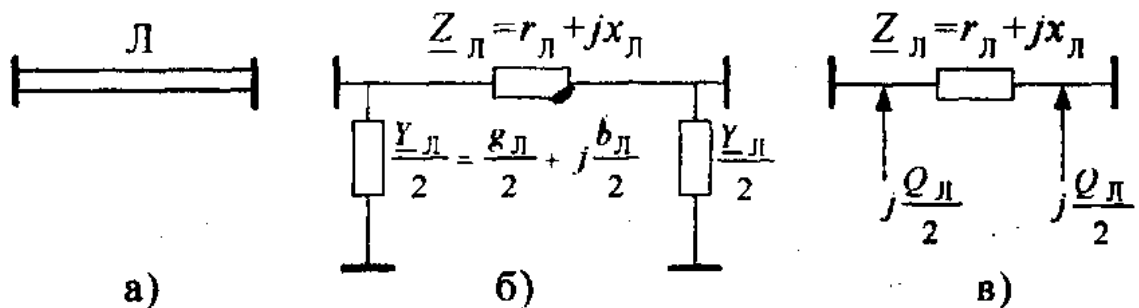


Рис.12

Параметры линии $r_{Л}$, $x_{Л}$, Ом, $g_{Л}$, $b_{Л}$, мкСм, $Q_{Л}$, Мвар, состоящей из n цепей, определяются по формулам:

$$r_{\text{л}} = r_0 \frac{L}{n}; \quad x_{\text{л}} = x_0 \frac{L}{n}; \quad \underline{Z}_{\text{л}} = r_{\text{л}} + jx_{\text{л}};$$

$$b_{\text{л}} = b_0 Ln; \quad g_{\text{л}} = g_0 Ln = \frac{\Delta P_{\text{к}} 10^3}{U_{\text{ном}}^2} Ln; \quad \underline{Y}_{\text{л}} = g_{\text{л}} + jb_{\text{л}};$$

$$Q_{\text{л}} = b_{\text{л}} U_{\text{ном}}^2 10^{-6},$$

где L – длина линии, км;

r_0, x_0 – погонные активное и реактивное сопротивления линии (табл. 3.2), Ом/км;

b_0 – погонная ёмкостная проводимость линии (табл. 3.2), мкСм/км;

$\Delta P_{\text{к}}$ – удельные потери мощности на корону, кВт/км [4, 5];

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии, кВ.

Для линий напряжением 220 кВ и ниже активная проводимость линии $g_{\text{л}}$ не учитывается.

Двухобмоточные трансформаторы

Для подстанции, на которой установлены n двухобмоточных трансформаторов, применяются схемы замещения, приведенные на рисунках 13, б, в.

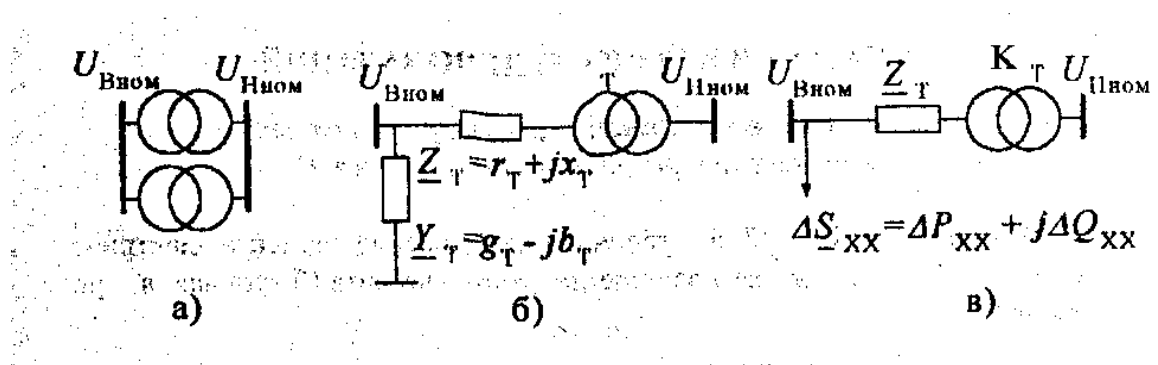


Рис.13

Параметры $r_{\text{т}}, x_{\text{т}}$, Ом, $Q_{\text{хх}}$, Мвар, $g_{\text{т}}, b_{\text{т}}$, мкСм определяются по формулам:

$$r_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} U_{\text{В ном}}^2}{n S_{\text{ном}}^2} 10^{-3}; \quad Z_{\text{т}} = |\underline{Z}_{\text{т}}| = \frac{u_{\text{к}} U_{\text{В ном}}^2}{n S_{\text{ном}}} 10^{-2}; \quad x_{\text{т}} = \sqrt{Z_{\text{т}}^2 - r_{\text{т}}^2};$$

$$g_T = \frac{\Delta P_X n}{U_{B \text{ ном}}^2} 10^3; \quad Y_T = |\underline{Y}_T| = \frac{I_X n S_{\text{ном}}}{U_{B \text{ ном}}^2} 10^4; \quad b_T = \sqrt{Y_T^2 - g_T^2};$$

$$\underline{Y}_T = g_T - jb_T; \quad \underline{Z}_T = r_T + jx_T;$$

$$\Delta P_{XX} = n \Delta P_X 10^{-3}; \quad \Delta S_{XX} = I_X n S_{\text{ном}} 10^{-2}; \quad \Delta Q_{XX} = \sqrt{\Delta S_{XX}^2 - \Delta P_{XX}^2}; \quad k_T = \frac{U_{H \text{ ном}}}{U_{B \text{ ном}}}.$$

где $S_{\text{ном}}$, $U_{B \text{ ном}}$ – номинальные мощность (МВ·А) и напряжение стороны ВН (кВ) трансформатора (табл. 3.3);

n – число параллельно включённых трансформаторов;

ΔP_K – потери мощности короткого замыкания (КЗ), кВт (табл. 3.3);

u_K – напряжение КЗ трансформатора (табл. 3.3), %;

ΔP_X – потери мощности холостого хода (XX), кВт (табл. 3.3);

I_X – ток XX, % (табл. 3.3).

Трёхобмоточные трансформаторы

Схемы замещения подстанции, на которой установлены n трёхобмоточных трансформаторов, приведены на рис. 14, б, в. Мощность обмотки В $S_{BН} = S_{\text{ном}}$. Существуют трёхобмоточные трансформаторы с различными соотношениями номинальных мощностей обмоток $S_{BН} / S_{CH} / S_{HH}$: 100/100/100 %, 100/100/66,7 %, 100/66,7/66,7 %.

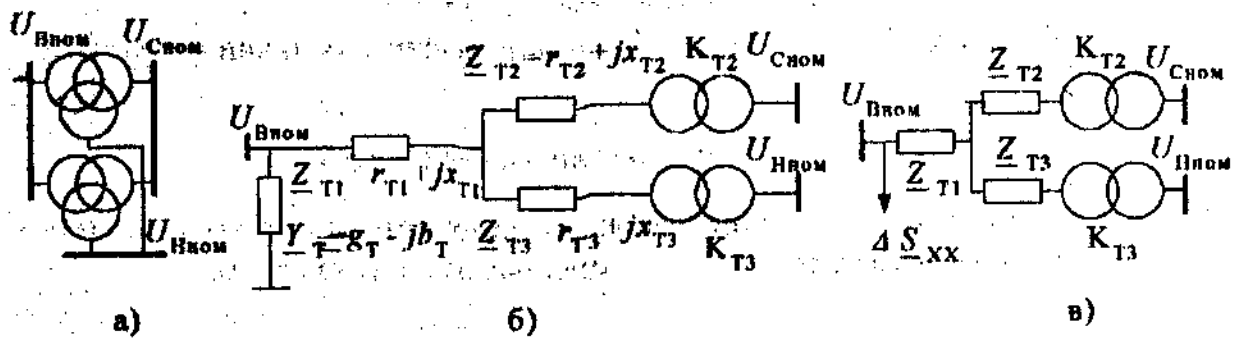


Рис.14

Активные сопротивления обмоток определяются по формулам:

$$r_{T1} = R_B = \frac{R_{B-C}}{1 + \alpha + (1 - \alpha)^2 / \beta}; \quad r_{T2} = R_C = \frac{R_B}{\alpha}; \quad r_{T3} = R_H = \frac{R_B}{\beta},$$

где $R_{B-C} = \frac{\Delta P_K U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}^2} 10^{-3}; \quad \alpha = \frac{S_{CH}}{S_{\text{ном}}}; \quad \beta = \frac{S_{HH}}{S_{\text{ном}}}.$

Реактивные сопротивления обмоток определяются из равенств:

$$Z_{T1} = \frac{(u_{KB-C} + u_{KB-H} - u_{KC-H})}{2} \frac{U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}} 10^{-2}; \quad x_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - r_{T1}^2};$$

$$Z_{T2} = \frac{(u_{KB-C} + u_{KC-H} - u_{KB-H})}{2} \frac{U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}} 10^{-2}; \quad x_{T2} = \sqrt{Z_{T2}^2 - r_{T2}^2};$$

$$Z_{T3} = \frac{(u_{KC-H} + u_{KB-H} - u_{KB-C})}{2} \frac{U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}} 10^{-2}; \quad x_{T3} = \sqrt{Z_{T3}^2 - r_{T3}^2}.$$

Если расчётное значение Z_{T2} или Z_{T3} окажется отрицательным, то x_{T2} (x_{T3}) следует приравнять к нулю. Коэффициент трансформации в ветви обмотки СН

$$k_{T2} = \frac{U_{C \text{ ном}}}{U_{B \text{ ном}}}$$

в ветви обмотки НН $k_{T3} = \frac{U_{H \text{ ном}}}{U_{B \text{ ном}}}.$

Потери мощности в стали и проводимости трёхобмоточных трансформаторов определяется так же, как для двухобмоточных трансформаторов.

Автотрансформаторы

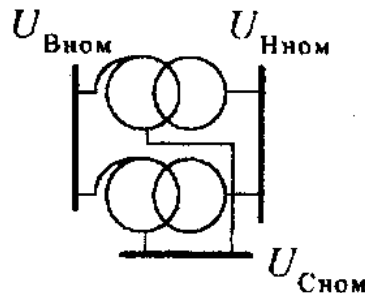


Рис.15

Схемы замещения (рис. 14, б, в) и формулы для расчета параметров трёхобмоточных трансформаторов справедливы и для автотрансформаторов. Соотношение мощностей обмоток низшего и высшего напряжения равно 0,5. Схемы замещения автотрансформаторов, у которых обмотка низшего напряжения не используется, такие же, как у двухобмоточных трансформаторов (рис. 13, б, в). При расчёте сопротивлений обмоток автотрансформаторов в этом случае в формулах, приведённых для двухобмоточных трансформаторов, принимается $\Delta P_k = \Delta P_{k\text{ В-С}}$;

$$u_k = u_{k\text{ В-С}}.$$

Трансформаторы с расщеплённой обмоткой

Такие трансформаторы имеют, как правило, две одинаковых обмотки низшего напряжения и могут работать в 2 режимах:

- обе обмотки работают на одну нагрузку;
- каждая обмотка работает на свою нагрузку.

В первом случае трансформаторы с расщеплёнными обмотками имеют схемы замещения, как у двухобмоточных трансформаторов, и расчет их параметров выполняется по формулам, приведённым для двухобмоточных трансформаторов.

Для второго случая схемы замещения трансформатора с расщеплённой обмоткой изображены на рисунках 16, б, в.

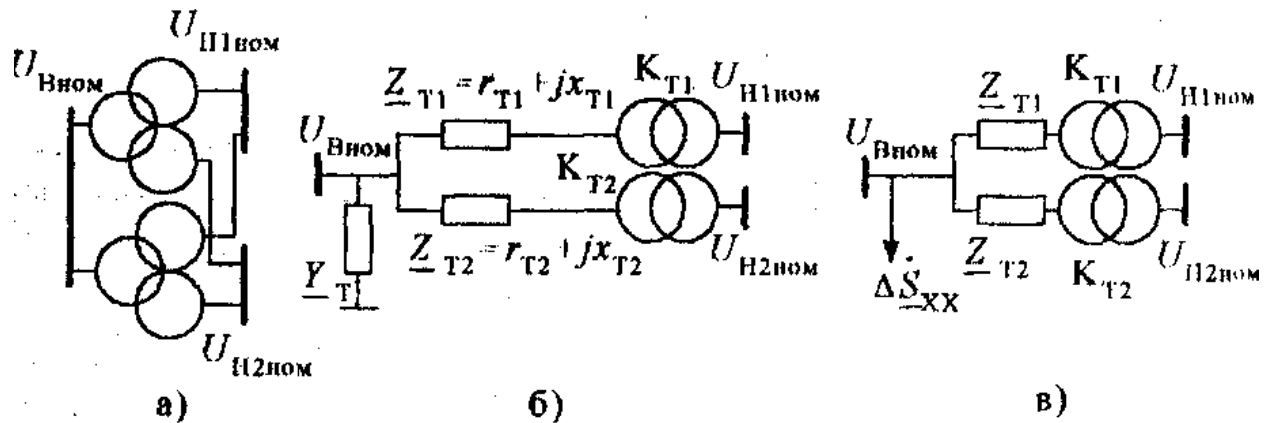


Рис. 16

Сопротивления обмоток, Ом

$$r_{T1} = r_{T2} = 2 \frac{\Delta P_K U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}^2} 10^{-3}; \quad Z_{T1} = Z_{T2} = 2 \frac{u_K U_{B \text{ ном}}^2}{n S_{\text{ном}}} 10^{-2}; \quad x_{T1} = x_{T2} = \sqrt{Z_{T1}^2 - r_{T1}^2}.$$

Коэффициенты трансформации по основным выводам обмоток

$$k_{T1} = \frac{U_{\text{П1 ном}}}{U_{B \text{ ном}}}; \quad k_{T2} = \frac{U_{\text{П2 ном}}}{U_{B \text{ ном}}}.$$

Потери холостого хода и проводимости определяются, как для двухобмоточного трансформатора.

Синхронный компенсатор

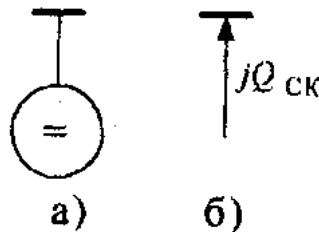


Рис. 17

На рис. 17 $Q_{СК}$ - вырабатываемая реактивная мощность СК.

Батарея статических конденсаторов

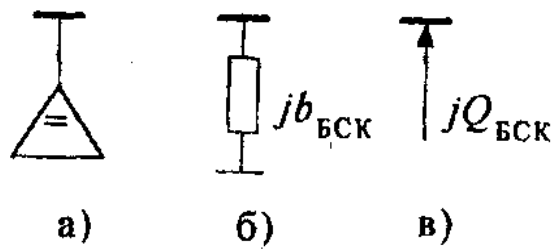


Рис. 18

На рис.18 $b_{\text{БСК}} = Q_{\text{БСК}} / U_{\text{ном}}^2$.

Потери активной мощности в СК и БСК при расчетах не учитываются.

Нагрузка

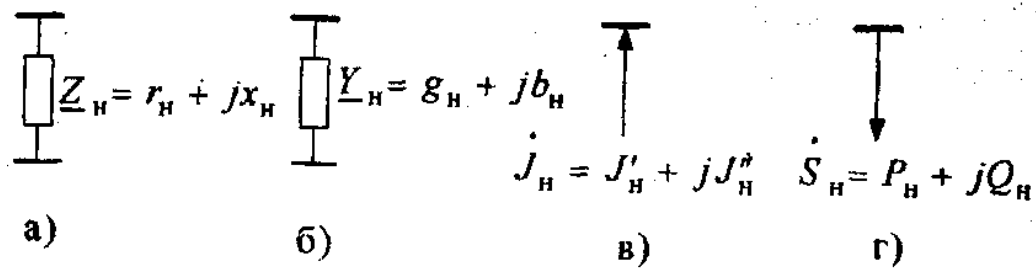


Рис. 19

Результаты расчетов параметров элементов электрических сетей рекомендуется свести в табл. 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4. – Параметры схем замещения линий

Наименование линий	$r_{\text{л}}, \text{ Ом}$	$x_{\text{л}}, \text{ Ом}$	$b_{\text{л}}, \text{ мкСм}$	$Q_{\text{л}}, \text{ Мвар}$
Л-1				

Таблица 3.5. – Параметры схем замещения трансформаторов

Наименование ПС	$\Delta P_{xx} + jQ_{xx}$ МВ·А	$g_T - jb_T$ мкСм	$r_{T1} + jx_{T1}$ Ом	k_{T1}	$r_{T2} + jx_{T2}$ Ом	k_{T2}	$r_{T3} + jx_{T3}$ Ом	k_{T3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС А								

Примечание: 1. Для двухобмоточных трансформаторов не заполняются колонки 6, 7, 8, 9.
В колонке 4 указывается сопротивление двухобмоточного трансформатора.
1. Для ветви обмотки высшего напряжения трёхобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) $k_{T1}=1$.

Расчётную схему электрической сети получим из схемы, приведённой на рис. 11, путем определения расчётных нагрузок и объединения последовательных элементов схемы. Расчётная схема рассматриваемой сети представлена на рис. 20.

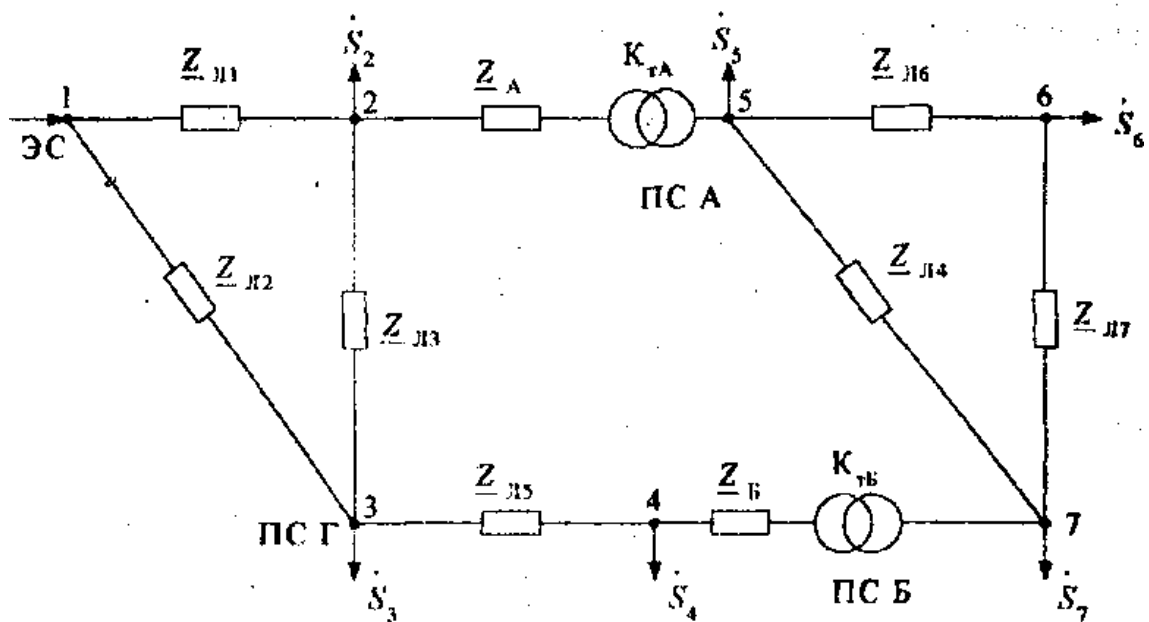


Рис. 20

Расчётные нагрузки узлов определяются как алгебраические суммы заданных нагрузок $\underline{S}_A, \underline{S}_B, \underline{S}_B, \underline{S}_Г$, потерь мощности в трансформаторах ПС и заряд-

ных мощностей линий, присоединённых к соответствующим узлам. Например, расчетная нагрузка для ПС В равна

$$\underline{S}_6 = \underline{S}_{B1} + \frac{P_{B1}^2 + Q_{B1}^2}{U_{\text{ном}}^2} \underline{Z}_{B2} + \underline{S}_{B2} + \frac{P_{B2}^2 + Q_{B2}^2}{U_{\text{ном}}^2} \underline{Z}_{B3} + \\ \frac{(P_{B1} + P_{B2})^2 + (Q_{B1} + Q_{B2})^2}{U_{\text{ном}}^2} \underline{Z}_{B1} + \Delta \underline{S}_{\text{xx B}} - j \frac{Q_{\text{л 6}}}{2} - j \frac{Q_{\text{л 7}}}{2},$$

для ПС Г

$$\underline{S}_3 = \underline{S}_\Gamma - j \frac{Q_{\text{л 2}}}{2} - j \frac{Q_{\text{л 3}}}{2} - j \frac{Q_{\text{л 5}}}{2}.$$

Данные о параметрах расчётной схемы электрической сети целесообразно свести в табл. 3.6.

Таблица 3.6. - Параметры расчётной схемы сети (рис. 20)

Узлы	Расчетные нагрузки $P+jQ$, МВ·А	Ветви $i - j$	Сопротивления $r + jx$, Ом
2		1-2	
3		1-3	
7		7-6	
...		

Задача № 2

Определение параметров режима разомкнутой электрической сети.

Указания по решению.

Из схемы сети Вашего варианта исключите несколько линий, так чтобы получилась схема сети без контуров, но ко всем подстанциям сохранился путь от электростанции ЭС 1.

Цель расчёта состоит в определении мощностей в ветвях и напряжений в узлах схемы. Расчёт режима выполняется итерационным методом. Каждая итерация состоит из 2 этапов.

Первый этап определение мощностей в ветвях. Расчёт ведётся от наиболее удалённых точек схемы к балансирующему узлу. Мощность в начале ветви

$$\underline{S}_{\text{нач}} = \underline{S}_{\text{кон}} + \Delta \underline{S}_Z,$$

где $\underline{S}_{\text{кон}} = P_{\text{кон}} + jQ_{\text{кон}}$ – мощность в конце ветви;

$\Delta \underline{S}_Z$ – потери мощности в сопротивлении ветви $\underline{Z} = r + jx$.

$$\Delta \underline{S}_Z = \frac{P_{\text{кон}}^2 + Q_{\text{кон}}^2}{U_{\text{кон}}^2} (r + jx).$$

Здесь $U_{\text{кон}}$ – модуль напряжения в конце ветви, рассчитанный на предыдущем шаге (итерации); на 1-м шаге $U_{\text{кон}} = U_{\text{ном}}$.

Второй этап - определение напряжения в узлах. Расчёт ведётся от балансирующего узла. При этом напряжение в конце ветви

$$\dot{U}_{\text{кон}} = \dot{U}_{\text{нач}} - \dot{U}_Z,$$

где $\dot{U}_{\text{нач}}$, – напряжение в начале ветви;

\dot{U}_Z – вектор падения напряжения на сопротивлении ветви \underline{Z} , равный геометрической сумме продольной и поперечной составляющих падения напряжения.

$$\dot{U}_Z = \Delta U_Z + j\delta U_Z = \frac{P_{\text{нач}} r + Q_{\text{нач}} x}{|\dot{U}_{\text{нач}}|} + j \frac{P_{\text{нач}} x - Q_{\text{нач}} r}{|\dot{U}_{\text{нач}}|}.$$

Модуль напряжения в конце ветви

$$U_{\text{кон}} = |\dot{U}_{\text{кон}}| = \sqrt{(U_{\text{нач}} - \Delta U_Z)^2 + (\delta U_Z)^2}.$$

Расчёт ведётся до тех пор, пока соответствующие мощности и напряжения на k и $(k+1)$ шаге будут отличаться друг от друга на величину, меньшую заданной точности расчёта.

В качестве примера рассмотрим разомкнутую сеть, полученную исключением линии Л2, Л4 и Л7 из исходной сети (см. рис. 10). Для разомкнутой сети составим схему замещения, найдём расчётные нагрузки узлов и расставим на ней точки (рис. 21). Точки расставляем вокруг сопротивлений элементов сети \underline{Z} .

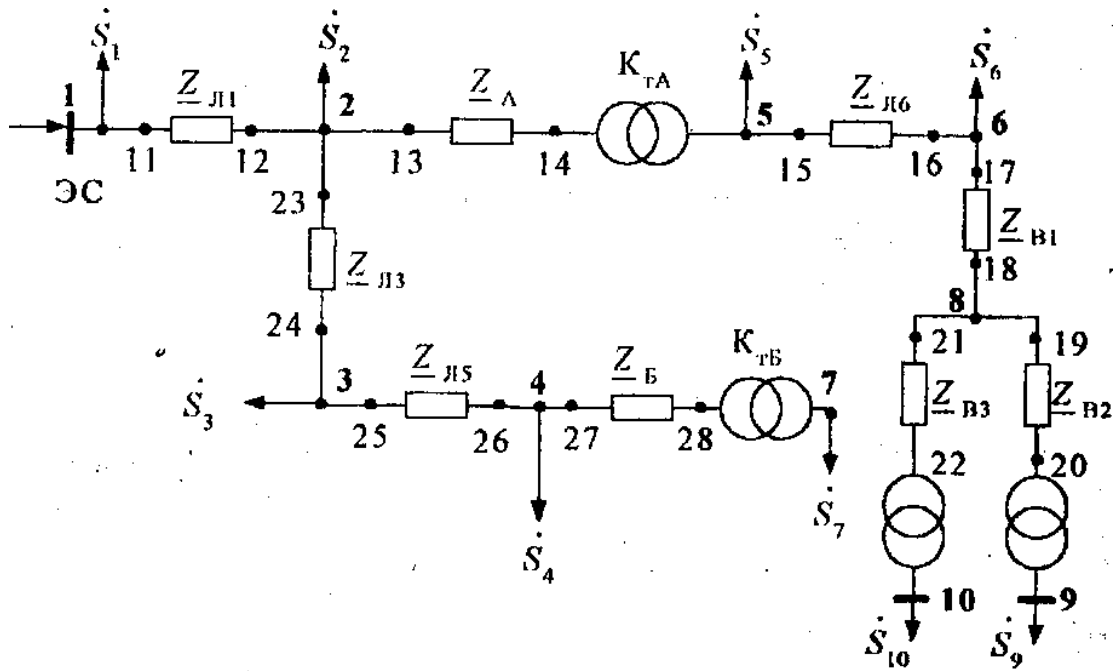


Рис. 21

Расчёт приведен только для одного шага. Расчётные нагрузки в узлах схемы (рис. 21) $\underline{S}_1, \dots, \underline{S}_{10}$ получены путем алгебраического сложения в общем случае нагрузок ПС, зарядных мощностей линий и потерь мощности холостого хода трансформаторов:

$$\underline{S}_1 = -j \frac{Q_{Л1}}{2};$$

$$\underline{S}_2 = \underline{S}_A + \Delta \underline{S}_{xx A} - j \frac{Q_{Л1}}{2} - j \frac{Q_{Л3}}{2};$$

$$\underline{S}_3 = \underline{S}_Г - j \frac{Q_{Л5}}{2} - j \frac{Q_{Л3}}{2};$$

$$\underline{S}_4 = \Delta \underline{S}_{xx B} - j \frac{Q_{Л5}}{2};$$

$$\underline{S}_5 = -j \frac{Q_{Л6}}{2};$$

$$\underline{S}_6 = \Delta \underline{S}_{xx B} - j \frac{Q_{Л6}}{2};$$

$$\underline{S}_7 = \underline{S}_B;$$

$$\underline{S}_9 = \underline{S}_{B1};$$

$$\underline{S}_{10} = \underline{S}_{B2}.$$

Расчёт мощностей. На первом шаге напряжения принимаются равными номинальным напряжениям соответствующей ступени - 220 кВ и 110 кВ. Расчёт мощностей начинаем вести от наиболее удалённой точки (ПС В, точка 9) к балансирующему узлу (ЭС, точка 11):

$$\underline{S}_{20} = \underline{S}_9; \quad \underline{S}_{19} = \underline{S}_{20} + \Delta \underline{S}_{Z_{B2}} = \underline{S}_{20} + \frac{P_{20}^2 + Q_{20}^2}{110^2} (r_{B2} + jx_{B2});$$

$$\underline{S}_{22} = \underline{S}_{10}; \quad \underline{S}_{21} = \underline{S}_{22} + \Delta \underline{S}_{Z_{B3}};$$

$$\underline{S}_{18} = \underline{S}_{19} + \underline{S}_{21}; \quad \underline{S}_{17} = \underline{S}_{18} + \Delta \underline{S}_{Z_{B1}};$$

$$\underline{S}_{16} = \underline{S}_{17} + \underline{S}_6; \quad \underline{S}_{15} = \underline{S}_{16} + \Delta \underline{S}_{Z_{L6}};$$

$$\underline{S}_{14} = \underline{S}_{15} + \underline{S}_5; \quad \underline{S}_{13} = \underline{S}_{14} + \Delta \underline{S}_{Z_A} = \underline{S}_{14} + \frac{P_{14}^2 + Q_{14}^2}{220^2} (r_A + jx_A).$$

Аналогично вычисляются мощности в остальных точках $\underline{S}_{23}, \dots, \underline{S}_{28}$ и т.д.:

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{13} + \underline{S}_{23} + \underline{S}_2;$$

$$\underline{S}_{11} = \underline{S}_{12} + \Delta \underline{S}_{Z_{Л1}}.$$

Расчёт напряжений. Расчёт ведём от балансирующего узла (ЭС, точка 11) к удалённому потребителю (ПС В, точки 20, 22). Модуль напряжения в центре питания ($U_1 = 220$ кВ). Напряжения в остальных точках:

$$\dot{U}_{12} = U_1 - \Delta U_{Z_{Л1}} - j\delta U_{Z_{Л1}} = U_1 - \frac{P_{11}r_{Л1} + Q_{11}x_{Л1}}{U_1} - j \frac{P_{11}x_{Л1} - Q_{11}r_{Л1}}{U_1};$$

$$\dot{U}_{13} = \dot{U}_2 = \dot{U}_{12};$$

$$\dot{U}_{14} = \dot{U}_{13} - \Delta U_{Z_A} - j\delta U_{Z_A} = \dot{U}_{13} - \frac{P_{13}r_A + Q_{13}x_A}{|\dot{U}_{13}|} - j \frac{P_{13}x_A - Q_{13}r_A}{|\dot{U}_{13}|}.$$

При расчёте напряжения в точке 5 необходимо учесть коэффициент трансформации ПС А.

$$\dot{U}_{15} = \dot{U}_5 = \dot{U}_{14} k_{тА},$$

где $k_{\text{тА}} = \frac{U_{\text{С номА}}}{U_{\text{В номА}}}.$

Расчёт сетей напряжением до 110 кВ включительно ведётся без учета поперечной составляющей падения напряжения:

$$U_{17} = U_6 = U_{16} = U_{15} - \Delta U_{Z_{\text{Л6}}} = U_{15} - \frac{P_{15}r_{\text{Л6}} + Q_{15}x_{\text{Л6}}}{U_{15}};$$

$$U_8 = U_{18} = U_{17} - \Delta U_{Z_{\text{В1}}} = U_{17} - \frac{P_{17}r_{\text{В1}} + Q_{17}x_{\text{В1}}}{U_{17}};$$

$$U_{20} = U_8 - \Delta U_{Z_{\text{В2}}} = U_8 - \frac{P_{19}r_{\text{В2}} + Q_{19}x_{\text{В2}}}{U_8};$$

$$U_{22} = U_8 - \Delta U_{Z_{\text{В3}}} = U_8 - \frac{P_{21}r_{\text{В3}} + Q_{21}x_{\text{В3}}}{U_8};$$

$$U_9 = U_{20}k_{\text{тВ2}}; \quad U_{10} = U_{22}k_{\text{тВ3}}.$$

Напряжения в узлах 3, 4, 7 рассчитываются аналогично.

Задача № 3

Определение потерь электроэнергии.

Указания по решению.

Потери электроэнергии в электрической сети ΔW состоят из нагрузочных и условно-постоянных потерь.

$$\Delta W = \Delta W_{\text{у-п}} + \Delta W_{\text{н}}.$$

Основной частью условно-постоянных потерь являются потери холостого хода трансформаторов. Потери электроэнергии холостого хода в j -м трансформаторе (автотрансформаторе) определяются по паспортному значению потерь мощности холостого хода (см. табл. 3.3) и показателям режима сети.

$$\Delta W_{y-\Pi} = \Delta P_{xxj} \sum_{i=1}^n T_{pji} \left(\frac{U_{ji}}{U_{B \text{ ном } j}} \right)^2,$$

где T_{pji} – число часов работы j -го трансформатора в i -м режиме;

U_{ji} – расчётное напряжение на высшей стороне трансформатора j в i -м режиме;

$U_{B \text{ ном } j}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора j .

Приближённо потери электроэнергии холостого хода по сети в целом за год равны

$$\Delta W_{y-\Pi} \cong 8760 \sum_{j=1} \Delta P_{xxj}.$$

Нагрузочные потери электроэнергии зависят от активного сопротивления продольной ветви схемы замещения линии или трансформатора r , и режима работы. При использовании метода числа часов наибольших потерь мощности рассматривается только один режим сети: режим максимальной нагрузки. В режиме максимальной нагрузки определяются потери активной мощности в сети ΔP_{\max} по результатам расчёта этого режима:

$$\Delta P_{\max} = \sum_{ij} \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_j^2} r_{ij},$$

где P_j , Q_j – потоки активной и реактивной мощностей в конце ветви $i - j$ в режиме максимальной нагрузки;

U_j – напряжение в конце ветви $i - j$ при максимальных нагрузках;

r_{ij} – активное сопротивление ветви $i - j$.

Нагрузочные потери электроэнергии за год определяются по формуле:

$$\Delta W_{\text{н}} = k_{\text{л}} k_k \Delta P_{\max} \tau,$$

где $k_{\text{л}}$ – коэффициент, учитывающий влияние потерь в арматуре воздушных линий ($k_{\text{л}} = 1,02$ для ВЛ напряжением 110 кВ и выше);

k_k – коэффициент, учитывающий различие в конфигурациях графиков активной и реактивной нагрузки различных ветвей сети ($k_k = 0,99$);

τ – число часов наибольших потерь мощности за год.

При отсутствии графика нагрузки значение τ определяется по формуле:

$$\tau = \frac{k_3 + 2k_3^2}{3} 8760,$$

где k_3 – коэффициент заполнения годового графика. $k_3 = \frac{T_{\text{max}}}{8760}$.

Здесь T_{max} – число часов использования максимальной нагрузки (для сетей 110 – 220 кВ $T_{\text{max}} = 5500 - 6000$ ч).

При формировании структуры потерь электроэнергии, т.е. определении соотношения (долей) нагрузочных и условно-постоянных потерь в сетях различных номинальных напряжений следует в первую очередь сгруппировать потери мощности по видам оборудования и номинальным напряжениям.

Для расчётной схемы разомкнутой сети (рис. 21) определяются следующие потери мощности и энергии:

- потери холостого хода в сети 220 кВ

$$\Delta P_{\text{хх}220} = \Delta P_{\text{хх}А} + \Delta P_{\text{хх}Б}; \quad \Delta W_{\text{у-п}220} = 8760 \Delta P_{\text{хх}220};$$

- потери холостого хода в сети 110 кВ

$$\Delta P_{\text{хх}110} = \Delta P_{\text{хх}Б}; \quad \Delta W_{\text{у-п}110} = 8760 \Delta P_{\text{хх}110};$$

- нагрузочные потери в линиях 220 кВ

$$\Delta P_{\text{н ВЛ}220} = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_{12}^2} r_{\text{Л1}} + \frac{P_{24}^2 + Q_{24}^2}{U_{24}^2} r_{\text{Л3}} + \frac{P_{26}^2 + Q_{26}^2}{U_{26}^2} r_{\text{Л5}};$$

$$\Delta W_{\text{н ВЛ}220} = k_{\text{л}} k_k \Delta P_{\text{н ВЛ}220} \tau;$$

- нагрузочные потери в автотрансформаторах 220 кВ

$$\Delta P_{\text{н тр}220} = \frac{P_{14}^2 + Q_{14}^2}{U_{14}^2} r_A + \frac{P_{28}^2 + Q_{28}^2}{U_{28}^2} r_B; \quad \Delta W_{\text{н тр}220} = k_k \Delta P_{\text{н тр}220} \tau;$$

- нагрузочные потери в линиях 110 кВ

$$\Delta P_{\text{н ВЛ}110} = \frac{P_{16}^2 + Q_{16}^2}{U_{16}^2} r_{Л6}; \quad \Delta W_{\text{н ВЛ}110} = k_{\text{л}} k_k \Delta P_{\text{н ВЛ}110} \tau;$$

- нагрузочные потери в трансформаторах 110 кВ

$$\Delta P_{\text{н тр}110} = \frac{P_{18}^2 + Q_{18}^2}{U_{18}^2} r_{B1} + \frac{P_{20}^2 + Q_{20}^2}{U_{20}^2} r_{B2} + \frac{P_{22}^2 + Q_{22}^2}{U_{22}^2} r_{B3};$$

$$\Delta W_{\text{н тр}110} = k_k \Delta P_{\text{н тр}110} \tau;$$

- суммарные потери электроэнергии в сети

$$\Delta W = \Delta W_{\text{н-п}220} + \Delta W_{\text{н-п}110} + \Delta W_{\text{н ВЛ}220} + \Delta W_{\text{н ВЛ}110} + \Delta W_{\text{н тр}220} + \Delta W_{\text{н тр}110}.$$

3.3. Контрольные вопросы

В контрольной работе приведите ответы на *три контрольных вопроса*. Номера этих вопросов определяются двумя последними цифрами шифра зачетной книжки: предпоследняя цифра определяет номер вопроса из первой группы, последняя цифра определяет номер вопроса из второй группы, увеличенная на единицу последняя цифра определяет номер вопроса из третьей группы.

3.3.1. Первая группа

1. Как осуществляются преобразование, передача и распределение электрической энергии? Какое оборудование для этого необходимо?
2. Пояснить понятия: энергетическая система, электроэнергетическая система, электрическая система, электрическая сеть. Каковы особенности их работы?

3. Пояснить понятия: режим электрической системы (или сети), параметры режима, параметры системы. Каковы виды режимов?
4. Как классифицируются электрические сети?
Привести номинальные напряжения элементов электрических систем. Пояснить соотношения между ними.
5. Конструкции воздушных линий электропередачи.
6. Что называется транспозицией проводов, расщеплением проводов воздушных линий?
7. В чем преимущества автотрансформаторов по сравнению с трехобмоточными трансформаторами? В каких случаях они применяются?
8. Перечислить виды компенсирующих устройств. Для чего они применяются?
9. Какие виды графиков нагрузок используются? Для чего?
10. Пояснить понятие «время использования максимальной нагрузки». Как используется этот параметр?

3.3.2. *Вторая группа*

1. Привести и пояснить различные виды схем замещения линий. Как определяются их параметры?
2. Привести и пояснить схемы замещения двухобмоточных трансформаторов. Как определяются их параметры?
3. Привести и пояснить схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов. Как определяются их параметры?
4. Как моделируются (представляются) электрические станции при расчетах установившихся режимов электрических сетей?
5. Как моделируются (представляются) нагрузки и компенсирующие устройства при расчетах установившихся режимов электрических сетей?
6. Какие виды потерь мощности и энергии имеют место в линиях, трансформаторах? От чего они зависят?

7. Как определяются переменные потери электрической энергии в линиях, трансформаторах, в сети в целом по времени наибольших потерь? Как определяются постоянные потери электроэнергии?
8. Пояснить методику расчетов режимов линий, трансформаторов при заданных мощностях нагрузки. Что такое падение напряжения, потеря напряжения?
9. Пояснить методику расчетов режимов разомкнутых электрических сетей.
0. Пояснить методику расчетов режимов простейших замкнутых электрических сетей.

3.3.3. *Третья группа*

1. Перечислить все составляющие исходной информации, необходимой для расчетов установившихся режимов электрических сетей. Пояснить понятия «балансирующий узел», «базовый узел».
2. Каковы задача и цели расчетов установившихся режимов электрических сетей?
3. Какими показателями характеризуется качество электрической энергии? Каковы требования к этим показателям?
4. Что такое балансы мощностей в электрических системах? Каково влияние балансов на качество электроэнергии?
5. Как осуществляется регулирование частоты в электрических системах?
6. Каковы способы и средства регулирования напряжения?
7. Дать характеристику регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов.
8. Что такое компенсация реактивной мощности в электрических сетях? Пояснить эффект компенсации реактивной мощности.
9. Перечислить и кратко охарактеризовать технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии.

10. Перечислить и кратко охарактеризовать режимные мероприятия по снижению потерь электроэнергии.

4. Учебно-методические материалы по дисциплине (литература)

Основная

1. Цыгулёв Н.И. Общая энергетика: учеб. пособие / Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2012.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – М.: КНОРУС, 2012

Дополнительная

3. Электрические системы и сети: учебник / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев - Мн.: УП «Технопринт», 2004
4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. СС. Рокотяна и И.М. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. -М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2005.
6. Кравченко В.Ф. Оценивание состояния и идентификация в электроэнергетических системах: учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008
7. Хлебников В.К. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети» / Дон. гос. техн. ун-т – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2013.
8. Хлебников В.К. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети» / Дон. гос. техн. ун-т – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2013.