Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 21.05.2025 12:20:15
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2025 г.

Содержание

№ п/п — Стр.

Введение

1. Цель и задачи изучения дисциплины

2. Оборудование и материалы

3. Наименование практических работ

4. Содержание практических работ

4.1 Практическая работа №1. Приближенный расчет потокораспределения в электрической сети. Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях без учета потерь мощности.

4.2 Практическая работа №2. Выбор номинальных напряжений электрической сети. Расчет номинального напряжения электрической сети.

4.3. Практическая работа №3. Баланс активной и реактивной мощностей в электрической сети. Составления баланса активной и реактивной мощности.

4.4 Практическая работа №4. Определение необходимости установки компенсирующих устройств в электрической сети. Расчет устройств компенсации реактивной мощности в электрических сетях.

4.5 Практическая работа №5. Выбор трансформаторов на подстанциях. Выбор номинальной мощности и числа трансформаторов на подстанции.

4.6 Практическая работа №6. Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров. Схемы замещения элементов электрических сетей.

4.7 Практическая работа №7. Методика расчета максимального режима работы электрической сети. Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей.

4.8 Практическая работа №8. Методика расчета послеаварийного режима работы электрической сети. Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием.

4.9 Практическая работа №9. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Регулирование напряжения в электрических сетях.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
Приложение

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является изучение элементов электроэнергетических систем и способов передачи и распределения электрической энергии, знакомство с устройством, электрооборудованием и режимами работы электроэнергетических систем и сетей и овладение основами расчета установившихся режимов электроэнергетических систем и сетей.

Задачами изучения дисциплины является освоение студентами современных методов проектирования и расчета режимов работы электрооборудования, приобретение навыков выбора схем электрических соединений и электрооборудования электрических подстанций и сетей на основе технико-экономических расчетов с учетом фактора надежности, расчетов и управления режимами электроэнергетических систем.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	**Практическая работа №1. Приближенный расчет потокораспределения в электрической сети.** Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях без учета потерь мощности. Изучить распределение потоков мощности и напряжений простых замкнутых сетей без учета потерь мощности.	2	
2	**Практическая работа №2. Выбор номинальных напряжений электрической сети.** Расчет номинального напряжения электрической сети Получить навыки расчета номинального напряжения электрической сети.	2	
	Практическая работа №3. Баланс активной и реактивной мощностей в электрической сети. Составления баланса активной и реактивной мощности		

	Получить навыки составления баланса активной и реактивной мощности для электрической сети.		
4	**Практическая работа №4. Определение необходимости установки компенсирующих устройств в электрической сети.** Расчет устройств компенсации реактивной мощности в электрических сетях. Получить навыки определение необходимости установки компенсирующих устройств в электрической сети.	2	
5	**Практическая работа №5. Выбор трансформаторов на подстанциях.** Выбор номинальной мощности и числа трансформаторов на подстанции Научиться выбирать трансформаторы по номинальной мощности.	2	
6	**Практическая работа №6. Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров.** Схемы замещения элементов электрических сетей. Научиться составлять схемы замещения элементов электрических сетей.	2	
7	**Практическая работа №7. Методика расчета максимального режима работы электрической сети.** Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей Получить навыки расчета режимов работы электрической сети.	2	
8	**Практическая работа №8. Методика расчета послеаварийного режима работы электрической сети.** Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием Получить навыки расчета электрических сетей с двухсторонним питанием	2	
9	**Практическая работа №9. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях.** Регулирование напряжения в электрических сетях Изучить средства регулирования напряжения в распределительных сетях	2	
	Итого за 7 семестр:	**18**	
	Итого:	**18**	

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Приближенный расчет потокораспределения в электрической сети. Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях без учета потерь мощности

Цель: Изучить распределение потоков мощности и напряжений простых замкнутых сетей без учета потерь мощности

Основы теории:

Рассмотрим линию с двухсторонним питанием, к которой преобразуется простая замкнутая сеть (рисунок 12.1, а).

Используем расчетные мощности нагрузок подстанции.

При определении потоков S_{12}, S_{23}, S_{43} пренебрежем потерями мощности. Следовательно, потоки мощности на головных участках определяется так:

$$S_{12} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} S_k Z_{kn}}{Z_{1n}}$$

$$S_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} S_k Z_{1k}}{Z_{1n}}$$

Значение потока мощности $S_{k\,,k+1}$ можно легко найти на основании первого закона Кирхгофа.

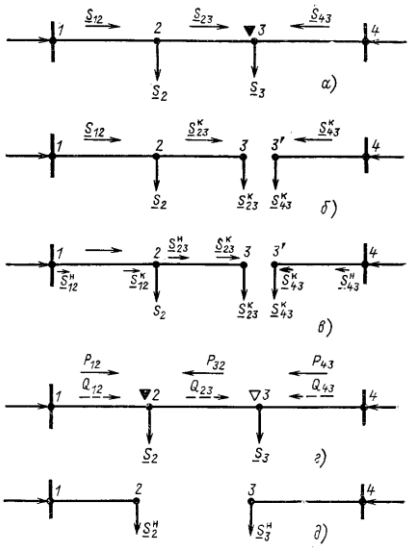


Рисунок 12.1 – Распределение потоков мощности в замкнутой сети

а – исходная сеть; б – представление исходной сети в виде двух линий;

в – условные обозначения для расчета потоков в линиях с учетом потерь мощности;

г – направление потоков

Задания:

Задание №1:

Кольцевая сеть (рисунок 12.2, а) напряжением 110 кВ связывает электростанцию 1 с понижающими подстанциями 2, 3, имеющими расчетные нагрузки $S_2 = 28+j23$ МВА и $S_3 = 39,2 + j32,89$ МВА. Марки проводов, длины линий указаны на рисунке. Сопротивления их равны: $Z_{12} = 3,6 + j12,15$ Ом; $Z_{23} = 5+j6$ Ом; $Z_{13} = 8,1+ j20,65$ Ом. Напряжение на шинах электростанции равно 113 кВ. Определить мощность, которая поступает с шин электростанции. Расчет провести без учета потерь мощности

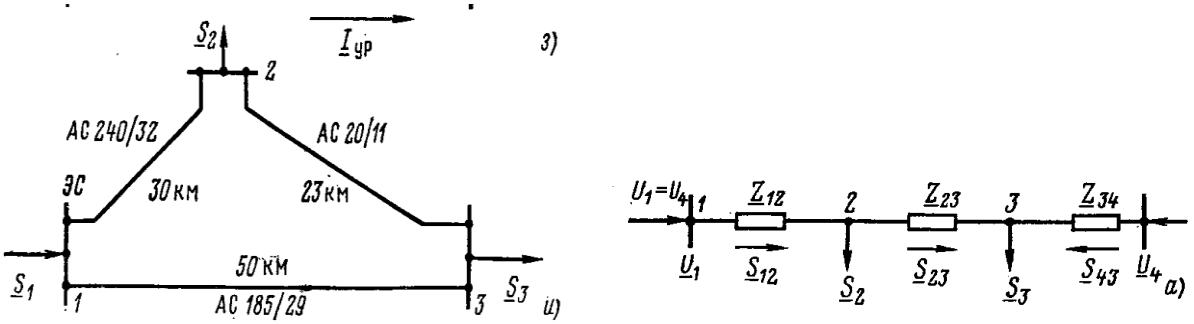


Рисунок 12.2 – Распределение потоков мощности в линии с двухсторонним питанием

а – схема кольцевой сети 110 кВ; б – схема замещения линии с четырьмя узлами

Контрольные вопросы:

1. Как определить точку потокораздела в простой замкнутой сети?

2. Возможно ли провести расчет замкнутой сети без определения расчетных нагрузок?

3. Всегда ли точки потокораздела активной и реактивной мощности совпадают в однородной сети?

Практическая работа №2. Выбор номинальных напряжений электрической сети. Расчет номинального напряжения электрической сети

Цель: Получить навыки расчета номинального напряжения электрической сети

Основы теории:

При проектировании развития электрической сети одновременно с разработкой вопроса о конфигурации электрической сети решается вопрос о выборе ее номинального напряжения. Шкала номинальных линейных напряжений электрических сетей установлена ГОСТ 721-77 и составляет следующий ряд:

0,23; 0,38; 0,66; 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150 кВ.

При выборе номинального напряжения сети учитываются следующие общие рекомендации:

•напряжения 6...10 кВ используются для промышленных, городских и сельскохозяйственных распределительных сетей; наибольшее распространение для таких сетей получило напряжение 10 кВ; применение напряжения 6 кВ для новых объектов не рекомендуется, а может использоваться при реконструкции существующей электрической сети при наличии в ней высоковольтных двигателей на такое напряжение;

•в настоящее время в связи с ростом нагрузок коммунально-бытового сектора имеется тенденция к повышению напряжения распределительных сетей в крупных городах до 20 кВ;

напряжение 35 кВ широко используется для создания центров питания сельскохозяйственных распределительных сетей 10 кВ; в связи с ростом мощностей сельских потребителей для этих целей начинает применяться напряжение 110 кВ;

•напряжения 110…220 кВ применяется для создания районных распределительных сетей и для внешнего электроснабжения крупных и средних промышленных предприятий;

•напряжения 330 кВ и выше используются для выдачи мощности

крупными электростанциями и для формирования системообразующей сети единой ЭЭС.

При сооружении районных и системообразующих сетей исторически в нашей стране сформировались две системы напряжений. Первая система 110, 220, 500, 1150 кВ характерна для большей части территории страны. Вторая система 110(150), 330, 750 кВ характерна в основном для СевероЗапада и в некоторой степени для Центра и Северного Кавказа. Поэтому при выборе номинального напряжения сети следует учитывать ее географическое расположение.

Номинальное напряжение линии электропередачи является, главным образом, функцией двух параметров: мощности P, передаваемой по линии, и расстояния L, на которое эта мощность передается. В связи с этим имеется несколько эмпирических формул для выбора номинального напряжения линии, предложенных разными авторами.

– формула Залесского

$$U_{ЦП-1} = 16 \cdot \sqrt[4]{P \cdot L}$$

– формула Стилла

$$U_{ном\,A1} = 4,34\sqrt{L + 0,016P}$$

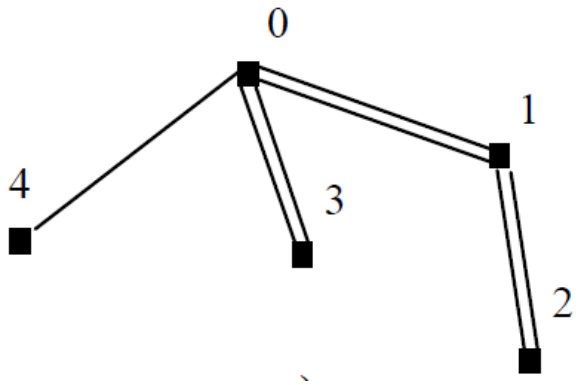
– формула Илларионова

$$U_{ЦП-1} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}.$$

Задания:

Задание №1

Определить напряжения в узлах электрической сети приведенной на рисунке. Параметры узлов приведены в таблице.



Параметр	Pi, МВт	cos φi	Tмi , ч	Доля нагрузки 3-й категории
Источник питания 0	–	0,91	–	–
Подстанция 1	40	0,9	3000	0
Подстанция 2	20	0,89	4100	0
Подстанция 3	25	0,7	3800	0
Подстанция 4	32	0,9	4400	100

Контрольные вопросы:

1. Приведите шкалу номинальных напряжений электрических сетей.

2. В каких случаях для электрических сетей используются номинальные напряжения 6, 10, 20, 35, 110, 220, 330 кВ и выше?

3. Какие две системы напряжений исторически сложились в нашей стране?

4. Как определяется номинальное напряжение линии электропередачи?

Практическая работа №3. Баланс активной и реактивной мощностей в электрической сети. Составления баланса активной и реактивной мощности

Цель: Получить навыки составления баланса активной и реактивной мощности для электрической сети.

Основы теории:

Передача электроэнергии по ЛЭП электромагнитными волнами осуществляется со скоростью, близкой к скорости света, т.е. практически мгновенно. Это приводит к тому, что производство, распределение и потребление электроэнергии происходит одновременно. Поэтому в любой момент времени установившегося режима системы должны вырабатывать мощность, равную мощности потребителей и потерям мощности в элементах системы. Другими словами, в энергосистеме должен иметь баланс выдаваемой и потребляемой мощности:

$$\sum P_{\text{г}} = \sum P_{\text{п}} = \sum P_{\text{н}} + \sum \Delta P;$$

$$\sum Q_{\text{г}} = \sum Q_{\text{п}} = \sum Q_{\text{н}} + \sum \Delta Q$$

где $\sum P_{\text{г}}$ – активная мощность, которая вырабатывается генераторами электростанций за вычетом мощности, расходуемой на собственные нужды электростанций;

$\sum P_{\text{п}}$ – суммарная потребляемая активная мощность, которая складывается из мощности нагрузок $\sum P_{\text{н}}$ и потерь мощности $\sum \Delta P$;

$\sum Q_{\text{г}}$ – реактивная мощность, которая вырабатывается генераторами электростанций за вычетом мощности, расходуемой на собственные нужды электростанций, а также реактивная мощность дополнительных источников реактивной мощности;

$\sum Q_{\text{п}}$ – суммарная потребляемая реактивная мощность, которая складывается из мощности нагрузок $\sum Q_{\text{н}}$ и потерь мощности $\sum \Delta Q$.

Потери активной мощности включают в себя потери мощности в воздушных и кабельных ЛЭП, электромагнитных аппаратов и устройств управления режимами системы.

Суммарные потери реактивной мощности – это алгебраическая сумма потерь мощности в сопротивлениях и проводимостях воздушных и кабельных ЛЭП, трансформаторах, мощности намагничивания и рассеяния электромагнитных аппаратов.

При неизменном составе нагрузок активная и реактивная мощность, потребляемая системой, является функцией частоты и напряжения на шинах потребителей. Баланс мощности в системе отвечает некоторым определенным значениям частоты и напряжения. При

изменении их значений изменяются в той или иной степени правая и левая части уравнения баланса (100.1) и наоборот.

Количественную оценку изменения величин, входящих в уравнение баланса, можно выполнить по статическим характеристикам нагрузки (потребителей) $P_п$ и $Q_п$.

Статические характеристики представляют собой зависимости потребляемой активной и реактивной мощностей от частоты и напряжения ($P_п = F(U)$, $P_п = F(f)$, $Q_п = F(U)$ и $Q_п = F(f)$) при таких малых их изменениях, что каждый новый режим может считаться установившимся. Они приведены на рис. 13.1.

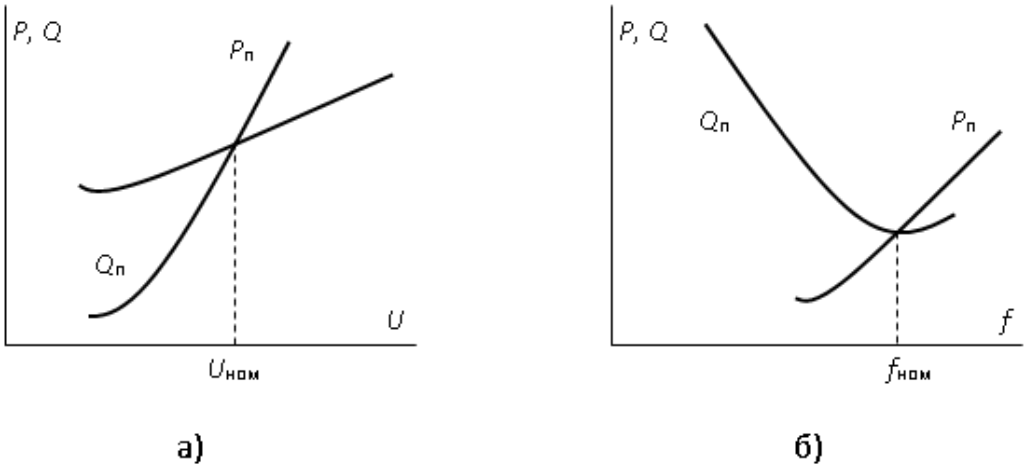


Рисунок 13.1 – Статические характеристики мощности
а – по напряжению; б – по частоте

Проанализируем величины производных $\frac{\partial P_п(U,f)}{\partial U}$, $\frac{\partial Q_п(U,f)}{\partial U}$, $\frac{\partial P_п(U,f)}{\partial f}$ и $\frac{\partial Q_п(U,f)}{\partial f}$ при незначительных изменениях напряжения и частоты в окрестностях точки ($U_{ном}$, $f_{ном}$):

$$\frac{\partial P_п(U,f)}{\partial U} > 0;$$

$$\frac{\partial Q_п(U,f)}{\partial U} > 0;$$

$$\frac{\partial P_п(U,f)}{\partial f} > 0$$

$$\frac{\partial Q_п(U,f)}{\partial f} < 0.$$

Исходя из вида статических характеристик, можно записать:

$$\left|\frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial U}\right| >> \left|\frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial f}\right|$$

$$\left|\frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial f}\right| >> \left|\frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial U}\right|.$$

Предположим, что в первоначальном режиме уравнение баланса выполняется при значениях напряжения и частоты равных U_0 и f_0:

$$P_{\text{п}}(U_0, f_0) = P_{\text{г}}(U_0, f_0);$$

$$Q_{\text{п}}(U_0, f_0) = Q_{\text{г}}(U_0, f_0).$$

При незначительном изменении мощности источников на величину $\Delta \underline{S}_{\text{г}} = \Delta P_{\text{г}} + j\Delta Q_{\text{г}}$ изменятся и уравнения баланса.

При разложении в ряд Тейлора функций $P_{\text{п}}(U, f)$ и $Q_{\text{п}}(U, f)$ в окрестностях точки (U_0, f_0) при учете только производных первого порядка, получим:

$$\frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} \cdot \Delta U + \frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \cdot \Delta f = \Delta P_{\text{г}};$$

$$\frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} \cdot \Delta U + \frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \cdot \Delta f = \Delta Q_{\text{г}}.$$

Запишем в матричной форме систему

$$\begin{vmatrix} \dfrac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} & \dfrac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \\ \dfrac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} & \dfrac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta U \\ \Delta f \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta P_{\text{г}} \\ \Delta Q_{\text{г}} \end{vmatrix}.$$

Решаем уравнение (14.6) относительно приращений $\Delta U, \Delta f$:

$$\Delta U = \frac{1}{\Delta} \cdot \left(\frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \cdot \Delta P_{\text{г}} - \frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \cdot \Delta Q_{\text{г}} \right);$$

$$\Delta f = \frac{1}{\Delta} \cdot \left(- \frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} \cdot \Delta P_{\text{г}} + \frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} \cdot \Delta Q_{\text{г}} \right),$$

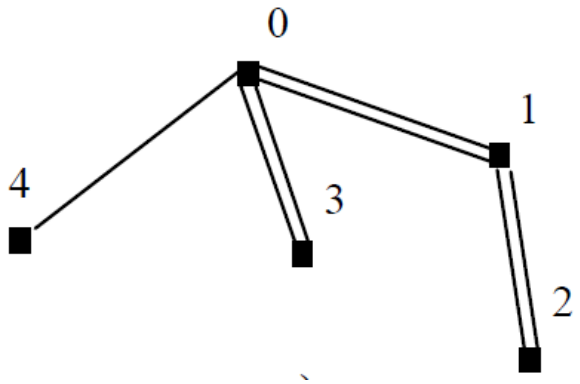
где определитель матрицы равен

$$\Delta = \frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial U} \cdot \frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} - \frac{\partial P_{\text{п}}(U, f)}{\partial f} \cdot \frac{\partial Q_{\text{п}}(U, f)}{\partial U}.$$

Задания:

Задание №1

Составить баланс мощности для электрической сети приведенной на рисунке.



Параметр	Pi, МВт	cos φi	Тмі , ч	Доля нагрузки 3-й категории
Источник питания 0	–	0,91	–	–
Подстанция 1	40	0,9	3000	0
Подстанция 2	20	0,89	4100	0
Подстанция 3	25	0,7	3800	0
Подстанция 4	32	0,9	4400	100

Контрольные вопросы:

1. Какова связь между балансом реактивной мощности и регулированием напряжения?

Практическая работа №4. Определение необходимости установки компенсирующих устройств в электрической сети. Расчет устройств компенсации реактивной мощности в электрических сетях.

Цель: Получить навыки определение необходимости установки компенсирующих устройств в электрической сети.

Основы теории:

Из баланса реактивной мощности в энергосистеме следует, что в случае, когда генерация реактивной мощности превышает ее потребление, напряжение в сети возрастает. При дефиците реактивной мощности – напряжение уменьшается. Этот вывод мы уже получали, когда рассматривали векторную диаграмму линии электропередачи напряжением 110 кВ. Емкостный ток ЛЭП, работающей на холостом ходу, или, другими словами, мощность, генерируемая ЛЭП, повышает напряжение в конце ЛЭП.

В отличие от баланса активной мощности, баланс реактивной мощности не может в полной мере определить требования, которые предъявляются к источникам реактивной мощности. Если активную мощность вырабатывают только генераторы электростанций, то реактивную мощность можно получить от дополнительных источников, которые могут устанавливаться вблизи потребителей. Эти дополнительные источники называются компенсирующими установками.

При проектировании электрической сети нужно проверять баланс реактивной мощности как в целом по энергосистеме, так и в отдельных ее частях. При этом следует учитывать и необходимость резерва реактивной мощности.

Баланс реактивной мощности следует предусматривать отдельно для каждого режима сети. Характерными режимами в системе являются:

- режим наибольшей реактивной нагрузки. Для режима характерно наибольшее потребление реактивной мощности и наибольшая мощность компенсирующих устройств;
- режим наибольшей активной нагрузки. Режим связан с наибольшей загрузкой генераторов активной мощности при наименьшей выработке реактивной мощности;
- режим наименьшей активной нагрузки. В этом режиме часть генераторов отключают. Выработка реактивной мощности генераторами электростанций уменьшается;
- послеаварийные и ремонтные режимы. В этих режимах наибольшие ограничения по передаче реактивной мощности.

Если в энергосистеме наблюдается дефицит активной мощности, то он покрывается за счет избытка активной мощности в других системах. Для покрытия недостатка реактивной мощности ее экономичнее генерировать компенсирующими устройствами, которые устанавливаются в данной энергосистеме, а не передавать из соседних систем.

В отличие от активной мощности реактивная мощность может генерироваться не только генераторами электростанций, но и устройствами, которые называются компенсирующими (КУ). Эти устройства располагают в непосредственной близости от потребителей. К ним относятся:

- синхронные компенсаторы (СК);
- батареи конденсаторов (БК);
- статические источники реактивной мощности (СТК или ИРМ).

Опыт эксплуатации показывает, что при номинальной нагрузке генераторы ЭС вырабатывают около 60 % требуемой реактивной мощности, 20 % генерируется линиями электропередач высокого напряжения, 20 % вырабатывают компенсирующие устройства.

Выработка 1 кВар реактивной мощности на ЭС стоит в несколько раз дешевле, чем ее выработка с помощью КУ. Но технико-экономические расчеты показывают, что большая часть реактивной мощности должна вырабатываться КУ. Это объясняется внедрением мощных генераторов с относительно высоким cos φ, ростом протяженности и напряжения передачи. Поэтому снижается экономичность выработки реактивной мощности генераторами ЭС.

Компенсация реактивной мощности применяется для следующих целей:

- для выполнения баланса реактивной мощности;
- для снижения потерь мощности и электроэнергии;
- для регулирования напряжения.

При использовании КУ необходимо учитывать ограничения их мощности по техническим и режимным требованиям. Мощность КУ должна удовлетворять:

- необходимому резерву мощности в узлах нагрузки;
- располагаемой реактивной мощности на ЭС;
- отклонению напряжения на шинах потребителей;
- пропускной способности ЛЕП.

Для уменьшения перетоков реактивной мощности по ЛЭП и трансформаторам КУ должны размещаться вблизи мест потребления реактивной мощности. При этом элементы сети разгружаются по реактивной мощности. Это приводит к уменьшению потерь мощности и напряжения.

Из анализа работы синхронного генератора следует, что увеличить выработку реактивной мощности можно только за счет снижения выработки активной мощности. Этот принцип реализован в синхронном компенсаторе (СК).

Синхронный компенсатор – это синхронный двигатель, который работает в режиме холостого хода, то есть практически без активной нагрузки на валу. Таким образом, СК загружен только реактивным током.

Схема замещения СК приведена на рис. 15.1.

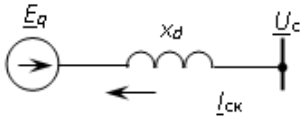


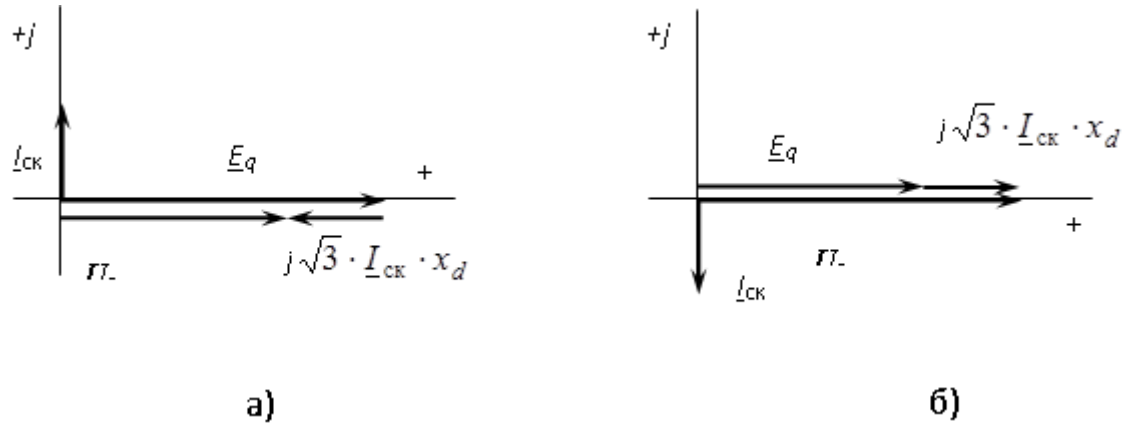
Рисунок 15.1 – Схема замещения СК

Как и синхронный двигатель, СК может работать в двух режимах: перевозбуждения и недовозбуждения. При перевозбуждении ЭДС СК больше напряжения в точке его подключения

$$\underline{E}_q > \underline{U}_c.$$

Синхронный компенсатор генерирует в сеть реактивную мощность Ток СК опережает напряжение на 90°. Векторная диаграмма режима перевозбуждения СК приведена на рис. 15.2 а.

Уменьшая ток возбуждения, можно получить режим недовозбуждения. В этом режиме ЭДС СК меньше напряжения в точке его подключения $\underline{E}_q < \underline{U}_c$ и ток СК отстает от напряжения на 90°. Векторная диаграмма режима недовозбуждения СК приведена на рис. 15.2 б. В этом режиме СК потребляет реактивную мощность, получая ее из сети.



а) б)

Рисунок 15.2 – Векторные диаграммы СК

а – в режиме перевозбуждения;

б – в режиме недовозбуждения

Номинальная мощность СК указывается для режима перевозбуждения. В режиме недовозбуждения

$$Q_{\text{ск}}^{\text{нед}} = 0{,}5 \cdot Q_{\text{ск ном}}.$$

Это связано, во-первых, с нагревом в лобовых частях СК – в режиме недовозбуждения потоки складываются (рис. 15.2 б). Во- вторых, из-за нарушения устойчивой работы СК нельзя значительно снижать ток возбуждения.

Достоинства СК:

- возможность увеличения генерируемой мощности при снижении напряжения в сети за счет регулирования тока возбуждения;
- возможность плавного и автоматического регулирования реактивной мощности.

Батареи конденсаторов применяются:

- для генерации реактивной мощности в узлах сети – поперечная компенсация. Батареи конденсаторов называют шунтовыми (ШБК);
- для уменьшения индуктивного сопротивления ЛЭП – продольная компенсация. Батареи конденсаторов называют устройствами продольной компенсации (УПК).

Шунтовые БК включают на шины ПС параллельно нагрузке, УПК включают в рассечку ЛЭП.

Батареи конденсаторов комплектуются из отдельных конденсаторов, которые соединяются последовательно и параллельно. Конденсаторы выпускаются в однофазном и трехфазном исполнении на номинальное напряжение от 0,22 до 10,5 кВ. Единичная мощность конденсаторов изменяется от 10 до 125 кВар. Увеличение напряжения достигается за счет увеличения числа последовательно включенных конденсаторов, увеличение мощности – за счет параллельного включения конденсаторов (рис. 15.3).

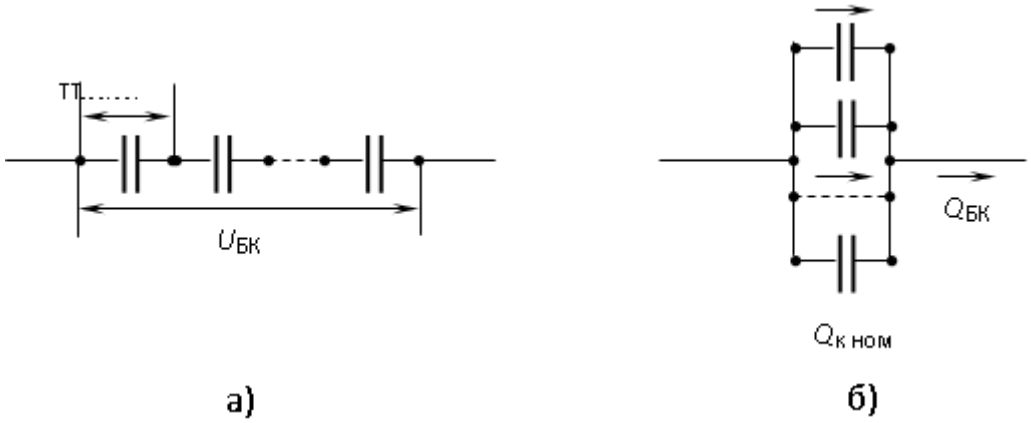


Рисунок 15.3 – Соединение конденсаторов

а – последовательное; б – параллельное

Число последовательно включенных конденсаторов определяется по формуле:

$$n = \frac{U_{\text{БК max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{к ном}} \cdot k_{\text{р}}},$$

Число последовательно включенных конденсаторов равно:

$$n = \frac{Q_{\text{БК}}}{Q_{\text{к ном}}},$$

При соединении конденсаторов звездой мощность батареи равна

$$Q_{\text{БК}} = \frac{3 \cdot U_{\text{ф}}^2}{x_{\text{с}}} = 3 \cdot U_{\text{ф}}^2 \cdot \omega \cdot C = U_{\text{ном}}^2 \cdot \omega \cdot C = \frac{U_{\text{ном}}^2}{x_{\text{с}}}$$

При соединении в треугольник при использовании таких же конденсаторов мощность БК будет

$$Q_{\text{БК}} = \frac{3 \cdot U_{\text{ф}}^2}{x_{\text{с}}/3} = 9 \cdot U_{\text{ф}}^2 \cdot \omega \cdot C = 9 \cdot U_{\text{ф}}^2 \cdot \omega \cdot C$$

Преимущества:

- простота устройства и его обслуживания;
- отсутствие вращающихся частей дает безопасность обслуживания;
- малые потери активной мощности - 0,003 МВт/Мвар.

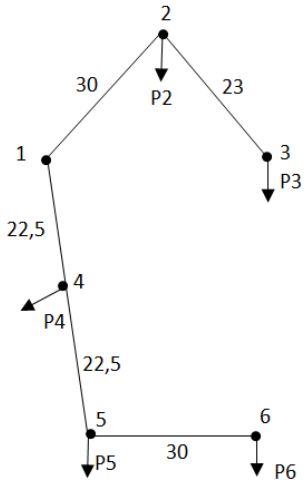
Недостатки:

- зависимость мощности БК от напряжения;
- ступенчатое регулирование мощности БК и ее напряжения;
- чувствительность к искажению кривой формы напряжения;
- недостаточная электрическая прочность конденсаторов и малый срок их эксплуатации.

Задания:

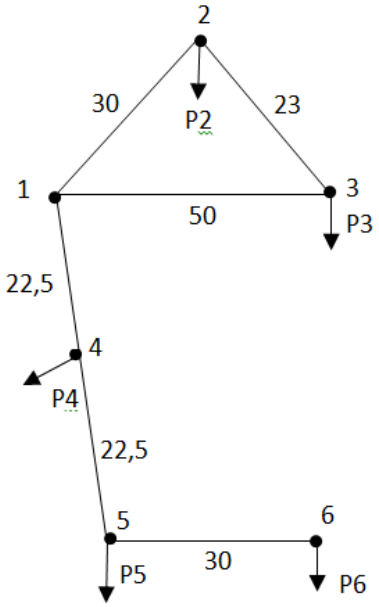
Задание №1

Оценить баланс реактивной мощности для сети варианта 1 и определить потокораспределение реактивной мощности. Коэффициент мощности системы, в которую входит проектируемая сеть, равен $cos\varphi_{ЭС}$=0,9. Определить необходимость установки компенсирующих устройств.



Задание №2

Оценить баланс реактивной мощности для сети варианта 2 и определить потокораспределение реактивной мощности. Коэффициент мощности системы, в которую входит проектируемая сеть, равен $cos\varphi_{ЭС}$=0,9. Определить необходимость установки компенсирующих устройств.



Контрольные вопросы:

1. При каком условии в линиях 110 кВ допускается принимать равными величины потерь и генерации реактивной мощности?

2. В электрических сетях двух номинальных напряжений (следует в первую очередь устанавливать компенсирующие устройства на шинах 10 кВ подстанций сети более низкого номинального напряжения (110 кВ) или более высокого (220 кВ)?

Практическая работа №5. Выбор трансформаторов на подстанциях. Выбор номинальной мощности и числа трансформаторов на подстанции

Цель: Научиться выбирать трансформаторы по номинальной мощности

Основы теории:

При отсутствии подробной информации о графиках нагрузки проектируемых подстанций, в соответствии с существующей практикой проектирования, допускается упрощённый выбор мощности трансформаторов из условия допустимой перегрузки трансформаторов в послеаварийных режимах:

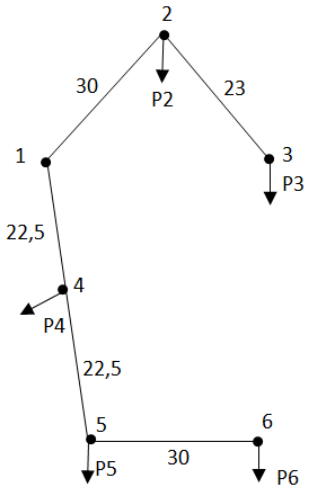
$$S_{\text{тр.пер}} \geq \frac{S_{\text{нб}}}{k_{\text{пер}}(n_{\text{т}} - 1)}$$

В соответствии с ГОСТом 14209-97 в послеаварийном режиме допускается перегрузка двухобмоточных трансформаторов на 40 % номинальной мощности, т.е. $k_{\text{пер}}$=1,4. В соответствии с ТУ №3411-001-498-90-270-2005 в после аварийном режиме допускается перегрузка автотрансформатора на 20 % номинальной мощности, т.е. $k_{\text{пер}}$=1,2. Такие перегрузки допускаются на время максимума нагрузки продолжительностью не более 4 часов в сутки на протяжении 5 суток при условии, что коэффициент загрузки трансформатора в режиме, предшествующему послеаварийному, составлял не более 0,8 (0,7 для автотрансформаторов)

Задания:

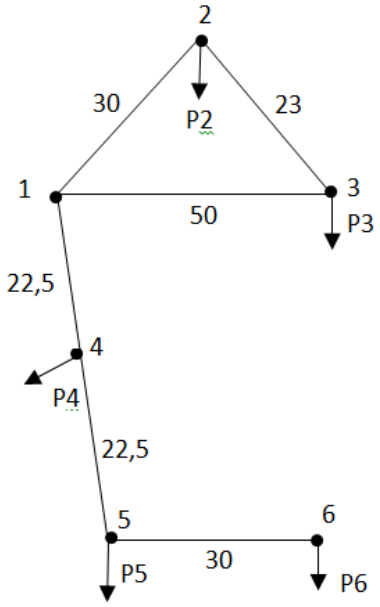
Задание №1

Для данной электрической сети выбрать силовые трансформаторы. Определить потерь мощности в нормальном режиме наибольших нагрузок. В состав потребителей всех подстанций входят потребители 1 категории.



Задание №2

Для данной электрической сети выбрать силовые трансформаторы. Определить потерь мощности в нормальном режиме наибольших нагрузок. В состав потребителей всех подстанций входят потребители 1 категории.



Контрольные вопросы:

1. Чем определяется выбор числа трансформаторов на подстанции?
2. Что такое перегрузочная способность трансформаторов?
3. От каких параметров работы зависит его перегрузочная способность?

Практическая работа №6. Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров. Схемы замещения элементов электрических сетей

Цель: Научиться составлять схемы замещения элементов электрических сетей

Основы теории:

Различают несколько типов схем электрических сетей: принципиальные схемы соединений; схемы замещения; расчетные (преобразованные) схемы замещения.

Все схемы трехфазных элементов ЭЭС, как правило, изображаются в однолинейном виде. На рис. 1.1 показаны все три вида схем, состоящих из одной ЛЭП и одного двухобмоточного трансформатора с нагрузкой на стороне низкого напряжения.

Такой схемой замещения, как на рис 1.1, б, удобно пользоваться, когда выполняется одиночный расчет простых схем, как правило, в учебных целях без использования специальных программ. В большинстве случаев при расчетах режимов электрических сетей используется расчетная схема рис. 1.1, в или подобная ей, где задаются электрические параметры элементов сети.

Совершенно естественным является удаление из схемы элементов, влияние которых на режим сети пренебрежимо мало. Так, не учитывают:

- потери на корону в ВЛ до 220 кВ;
- зарядную мощность в ЛЭП до 35 кВ, а для коротких ВЛ и ПО кВ;

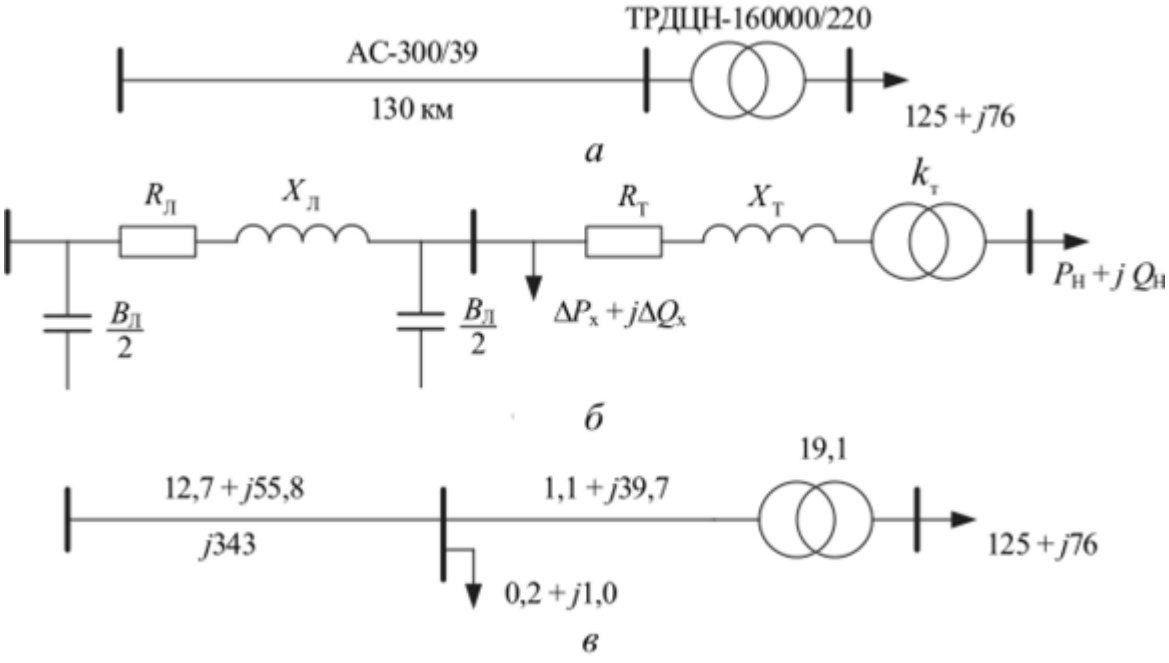


Рисунок 1.1 – Схема замещения

а - принципиальная схема; б - схема замещения; в - расчетная схема

(сопротивления в омах, проводимости в микросименсах, мощности в мегавольт- амперах, коэффициент трансформации в относительных единицах)

- потери холостого хода трансформаторов, если не нужно решать вопросы повышения экономичности работы электрических сетей;
- активные сопротивления обмоток трансформаторов, если не нужно оценивать потери электрической энергии и решать вопросы повышения экономичности работы электрических сетей.

В трехобмоточных трансформаторах и автотрансформаторах индуктивное сопротивление обмоток СН принимают равным нулю и при пренебрежении активным сопротивлением получается ветвь с нулевым сопротивлением. В таких случаях можно приблизительно оценить потери реактивной мощности в обмотке НН, сложить эти потери с реактивной мощностью нагрузки НН и добавить полученную мощность на шины СН. Трехлучевая схема замещения трансформатора превращается в одну ветвь с сопротивлением обмотки ВН и трансформацией с ВН на СН; кв_с.

Современные программы расчета режимов в энергосистемах вообще не предполагают составления схем замещения или расчетных схем и используют принципиальные схемы, в которых указываются марки (тип) оборудования, число параллельных элементов и расстояния между подстанциями, которые соединяются посредством ЛЭП. Кроме того, все оборудование ЭЭС, нагрузки и варианты схем соединений закладываются в специализированные базы данных, на основе которых ведется формирование схем для расчетов различных режимов.

В тех случаях, когда необходимо составить схему замещения сети с параллельными элементами (две цепи ЛЭП, два трансформатора и т. п.) или упростить расчетную схему, выполняются последовательно-параллельные преобразования схем. В некоторых случаях выполняются преобразования треугольника в звезду и наоборот.

В практике расчетов установившихся режимов электрических сетей получило распространение понятие расчетной нагрузки подстанций, которая по сути является эквивалентным представлением части схемы электрической сети. Основная цель введения расчетной нагрузки подстанции - это упрощение схемы. В расчетную (эквивалентную) нагрузку подстанции включают саму электрическую нагрузку, потери в трансформаторе (в обмотках и в магнитопроводе - потери холостого хода), а иногда и зарядную мощность подходящих к подстанции ЛЭП. На рис. 1.2 показаны эквивалентные схемы с расчетными нагрузками подстанции из рис. 1.2, б.

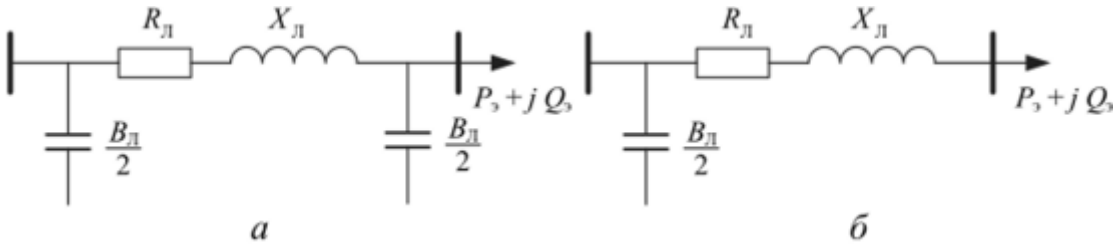


Рисунок 1.2 – Эквивалентные схемы замещения для электрической сети
а - при эквивалентировании трансформатора б- при эквивалентировании трансформатора и зарядной емкости, подходящей ЛЭП

Задания:

Задание №1

Определить погонные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ с проводами марки АС150/24, расположенными на П-образных деревянных опорах, с расстоянием между соседними фазами по горизонтали 4 м. Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 100 км.

Задание №2

На понижающей подстанции установлены два трансформатора типа *ТДН 10000/110* со следующими каталожными данными: $U_{В\ ном}$*=115 кВ,* $U_{Н\ ном}$*=11 кВ,* $\Delta P_к$*=60 кВт,* $u_к$*=10.5%,* $\Delta P_х$*=11 кВт,* $I_{хх}$*=0.9%*.

Определить приведенные к стороне высшего напряжения параметры схемы замещения двух параллельно включенных трансформаторов и вычислить потери мощности в них при нагрузке на шинах низшего напряжения S_2*=12+j7.2 MBA*, *cos* φ_2*=0.85*.

Задание №3

На узловой подстанции районной электрической сети установлены два трехобмоточных трансформатора типа *ТДЦТН 63000/220* с соотношением мощностей обмоток *100%/100%/100%* и со следующими каталожными данными: $U_{В\ ном}$*=230 кВ,* $U_{С\ ном}$*=38,5 кВ,* $U_{Н\ ном}$*=11 кВ,* $u_{к\ В\text{-}С}$*=12.5%,* $u_{к\ В\text{-}Н}$*=24%,* $u_{к\ С\text{-}Н}$*=10.5%,* $\Delta P_{к\ В\text{-}Н}$*=320 кВт,* $\Delta P_{хх}$*=91 кВт,* $I_{хх}$*=1%*. Нагрузка на шинах среднего и низшего напряжения S_2*=40+j30 MBA*, S_3*=40+j30 MBA*.

Определить приведенные к стороне высшего напряжения параметры схемы замещения двух параллельно включенных трансформаторов и вычислить суммарные потери мощности в них по каталожным данным.

Задание №4

Составить схему замещения электрической сети (рис.1.). исходные данные: ЛЭП1 длиной 160 км выполнена проводом 2АС-300х2, номинальное напряжение 330 кВ; ЛЭП2 длиной 90 км выполнена проводом 4АС-300, номинальное напряжение 220 кВ; Т1-автотрансформатор 3АТДЦТН-240000/330/220; мощности нагрузок P_4 =400 МВт, P_4 =50 МВт, cos φ=0.9

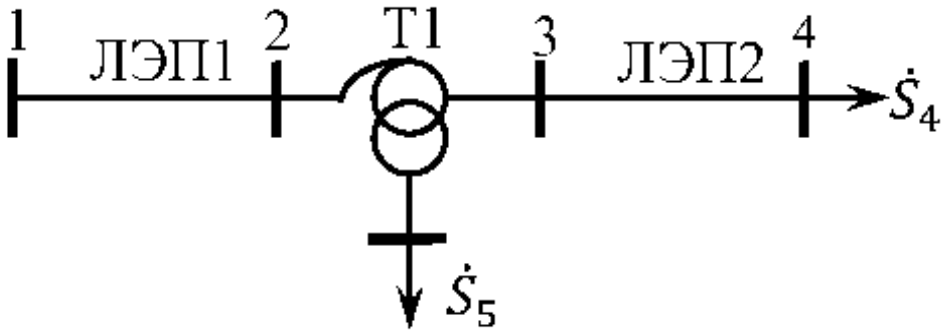


Рисунок – Исходная схема сети

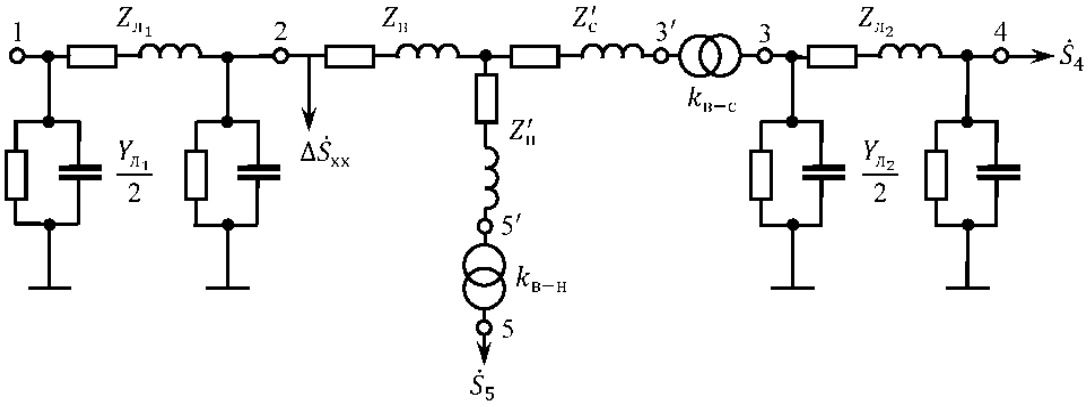


Рисунок – Схема замещения сети

Контрольные вопросы:

1. Классификация электрических сетей?

2. Схемы замещения электрических линий местных и районных электрических сетей.

3. Схемы замещения трансформаторов (автотрансформаторов)?

Практическая работа №7. Методика расчета максимального режима работы электрической сети. Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей

Цель: Получить навыки расчета режимов работы электрической сети

Основы теории:

Электрическая сеть высокого напряжения для передачи и распределения электроэнергии относится к категории электрических цепей, поэтому для расчета ее режима применяются общие методы теории цепей. Пусть задана мощность некоторой нагрузки $S_i = P_i + jQ_i$ узла i, которая должна быть учтена наряду с другими нагрузками при расчете режима сети. Однако именно напряжения в узлах сети являются искомыми величинами. Это обстоятельство препятствует непосредственному использованию законов Кирхгофа для получения однозначного решения, поэтому нашли применение и другие методы решения, в том числе метод последовательных приближений (итерационный метод).

Метод последовательных приближений основан на последовательном уточнении напряжений в узлах электрической сети, причем в качестве начального приближения может быть использовано разумное допущение о том, что напряжения во всех узлах в нормальном режиме не могут существенно отличаться от номинального напряжения данного класса сети.

Введение такого допущения позволяет определить приближенно потери мощности на каждом участке сети, мощности в начале и конце каждого участка и токи нагрузок.

Значение тока на участке или мощности в начале участка, непосредственно связанного с узлом, где напряжение считается известным, является достаточным для того, чтобы определить напряжение в конце этого участка. В свою очередь, становится возможным расчет напряжения в конце следующего участка и т. д.

Процесс продолжается до тех пор, пока значения напряжений во всех узах, полученные после выполнения данной итерации, не будут отличаться от напряжений, полученных на предыдущей итерации, менее чем на заданную величину точности расчета.

Задания:

Задание №1

Определить напряжение в конце воздушной линии 500 кВ в нагрузочном режиме S_2=800+j300 и в режиме холостого хода, построить векторные диаграммы токов напряжений. Схема сети приведена на рисунке 3.1. Расчет выполнить без учета потерь на корону.

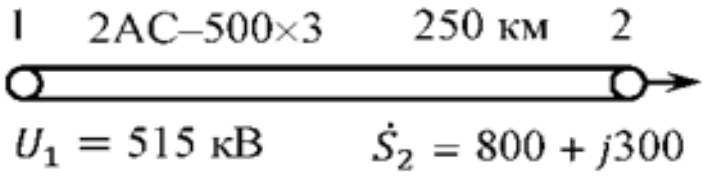


Рисунок 3.1 – Схема сети

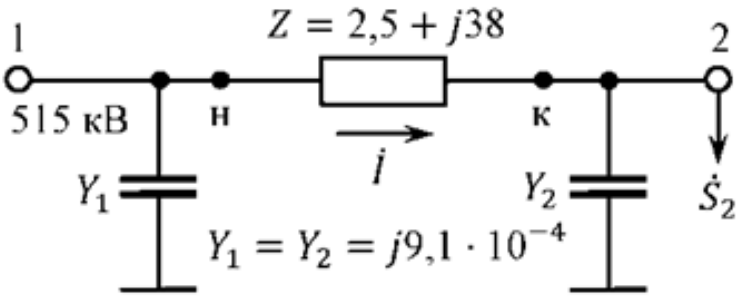


Рисунок 3.2 – Схема замещения сети

Задание №2

Построить векторные диаграммы токов и напряжений электрической сети без учета потерь мощности для сети, схема замещения которой представлена на рисунке 3.3

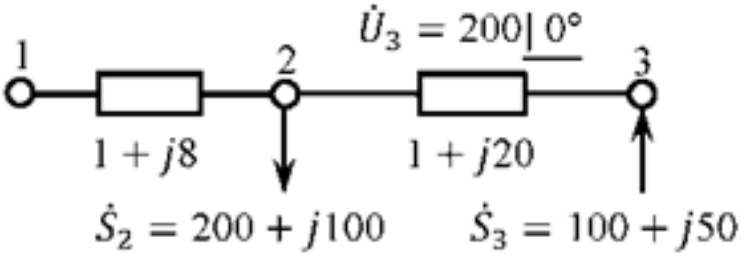


Рисунок 3.3 – Схема замещения сети

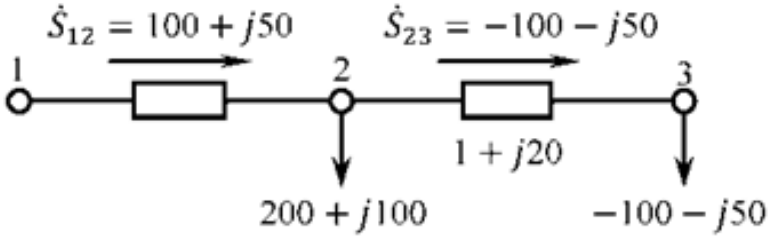


Рисунок 3.4 – Потокораспределение без потерь мощности

Задание №3

Определить напряжение в узле А в сети с равномерно распределенной нагрузкой, плотность нагрузки р=0,3 МВт/км. Схема сети показана на рисунке 3.5, напряжение базисного узла U=3,3 кВ, нагрузка узла А S_A=2+j1,6 МВА, длины линий приведены на схеме. При решении принять R_0=0.1 Ом/км, X_0=0,2 Ом/км. Потерями мощности пренебречь.

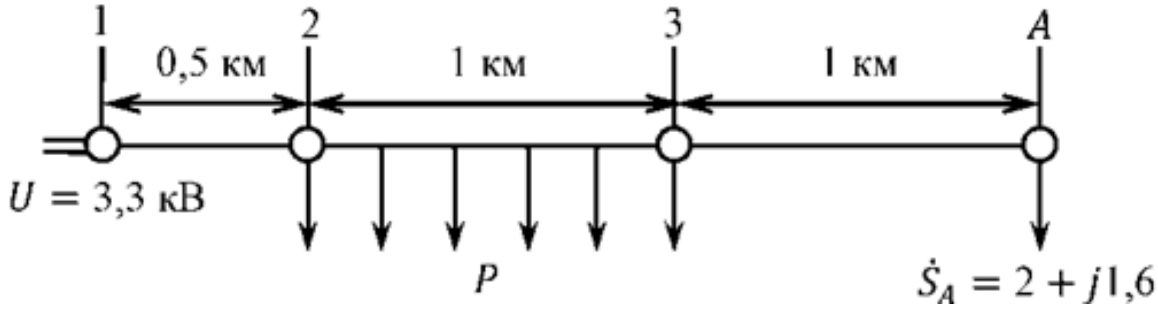


Рисунок 3.5 – Исходная схема

Задание №4

Выполнить электрический расчет сети, показанной на рисунке 3.6. Линия выполнена сечением 2АС-400, длина линии 100 км, два трансформатора ТРДЦН-63000/220, нагрузка $P_З$=100 МВт, *cosφ*=0,9, напряжение базисного узла 230 кВ.

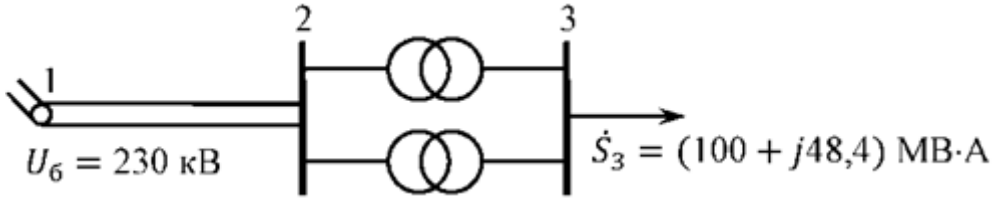


Рисунок 3.6 – Исходная схема сети

Контрольные вопросы:

1. Анализ различных режимов работы электрической линии. Влияние емкостных токов на режимные параметры.

2. Аналитическая зависимость между напряжениями начала и конца звена электрической сети.

3. Расчет напряжений в конце и начале линии электропередачи в различных режимах.

Практическая работа №8. Методика расчета послеаварийного режима работы электрической сети. Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием

Цель: Получить навыки расчета электрических сетей с двухсторонним питанием

Основы теории:

Линии с двухсторонним питанием в последнее время получают все более широкое распространение в практике сельской электрификации.

Основное преимущество их заключается в повышении надежности электроснабжения. Недостатками являются: большие затраты при сооружении, трудоемкость расчетов и сложная релейная защита.

Сложность расчета замкнутых сетей, частным случаем которых является линия с двухсторонним питанием, заключается в определении мощностей (токов) по участкам схемы, то есть в распределении мощностей (токов) по сети.

Мощность, поступающая в линию от источника питания А, определяется формулой:

$$S_{A-1} = \frac{\Sigma_i^n (S_i z_{ib})}{z_{AB}} + \frac{U_A - U_B}{z_{AB}} U_н$$

где S - мощность нагрузки, присоединенной в i-й точке схемы, ВА;

$Z_{iв}$ - сопротивление линии от точки присоединения нагрузки i до источника, В;

Z_{AB} - сопротивление всей линии, Ом;

U_n — номинальное напряжение линии, В.

Расчет аварийного режима, когда один из источников питания отключен, значительно упрощается, так как ничем не отличается от расчета радиальной схемы.

Когда известно распределение мощностей, потери напряжения на участках линии с двухсторонним питанием определяются по тем же формулам, что и для радиальной схемы, то есть

$$\Delta U = \frac{P_r + Q_x}{U_H}.$$

Максимальной потерей напряжения нормального режима линии с двухсторонним питанием называется сумма потерь напряжения на отдельных участках схемы от источника питания до точки токораздела, то есть

$$\Delta U_{max} = \Delta U_{A-1} + \Delta U_{1-2} + \ldots$$

Задания:

Задание №1

Определить потокораспределение в сети, приведенной на рисунке 4.1 без учета потерь мощности и генерации линий и напряжения узлов. Построить векторные диаграммы напряжений и токов. Нагрузки заданы в мегавольт-амперах, сопротивления – в омах.

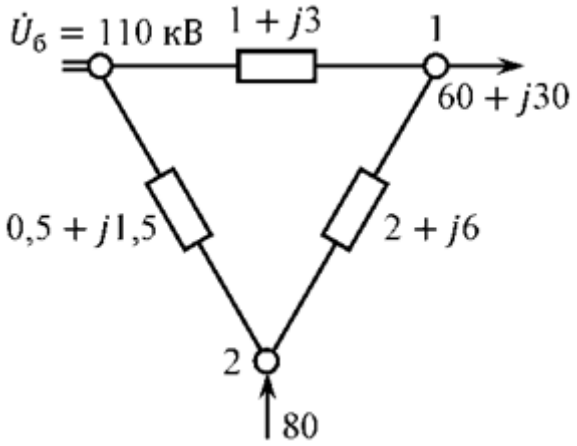


Рисунок 4.2 – Исходная схема

Задание №2

Определить токи в ветвях сети линии с двухсторонним питанием с разными напряжениями по концам передачи: UA=115 кВ, UB=110 кВ. Схема замещения сети приведена на рисунке 4.2, токи указаны в килоамперах, сопротивление в омах.

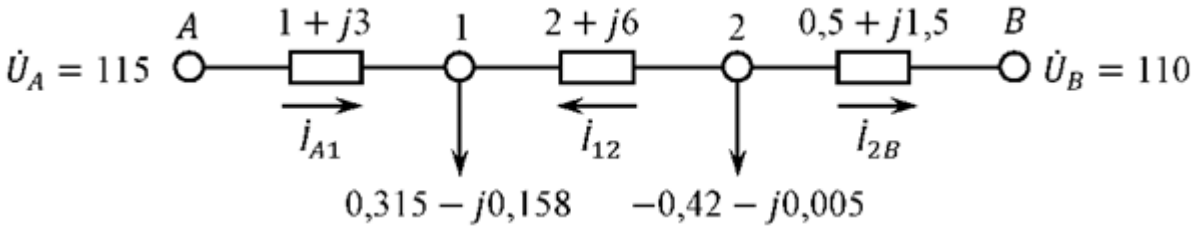


Рисунок 4.2 – Схема замещения сети

Задание №3

Определить параметры режима, потери активной мощности в процентах от передаваемой мощности и КПД двухцепной линии 220 кВ, протяженностью 200 км, с проводами АС300/39. Погонные параметры такой линии равны r_0=0.098 *Ом/км*, x_0=0,424 *Ом/км*, активной проводимостью линий пренебречь $b_0=2.68*10^{-6}$ См/км. Мощность и напряжение в конце линии соответственно равны S_2=240+j116 *MBA*, $cos\phi_2$=0.9, U_2=218 *кВ*.

Задание №4

От шин 110 кВ узловой подстанции А энергосистемы Центральной Сибири по кольцевой сети осуществляется электроснабжение трех понизительных подстанций, расчетные нагрузки которых равны:

$$S_1 = 25 + j15 = 29.2\angle 31^\circ \ MBA;$$
$$S_2 = 30 + j20 = 36.1\angle 33^\circ 40' \ MBA;$$
$$S_3 = 40 + j16 = 43\angle 21^\circ 50' \ MBA.$$

Таблица 4.1 – Параметры участков кольцевой линии

Линия	Марка провода	r_0 , $\frac{Ом}{км}$	x_0 , $\frac{Ом}{км}$	l_0 , $км$	r_1 , $Ом$	x_1 , $Ом$
А-1	АС 240	0,122	0,401	20	2,44	8,02
1-2	АС 185	0,159	0,409	20	3,18	8,18
2-3	АС 95	0,314	0,429	30	9,42	12,87
3-А	АС 240	0,122	0,401	50	6,10	20,05

Выполнить расчет нормального режима работы сети при напряжении на шинах подстанции А 121 кВ. Предварительный расчет потокораспределения в кольце выполнить двумя способами (по длинам и по сопротивлениям участков). Определить суммарную мощность, поступающую в кольцевую сеть с шин подстанции А и наибольшую потерю напряжения в процентах от напряжения на шинах подстанции А.

Контрольные вопросы:

1. Какая точка в сети называется точкой потокораздела?

2. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

3. Анализ различных режимов работы электрической линии. Влияние емкостных токов на режимные параметры.

4. Аналитическая зависимость между напряжениями начала и конца звена электрической сети.

5. Расчет напряжений в конце и начале линии электропередачи в различных режимах.

Практическая работа №9. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Регулирование напряжения в электрических сетях

Цель: Изучить средства регулирования напряжения в распределительных сетях

Основы теории:

Напряжение в узлах сети постоянно меняется из-за изменения нагрузки, режима работы источников питания, схемы сети.

Режим напряжений в электрической сети должен быть таким, чтобы были выполнены требования ГОСТ в отношении допустимых отклонений напряжения для электроприемников, которые питаются от этой сети. Значения отклонений напряжения часто превышают допустимые по следующим причинам:

- большие потери напряжения в сети;
- неправильный выбор сечений токоведущих элементов и мощности силовых трансформаторов;
- неправильное построение схемы сети.

Очень часто эти причины возникают при развитии сети, при ее реконструкции. Поэтому чтобы обеспечить необходимые отклонения напряжения на шинах электроприемников следует применять регулирование напряжения.

Регулированием напряжения называется процесс изменения напряжения в характерных точках сети с помощью специальных технических средств.

Способы регулирования напряжения возникли с возникновением электрических сетей. Их развитие происходило от низших уровней управления к высшим. Сначала использовалось регулирование напряжения в центрах питания распределительных сетей и непосредственно у потребителей и на энергоблоках электростанций. Сейчас эти методы регулирования напряжения называются локальными. По мере развития сетей и объединения их в крупные энергосистемы возникла необходимость координировать работу локальных методов. Координирование относится к высшим уровням регулирования напряжения.

Локальное регулирование может быть централизованным и местным. Централизованное управление выполняется в центрах питания. Местное регулирование проводится непосредственно у потребителей. Регулирование напряжения в центрах питания приводит к изменению режима напряжения во всей сети, которая питается от него. Местное регулирование приводит к изменению режима напряжения в ограниченной части сети.

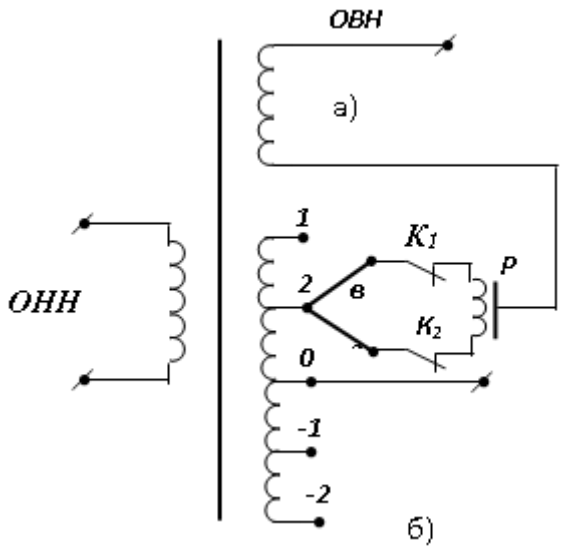


Рисунок 7.1 – Схема РПН с реактором

Рассмотрим принципиальную схему устройства РПН с реактором (рис. 7.1).

Обмотка высшего напряжения трансформатора с РПН состоит из двух частей: нерегулируемой или основной (а) и регулируемой (б).

На регулируемой части обмотки имеется ряд ответвлений к неподвижным контактам 1, 2, 0, -1, -2. Ответвления 1, 2 соотрые включены согласно виткам основной обмотки. При включении ответвлений 1, 2 коэффициент трансформации увеличивается. Ответвления –1, -2 соответствуют части витков, которые включены встречно по отношению к виткам основной обмотки. Их включение приводит к уменьшению коэффициента трансформации.

Основным выводом обмотки высшего напряжения является нулевой вывод. С него снимается номинальное напряжение.

На регулируемой части обмотки есть переключающее устройство. Оно состоит из подвижных контактов в и г, контакторов К1 и К2 и реактора Р. Середина обмотки реактора соединена с нерегулируемой частью обмотки высшего напряжения трансформатора. В нормальном режиме работы (без переключения) ток нагрузки обмотки высшего напряжения протекает через реактор и распределяется поровну между половинами обмотки реактора. Поэтому магнитный поток мал и потеря напряжения в реакторе тоже мала.

Переключения выполняются следующим образом. Предположим, что необходимо переключиться с ответвления 2 на ответвление 1. Для этого отключается контактор К1, переводится подвижный контакт на ответвление 1 и вновь включается контактор К1. В результате этих действий секция 1 - 2 оказывается замкнутой на реактор. Значительная индуктивность реактора ограничивает уравнительный ток, который возникает из-за наличия

напряжения на секции 1 – 2. Затем отключается контактор К2, переводится подвижный контакт г на ответвление 1 и включается контактор К2.

Реактор и все подвижные и неподвижные контакты переключающего устройства размещаются в баке трансформатора. Контакторы помещаются в отдельном кожухе. Он залит маслом и размещен снаружи бака трансформатора. Это облегчает ревизию контактов и смену масла.

Переключатели с реакторами рассчитаны на длительное протекание тока нагрузки. Но реактор является тяжелым и громоздким элементом. Поэтому переключающие устройства трансформаторов напряжение 220 кВ и выше выполняются на активных сопротивлениях. Чтобы снизить потери электроэнергии в таких устройствах, их рассчитывают на кратковременную работу. Устройство получается компактным, но требует применения мощных быстродействующих приводов. Принцип действия таких устройств рассмотрим на примере автотрансформаторов напряжением 220 – 330 кВ.

Устройство РПН автотрансформатора расположено в линейном конце обмотки среднего напряжения (рис. 18.4). При таком расположении устройства РПН изменяется коэффициент трансформации между обмотками высшего и среднего напряжений. Коэффициент трансформации между обмотками высшего и низшего напряжения не изменяется. Сначала устройство РПН автотрансформаторов выполнялось встроенным в нейтраль, как у трансформаторов. При регулировании изменялся коэффициент трансформации между всеми обмотками. При таком выполнении трудно было согласовать требования по регулированию напряжения у потребителей на сторонах низкого и среднего напряжений. При расположении устройства РПН в линейном конце обмотки среднего напряжения обмотка низшего напряжения оказывается нерегулируемой. Если возникает необходимость регулирования обмотки низшего напряжения автотрансформатора, последовательно с обмоткой низшего напряжения включают линейный регулятор. С экономической точки зрения такое решение оказывается более целесообразным, чем выполнение автотрансформатора с двумя устройствами РПН.

Выполнение ответвлений со стороны нейтрали позволяет облегчить изоляцию устройства РПН и рассчитать его на разность токов обмоток высшего и среднего напряжений ($I_В - I_С$). Но регулирование будет связанным. Выполнение ответвлений в линейном конце обмотки среднего напряжения устройство должно рассчитываться на полный номинальный ток, а его изоляция на напряжение обмотки среднего напряжения $U_С$. Но регулирование будет независимым.

Согласно рисунка, рабочий ток протекает через замкнутый контакт 1 и вспомогательный контакт 2. Переключение происходит в следующем порядке. При переходе со ступени, а на степень в сначала размыкается рабочий контакт 1, затем вспомогательный контакт 2. Ток нагрузки протекает через сопротивление R.

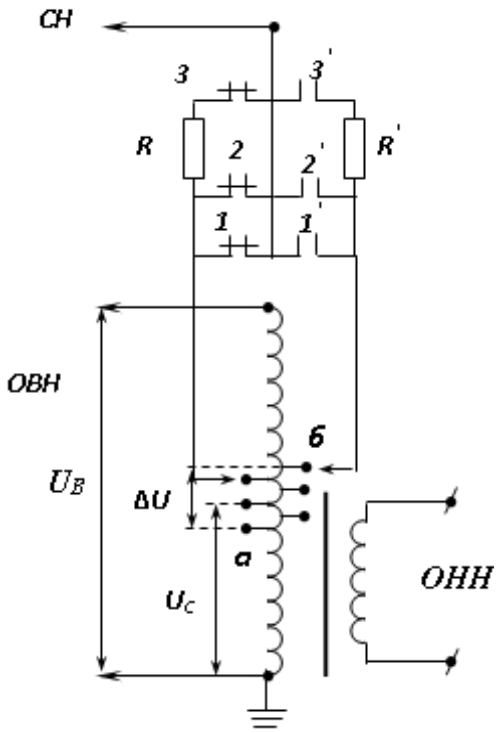


Рисунок 7.2 – Схема РПН на активных сопротивлениях

Замыкается дугогасительный контакт 3'. Образуется мост – уравнительный ток протекает через оба активных сопротивления R и R'. Размыкается дугогасительный контакт 3 и переводит ток нагрузки на правое плечо. Замыкаются контакты 2' и 1'. Создается новое рабочее положение.

Задания:

Задание №1

На понижающей подстанции установлены два двухобмоточных трансформатора типа ТРДН. Информация о номинальных мощностях, номинальных напряжениях и диапазонах регулирования напряжения представлена в таблице 22.

По результатам электрических расчетов сети получены значения напряжения на шинах высшего напряжения подстанции; известны значения мощностей на шинах низкого напряжения трансформаторов (табл. 7.1).

Требуется выбрать ответвления на обмотках высшего напряжения, если желаемое напряжение на шинах низкого напряжения.

Таблица 7.1 – Исходные данные о параметрах трансформаторов и параметров режимов

Номер варианта	Информация о трансформаторах	Диапазон регулирования	U_1, кВ	$\underline{S}_2$, МВ·А
1	ТРДН-25000/115/10,5/10,5	$\pm 9\times 1{,}78\,\%$	119	$30+j15$
2	ТРДН-40000/115/10,5/10,5	$\pm 9\times 1{,}78\,\%$	118	$45+j18$
3	ТРДЦН-63000/115/10,5/10,5	$\pm 9\times 1{,}78\,\%$	117	$75+j40$
4	ТРДЦН-80000/115/10,5/10,5	$\pm 9\times 1{,}78\,\%$	119,5	$90+j45$
5	ТРДН-40000/230/11/11	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	238	$49+j13$
6	ТРДЦН-63000/230/11/11	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	237	$80+j25$
7	ТРДЦН-100000/230/11/11	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	239	$115+j60$
8	ТРДН-40000/230/11/11	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	235	$47+j17$
9	ТРДН-63000/230/11/11	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	238	$78+j36$
10	ТРДНС-25000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	37	$29+j14$
11	ТРДНС-32000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	37,5	$32+j15$
12	ТРДНС-40000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	36,5	$44+j20$
13	ТРДНС-63000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	38	$79+j35$
14	ТРДНС-40000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	37	$49+j10$
15	ТРДНС-63000/36,75/10,5/10,5	$\pm 8\times 1{,}5\,\%$	38	$74+j40$

Задание №2

На понижающей подстанции установлен трехобмоточный трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой на стороне высшего напряжения и с ПБВ на стороне среднего напряжения, имеющий номинальные напряжения и диапазоны регулирования $115\pm(9\times 1{,}78)\,\%/38{,}5\pm(2\times 2{,}5)\,\%/11$.

По результатам электрических расчетов сети при наибольших и наименьших нагрузках получены значения напряжений на шинах низкого и среднего напряжений, приведенные к высшему напряжению, $U_3^{\text{в}}$ и $U_2^{\text{в}}$ соответственно (табл. 7.2).

Требуется выбрать ответвления на обмотках высшего и среднего напряжений, если желаемое напряжение на шинах 10 кВ в режиме наибольших нагрузок $U_{3\text{желнб}}=1{,}05U_{\text{н}}=10{,}5$ кВ; в режиме наименьших нагрузок $U_{3\text{желнм}}=1{,}0U_{\text{н}}=10$ кВ; на шинах 35 кВ в обоих режимах $U_{2\text{жел}}=36{,}5$ кВ.

Таблица 7.2 – Исходные данные о напряжениях

Номер варианта	Напряжение, приведенное к высшему напряжению	
	в режиме наибольших нагрузок	в режиме наименьших нагрузок

	$U^{в}_{2нб}$, кВ	$U^{в}_{3нб}$, кВ	$U^{в}_{2нм}$, кВ	$U^{в}_{3нм}$, кВ
1	105	103	119	117
2	106	104	112	114
3	109	104	117	119
4	112	107	118	109
5	113	111	114	111
6	109	108	118	112
7	108	104	117	112
8	106	102	114	109
9	108	105	117	115
10	109	105	115	113
11	107	103	114	112
12	103	102	116	112
13	106	102	117	114
14	108	102	117	115

Расчеты выполнить в следующем порядке:

1. Для обмоток высшего и среднего напряжения трансформатора подстанции рассчитать напряжения ответвлений, соответствующие каждой ступени регулирования, и составить таблицы в виде табл.7.3.

2. Для двух режимов определить расчетные и выбрать стандартные ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора из условия обеспечения желаемого напряжения на шинах 10 кВ.

3. Определить действительные напряжения в двух режимах на шинах 10 кВ.

4. Используя выбранные ответвления обмотки высшего напряжения для режимов наибольших и наименьших нагрузок, определить расчетное и выбрать стандартное ответвление обмотки среднего напряжения, исходя из желаемого напряжения на шинах 35 кВ.

5. Определить действительные напряжения в двух режимах на шинах 35 кВ.

6. Определить отклонения действительных напряжений от желаемых на шинах 10 и 35 кВ в двух режимах.

7. Сделать анализ и выводы о достаточности диапазонов регулирования трансформаторов.

8. Результаты расчетов представить в виде таблицы 7.4.

Таблица 7.3 – Параметры регулирования трансформатора

Номер ответвления	**Добавка напряжения, %**	**Напряжение ответвления, %**

Таблица 7.4 – Результаты выбора ответвлений трансформатора

Шины	Приведенное напряжение, кВ	Расчетное напряжение ответвления, кВ	Стандартное ответвление		Действительное напряжение, кВ	Отклонение действительного напряжения от желаемого, %
			кВ	%		
Режим наибольших нагрузок						
10 кВ 35 кВ						
Режим наименьших нагрузок						
10 кВ 35 кВ						

Контрольные вопросы:

1. Какие средства регулирования напряжения используют в распределительных сетях?

2. В чем различие трансформаторов с РПН и без РПН?

3. В чем заключается принцип встречного регулирования напряжения?

4. Какая информация необходима для выбора ответвлений двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов с РПН?

5. Как влияет установка компенсирующих устройств на потери мощности, потери напряжения?

6. Какими путями можно устранить в сети избыток реактивной мощности в сети?

7. Какие компенсирующие устройства могут работать как в режиме выдачи, так и в режиме потребления реактивной мощности?

8. В чем заключаются особенности конструкции устройства регулирования напряжения с РПН по сравнению с устройством без РПН?

9. Какое влияние оказывают режимы напряжений на потери активной мощности в элементах электрической сети?

10. Почему устройства РПН устанавливают преимущественно на стороне высшего напряжения трансформатора?

11. Каковы причины отклонения напряжения от номинального значения?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Ко-белев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбов-ский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 80 с. — 978-5-8265-1411-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64564.html

2. Ананичева, С. С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7996-1784-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/65910.html

3. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47317.html

4. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/35574.html

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей : учебное пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин ; под редакцией В. Т. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/20124.html

2. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/45078.html.

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2025 г.

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа №1. Выбор трансформаторов на подстанциях. Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети	
4.2	Лабораторная работа №2. Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи. Установившиеся режимы распределительных электрических сетей.	
4.3	Лабораторная работа №3. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях	
4.4	Лабораторная работа №4. Методика расчета минимального режима работы электрической сети. Оптимизация режима местной распределительной электрической сети	
4.5	Лабораторная работа №5. Уточненный расчет компенсирующих устройств в электрических сетях. Оптимизация режима районной распределительной электрической сети	
4.6	Лабораторная работа №6. Особенности расчета кольцевой сети, имеющей две точки потокораздела. Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования мощностей генерирующих электростанций	
4.7	Лабораторная работа №7. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования напряжения в узлах сети	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Приложения

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является изучение элементов электроэнергетических систем и способов передачи и распределения электрической энергии, знакомство с устройством, электрооборудованием и режимами работы электроэнергетических систем и сетей и овладение основами расчета установившихся режимов электроэнергетических систем и сетей.

Задачами изучения дисциплины является освоение студентами современных методов проектирования и расчета режимов работы электрооборудования, приобретение навыков выбора схем электрических соединений и электрооборудования электрических подстанций и сетей на основе технико-экономических расчетов с учетом фактора надежности, расчетов и управления режимами электроэнергетических систем.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

– Комплект учебно-лабораторного оборудования «Умная местная распределительная электрическая сеть».

– Научно-исследовательский комплекс «Централизованные средства защиты, автоматизации и управления электроэнергетических систем», исполнение стендовое компьютерное.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

Для очно-заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа №1. Выбор трансформаторов на подстанциях. Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети – 2 часа; Лабораторная работа №5. Уточненный расчет компенсирующих устройств в электрических сетях. Оптимизация режима районной распределительной электрической сети – 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			

1	**Лабораторная работа №1. Выбор трансформаторов на подстанциях.** Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы трансформатора и электрической сети.	2	
2	**Лабораторная работа №2. Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи.** Установившиеся режимы распределительных электрических сетей. Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы линии электропередач.	2	
3	**Лабораторная работа №3. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях.** Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях Приобрести навыки регулирования в распределительных электрических сетях	2	
4	**Лабораторная работа №4. Методика расчета минимального режима работы электрической сети.** Оптимизация режима местной распределительной электрической сети Приобрести навыки оптимального управления нормальными режимами в ЭС	4	
5	**Лабораторная работа №5. Уточненный расчет компенсирующих устройств в электрических сетях.** Оптимизация режима районной распределительной электрической сети Исследовать влияние компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи на параметры установившегося режима разомкнутой распределительной электрической сети	4	
6	**Лабораторная работа №6. Особенности расчета кольцевой сети, имеющей две точки потокораздела.** Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования мощностей генерирующих электростанций Изучить принципы дистанционного управления режимом работы электростанций; изучить методы управления режимом работы распределительных сетей; исследовать влияние режимных параметров на суммарную величину потерь в распределительной сети.	2	
7	**Лабораторная работа №7. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях.** Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования напряжения в узлах сети	2	

	Изучить принципы дистанционного управления режимом работы электростанций; изучить методы управления режимом работы распределительных сетей; исследовать влияние режимных параметров на суммарную величину потерь в распределительной сети.		
	Итого за 7 семестр:	**18**	
	Итого:	**18**	

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Выбор трансформаторов на подстанциях. Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети

Цель работы: Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы трансформатора и электрической сети.

Основы теории:

На электрических схемах двухобмоточный трансформатор представляется следующим образом (рисунок 1.1):

В обмотках указывается схемы соединения обмоток (звезда, звезда с нулем, треугольник) и режим работы нейтрали:

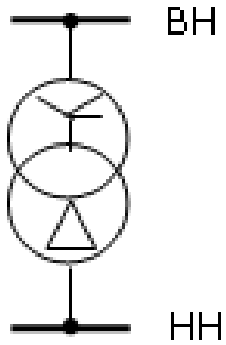


Рисунок 1.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

- звезда – с изолированной нейтралью;
- звезда с нулем – имеется соединение нейтрали с землей.

В соответствии с принятой системой обозначений аббревиатура трансформатора ТДН-10000/110/10 расшифровывается: трансформатор трехфазный, двухобмоточный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, и системой регулирования напряжения под нагрузкой. Номинальная мощность – 10000 кВ·А, класс напряжения обмотки высшего напряжения – 110 кВ, низшего напряжения – 10 кВ.

В практических расчетах двухобмоточный трансформатор чаще всего представляется Г-образной схемой замещения (рисунок 1.2).

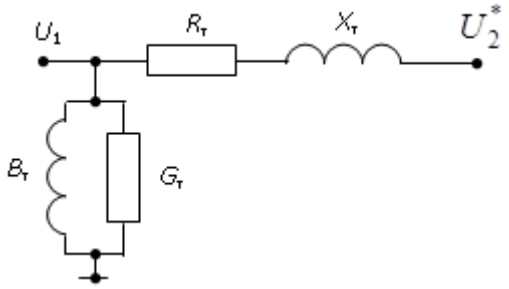


Рисунок 1.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

Активное и реактивное сопротивления трансформатора (продольная ветвь) представляют собой сумму активных и реактивных сопротивлений обмотки высшего напряжения и приведенной к ней обмотки низшего напряжения:

$$R_{\text{т}} = R_{\text{в}} + R_{\text{н}}^{*};$$

$$X_{\text{т}} = X_{\text{в}} + X_{\text{н}}^{*}.$$

Поперечная ветвь схемы замещения представлена активной Gt и реактивной Bт проводимостями. Проводимости обычно подключают со стороны первичной обмотки: для повышающих трансформаторов – со стороны обмотки низшего напряжения, для понижающих – со стороны обмотки высшего напряжения.

В такой схеме замещения отсутствует трансформация, то есть отсутствует идеальный трансформатор. Поэтому в расчетах вторичное напряжение оказывается приведенным к напряжению первичной обмотки.

Активная проводимость обусловлена потерями активной мощности в стали трансформатора на перемагничивание и вихревые токи, реактивная проводимость – намагничивающей мощностью. В расчетах режимов электрической сети проводимости заменяются нагрузкой, равной потерям холостого хода.

Параметры схемы замещения трансформатора определяются из двух опытов – холостого хода и короткого замыкания. В опытах определяют следующие величины, которые указывают в паспортных данных трансформатора:

- потери активной мощности в режиме холостого хода $\Delta P_{\text{х}}$ в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания $\Delta P_{\text{к}}$ в кВт;
- напряжение короткого замыкания $U_к$, в %;
- ток холостого хода $I_х$, в %.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди (нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока нагрузки.

Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи. Определяются потерями холостого хода трансформатора $\Delta P_{\text{х}}$, которые приводятся в его паспортных данных.

Потери реактивной мощности в стали определяются по току холостого хода трансформатора, значение которого в процентах приводится в его паспортных данных:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \Delta Q_{\text{х}} = \frac{I_{\text{х}}}{100} S_{\text{ном}}.$$

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

- по параметрам схемы замещения;
- по паспортным данным трансформатора.

Потери мощности по параметрам схемы замещения определяются по тем же формулам, что и для ЛЭП:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} R_{\text{т}};$$

$$\Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} X_{\text{т}}$$

где: S – мощность нагрузки;

U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора потери в меди определяются как сумма потерь мощности каждой из обмоток. Получим выражения для определения потерь мощности по паспортным данным двухобмоточного трансформатора.

Потери короткого замыкания, приведенные в паспортных данных, определены при номинальном токе трансформатора:

$$\Delta P_{\text{к}} = 3 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S_{\text{ном}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{т}}.$$

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны:

$$\Delta P_{\text{мд}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{т}}.$$

Разделив эти выражение, получим:

$$\frac{\Delta P_{\text{к}}}{\Delta P_{\text{мд}}} = \frac{S_{\text{ном}}^2}{S}.$$

Откуда найдем $\Delta P_{\text{мд}}$:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2.$$

Если в выражение для расчета $\Delta Q_{\text{мд}}$, подставить выражение для определения реактивного сопротивления трансформатора, то получим:

$$\Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} X_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х}} + \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2;$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{х}} + \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

Если на подстанции с суммарной нагрузкой S работает параллельно n одинаковых трансформаторов, то их эквивалентные сопротивления в n раз меньше, а проводимости в n раз больше, тогда:

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2;$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n \cdot \Delta Q_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

Для n параллельно работающих одинаковых трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) потери мощности рассчитываются по формулам:

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} [\Delta P_{\text{кв}} (\frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кс}} (\frac{S_{\text{с}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кн}} (\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{ном}}})^2];$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n \cdot \Delta Q_{\text{х}} + \frac{1}{100 \cdot n \cdot S_{\text{ном}}} (U_{\text{кв}} \cdot S_{\text{в}}^2 + U_{\text{кс}} \cdot S_{\text{с}}^2 + U_{\text{кн}} \cdot S_{\text{н}}^2),$$

где: $S_в$, $S_с$, $S_н$ – соответственно мощности, проходящие через обмотки высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в моделях A3…A6 равными, например, 10 Вт и 0 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Кнопкой « < » измерителей P1 и P2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима на первичной и вторичной сторонах трансформатора A1 (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности, коэффициенты мощности, частоту напряжения).

11. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6, однофазный источник питания G1.

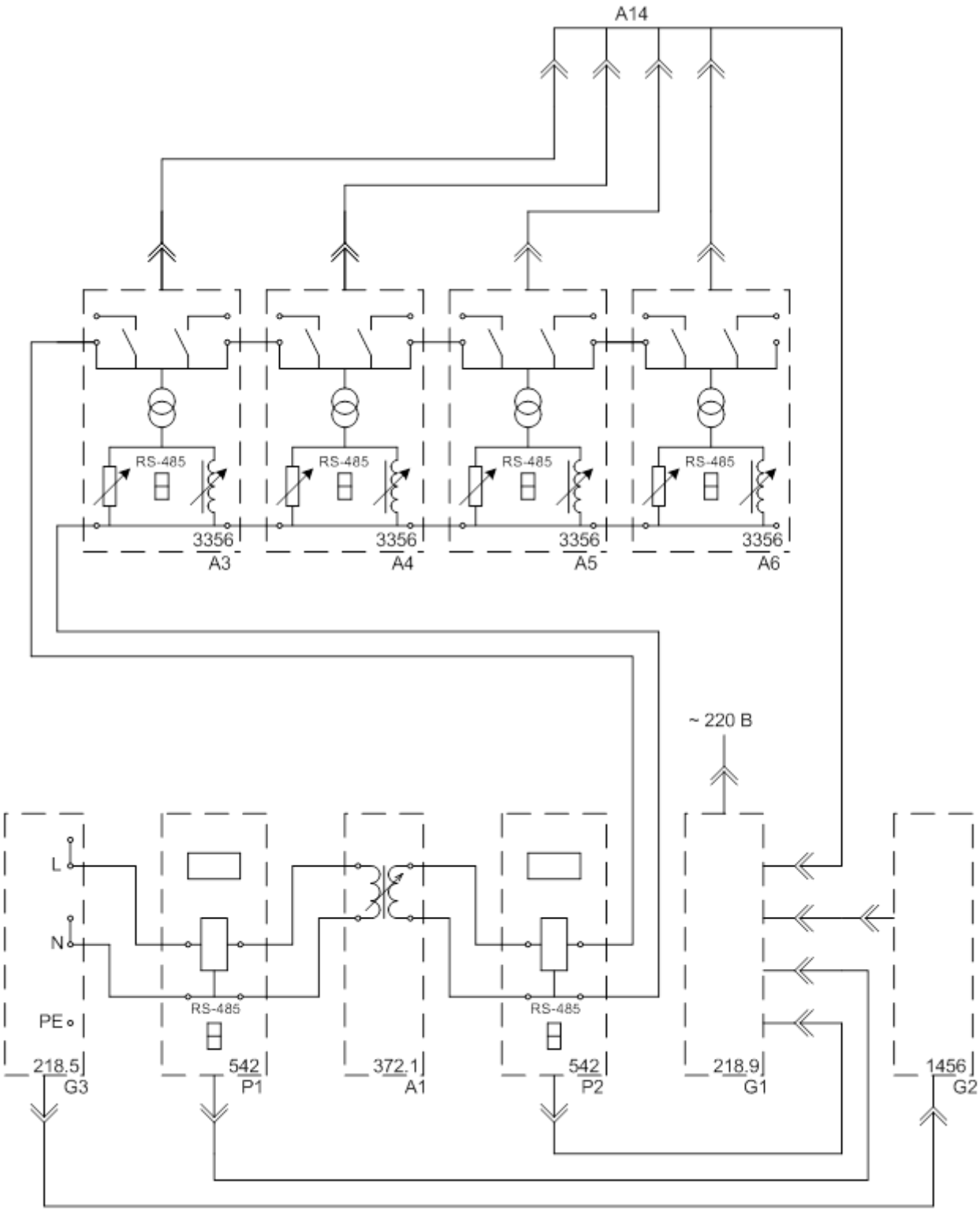


Рисунок 1.3 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора

Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.4.

4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры модели A7, линии электропередачи и нагрузок в моделях A3…A6 соответственно равными, например, 50 Ом; 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A5.

8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

9. Включите однофазный источник питания G3.

10. Кнопкой « < » измерителей P1 и P2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима в начале и конце модели A7 линии электропередачи (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности).

11. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A5, однофазный источник питания G1.

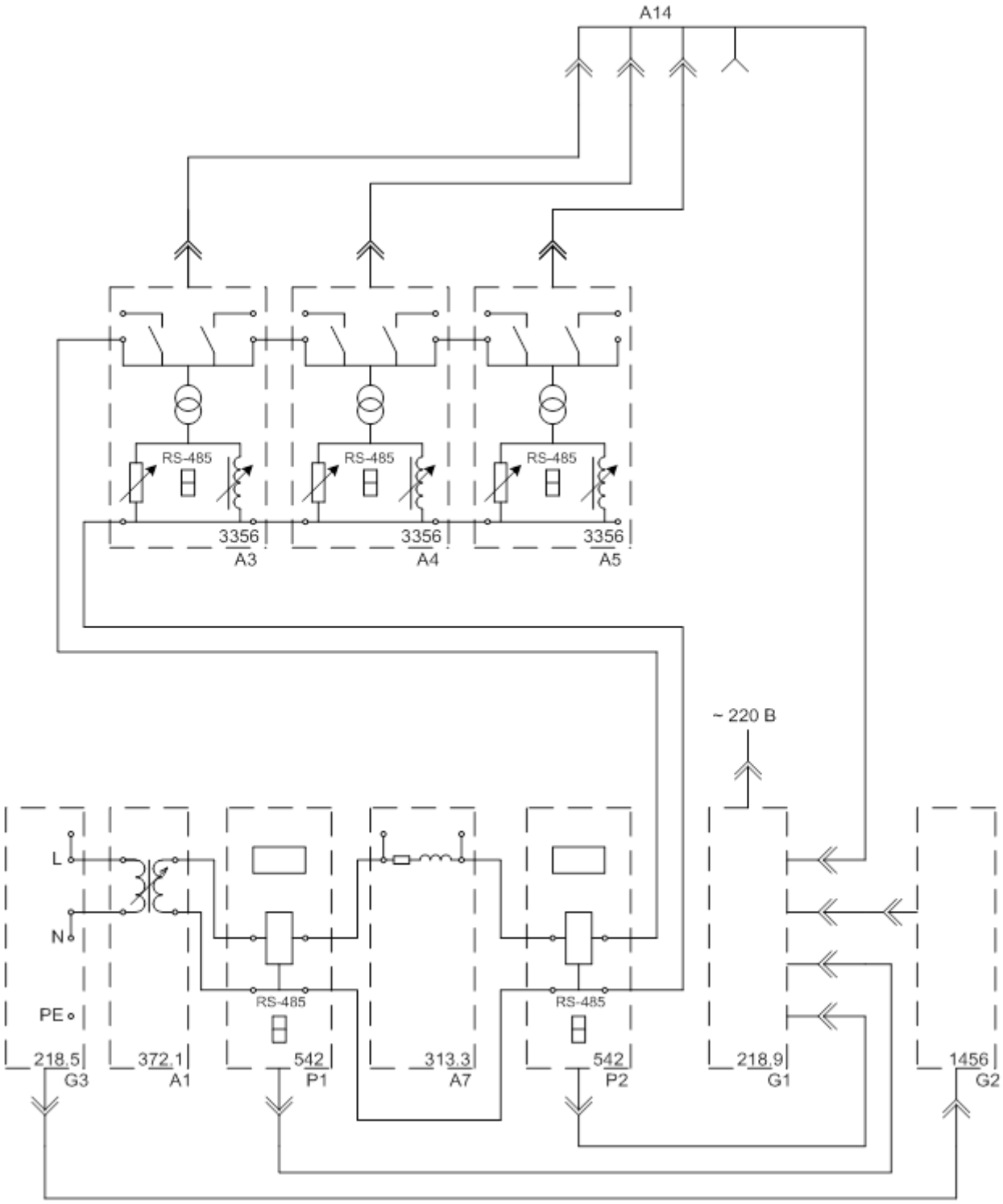


Рисунок 1.4 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы линии электропередачи.

Часть 3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.

4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.

5. Установите переключателями параметры модели A7, линии электропередачи соответственно равными 50 Ом и 0,15 Гн.

6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в модели A3, например, соответственно равными10 Вт, 10 Вар.

7. Установите переключателями желаемую емкостную нагрузку A12, например, 0 %.

8. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

9. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и модели A3.

10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

11. Включите однофазный источник питания G3.

12. Варьируя коэффициент трансформации трансформатора A1, изменяйте напряжение **U** на нагрузке A3, A12 и заносите показания измерителя P1 (напряжение **U,** активную **P** и реактивную мощность **Q**, потребляемую нагрузкой) в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты снятия показаний

U, В											
P, Вт											
Q, ВАр											

По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и модели A3, однофазный источник питания G1.

Используя данные таблицы 1.1, постройте искомые статические характеристики мощности нагрузки **P(U) и Q(U)**.

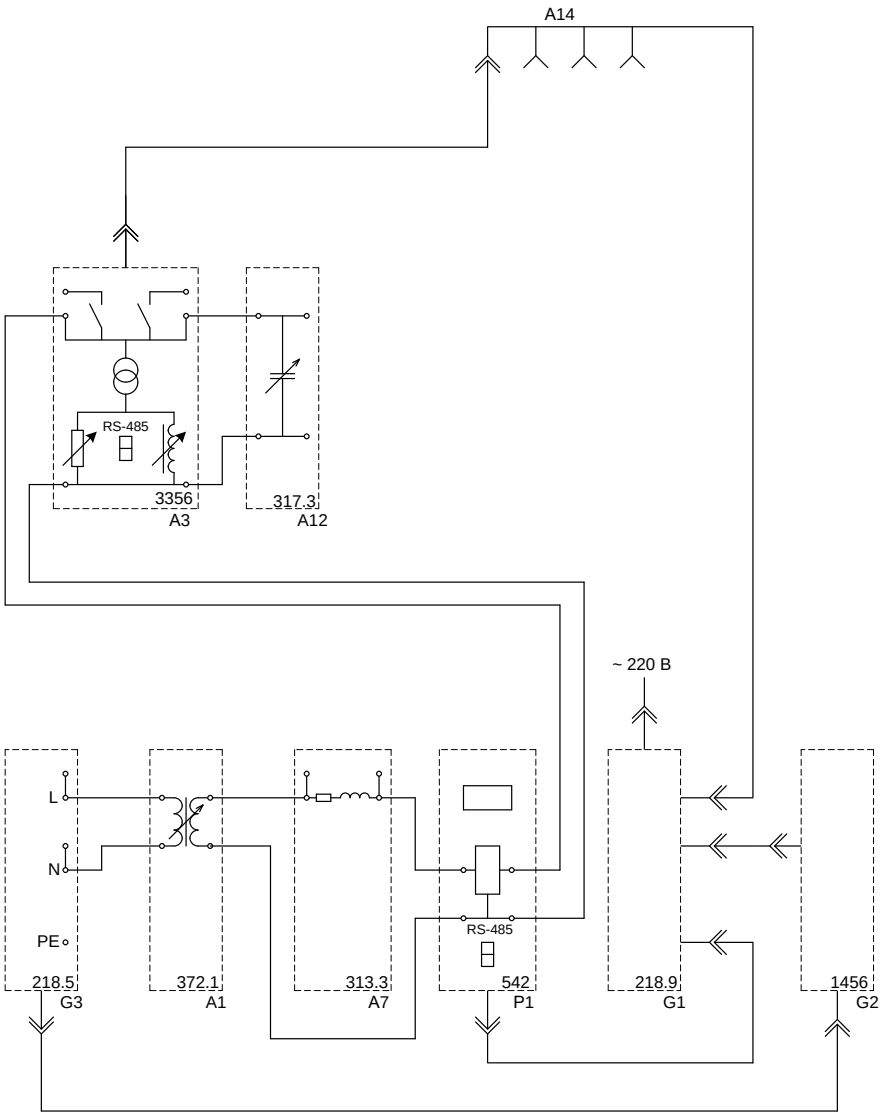


Рисунок 1.5 – Схема для снятия статической характеристики мощности по напряжению статической нагрузки.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;

2. Цель работы;

3. Краткие теоретические сведения;

4. Описание используемого оборудования и материалов;

5. Порядок выполнения работы;

6. Вычисления и обработка результатов;

7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие схемы замещения применится для моделирования и расчетов трансформаторов?

2. Какие данные необходимы для вычисления активного сопротивления схемы замещения трансформатора?

3. От чего зависят потери холостого хода трансформатора?

4. В каких случаях применяют П-образные схемы замещения трансформатора?

5. Какими параметрами характеризуется установившийся режим работы

Лабораторная работа №2. Выбор сечений проводов воз-душных линий электро-передачи. Установившиеся режимы распределительных электрических сетей.

Цель работы: Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы линии электропередач.

Основы теории:

Измерения и расчёты установившихся режимов выполняют для того, чтобы определить, насколько приемлем рассматриваемый режим с точки зрения качества доставляемой потребителю электрической энергии и соответствия токов в линиях допустимым токам.

В результате расчёта таких режимов находят потоки мощности на участках сети и напряжения в узловых точках.

Для расчёта вручную легче пользоваться методом контурных уравнений, хотя в программах для ЭВМ используется метод узловых напряжений.

Расчёт по методу контурных уравнений ведется в два этапа. Сначала определяется потокораспределение мощностей по участкам без учета потерь мощности по уравнению:

$$\sum_{i=1}^{n} \underline{S}_i \overset{*}{Z}_i = 0,$$

где: *Si* – комплекс полной мощности, протекающей по i-му участку сети;

Z_i^* - комплексно-сопряжённое сопротивление i-го участка сети;

n – число участков сети в контуре.

Это уравнение в комплексных числах можно заменить двумя уравнениями с вещественными величинами:

$$\sum_{i=1}^{n} (P_i R_i + Q_i X_i) = 0; \qquad \sum_{i=1}^{n} (P_i X_i - Q_i R_i) = 0,$$

где: *Pi* и *Qi* – соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по i-му участку сети;

Ri и *Xi* – соответственно активное и реактивное сопротивления i-го участка.

В результате расчёта по уравнениям находится потокораспределение без учета потерь мощности.

На втором этапе рассчитывается потокораспределение с учетом потерь мощности и напряжения в узлах сети. Для этого из всех найденных на первом этапе потоков мощности в качестве истинных принимаются два вблизи точки потокораздела, по ним находят потери

мощности на участках и потоки в начале и конце каждого участка, двигаясь в направлении от точки потокораздела к опорному (балансирующему) узлу.

$$\Delta P_{23} = \frac{\left(P_{23}^{к}\right)^2 + \left(Q_{23}^{к}\right)^2}{U_{ном}^2} R_{23}; \quad \Delta Q_{23} = \frac{\left(P_{23}^{к}\right)^2 + \left(Q_{23}^{к}\right)^2}{U_{ном}^2} X_{23}.$$

Мощность в начале участка 2 - 3:

$$P_{23}^{н} = P_{23}^{к} + \Delta P_{23}; \quad Q_{23}^{н} = Q_{23}^{к} + \Delta Q_{23}.$$

Мощность в конце следующего участка 1 – 2:

$$P_{12}^{к} = P_{23}^{н} + P_{2p}; \quad Q_{12}^{к} = Q_{23}^{н} + Q_{2p},$$

где: *P2p* , *Q2p* – расчётные мощности в узле 2.

Аналогичным образом, двигаясь в обе стороны от точки потокораздела в направлении балансирующего узла, производят расчёт всех потоков мощности в сети.

Определив мощность вблизи балансирующего узла, можно найти напряжения во всех точках сети. Например, если известны мощности в начале участка 1-2 *Рн12* и *Qн12*, можно определить напряжение в узле 2:

$$U_2 = \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_{12}^{н} R_{12} + Q_{12}^{н} X_{12}}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{P_{12}^{н} X_{12} - Q_{12}^{н} R_{12}}{U_1}\right)^2}.$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.

4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок в моделях A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и моделей A3, A4.

8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

9. Включите однофазный источник питания G3.

10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой «<», определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима соответственно на входе трансформатора A1, в начале и конце линии электропередачи A7, начале и конце линии электропередачи A8).

11. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и моделей A3, A4, однофазный источник питания G1.

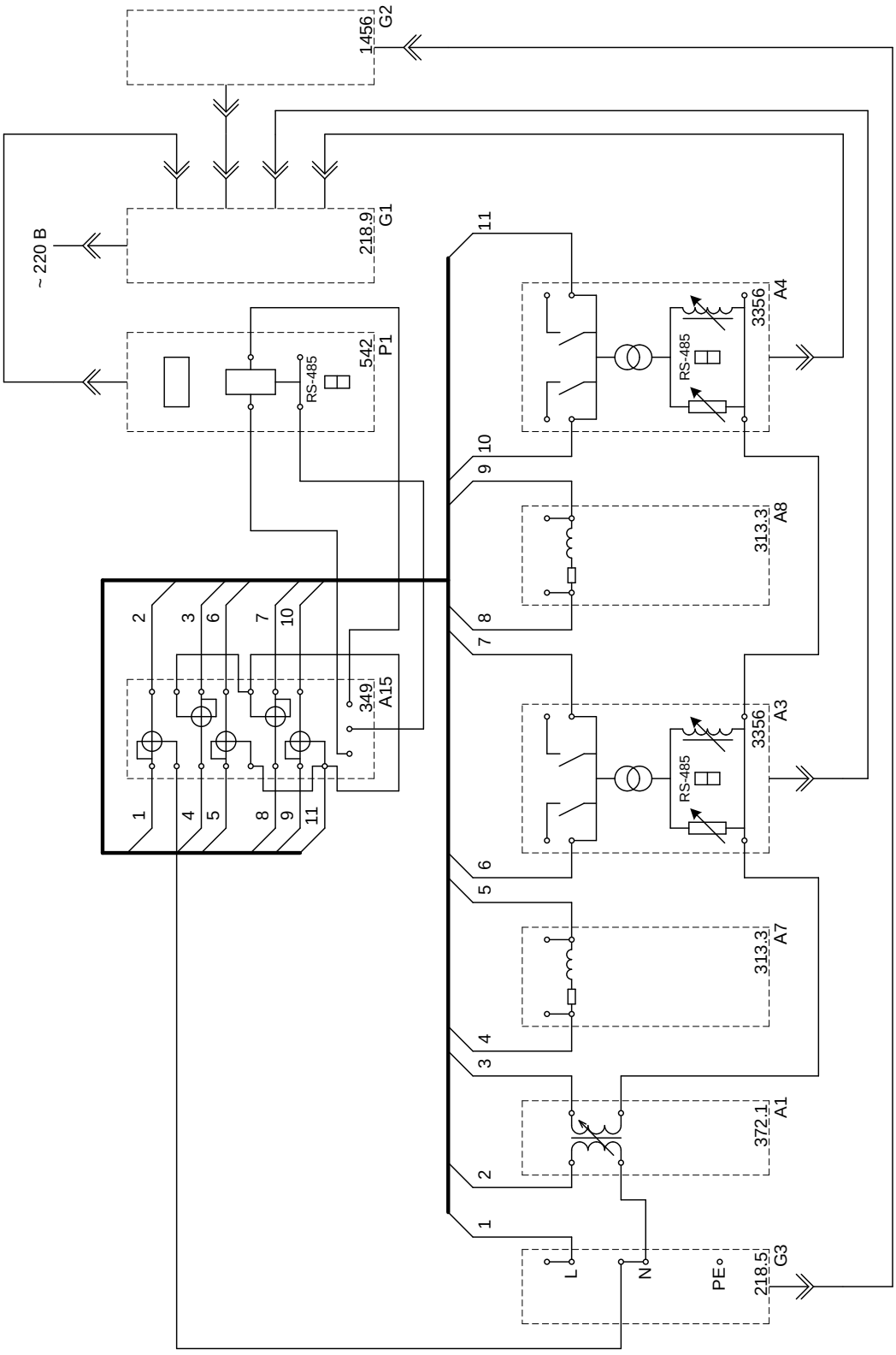


Рисунок 2.1 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием.

Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.2.

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7…A9 линий электропередачи и нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.

8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

9. Включите однофазный источник питания G3.

10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой «< », определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима соответственно в начале и конце линии электропередачи A7, начале и конце линии электропередачи A8, начале линии электропередачи A9).

11. С помощью измерителя P2, манипулируя кнопкой «< », определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей в конце линии электропередачи A9.

12. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4, однофазный источник питания G1.

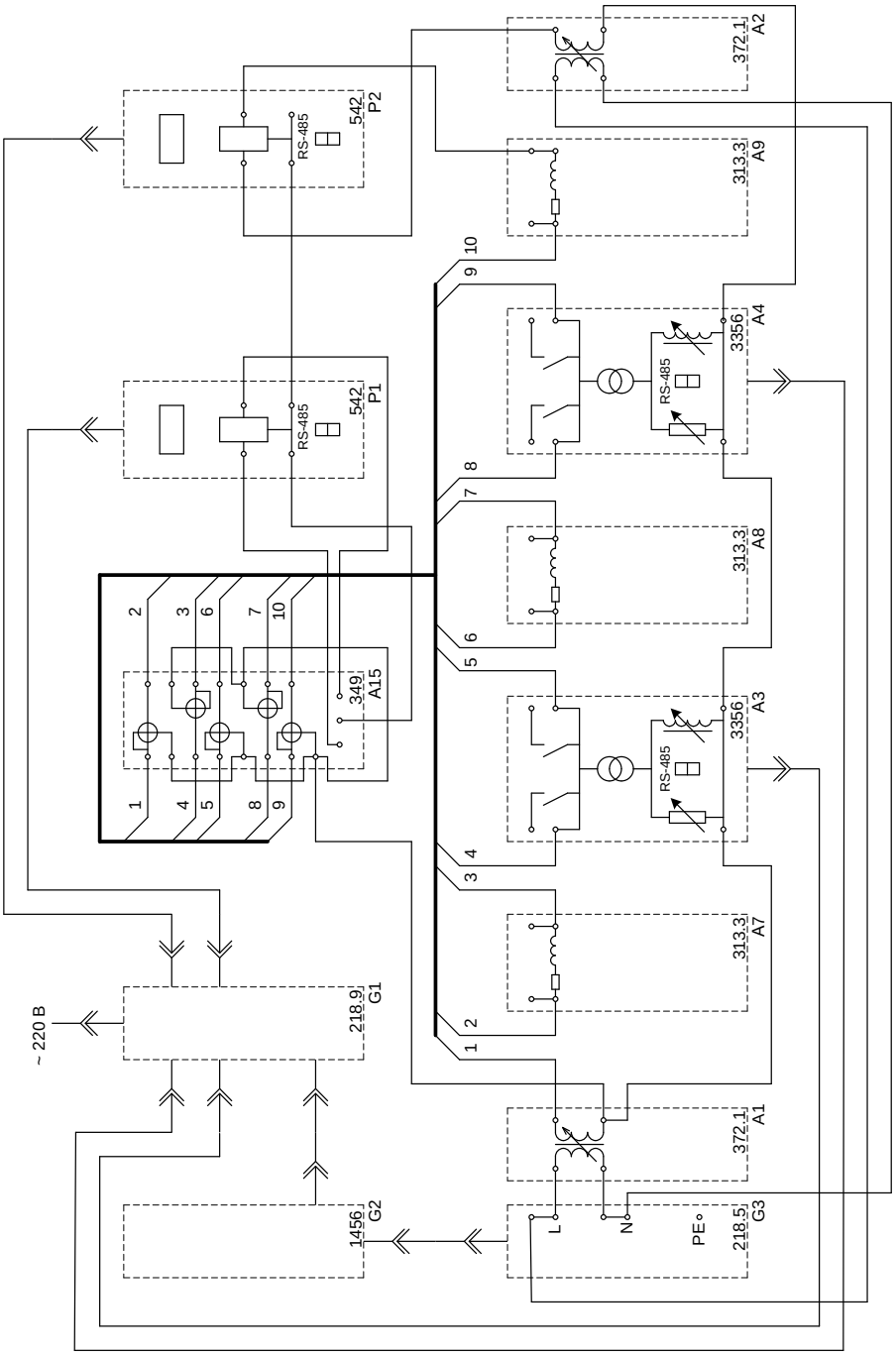


Рисунок 2.2 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;

6. Вычисления и обработка результатов;

7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какая точка в сети называется точкой потокораздела?

2. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

Лабораторная работа №3. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях

Цель работы: Приобрести навыки регулирования в распределительных электрических сетях

Основы теории:

Режим замкнутой электрической сети двух номинальных напряжений (потоки мощности в ветвях сети, напряжения в узлах) зависит от коэффициентов трансформации трансформаторов связи, с помощью которых

$$\underline{E} = E' + jE'' = U_1\left(1 - \prod_{i=1}^{m} \underline{k}_{Ti}\right),$$

где E′ и E″ – соответственно продольная и поперечная составляющие ЭДС;

m – количество трансформаторов в контуре.

Если в контуре имеются трансформаторы только с продольным регулированием (обычные трансформаторы с ответвлениями), то:

$$\underline{E} = E' = U_1\left(1 - \prod_{i=1}^{m} k_{Ti}\right).$$

Эта ЭДС будет создавать уравнительную мощность:

$$\underline{S}_{yp} = P_{yp} + jQ_{yp} = \sqrt{3}\,U_1\,\overset{*}{I}_{yp} = \sqrt{3}\,U_1\,\frac{\overset{*}{E}}{\sqrt{3}\,\overset{*}{Z}_к} = \frac{U_1\,\overset{*}{E}}{\overset{*}{Z}_к},$$

Если в контуре создаётся только продольная ЭДС, то:

$$\underline{S}_{yp} = P_{yp} + jQ_{yp} = \frac{U_1\,E'}{\overset{*}{Z}_к} = \frac{U_1^2\left(1 - \prod_{i=1}^{m} k_{Ti}\right)}{\overset{*}{Z}_к}.$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Встречное регулирование напряжения

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.7.

4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок модели A3 соответственно равными, например, 50 Ом; 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.

8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

9. Включите однофазный источник питания G3.

10. С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.

11. С помощью измерителя P1 определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.

12. Встречное регулирование напряжения осуществляйте изменением коэффициента трансформации трансформатора A1.

13. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3, однофазный источник питания G1.

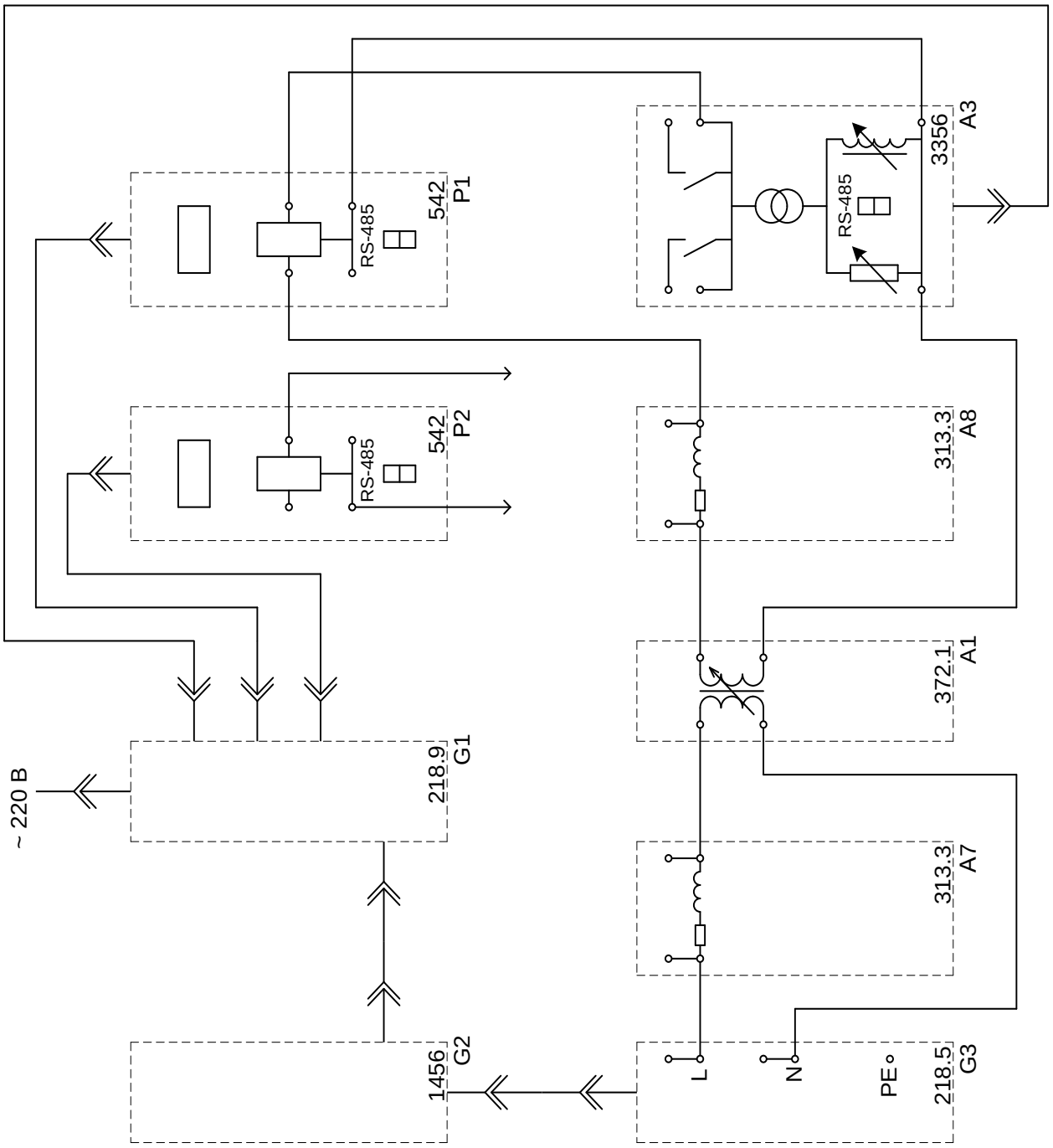


Рисунок 3.7 – Схема для изучения встречного регулирования напряжения.

Часть 2. Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.8.

4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок модели A3 соответственно равными, например, 50 Ом; 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

6. Переключатель емкостной нагрузки A12 установите в положение «0».

7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.

9. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

10. Включите однофазный источник питания G3.

11. С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.

12. С помощью измерителя P1 определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.

13. Регулирование напряжения осуществляйте изменением реактивной мощности, генерируемой емкостной нагрузкой A12.

14. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3, однофазный источник питания G1.

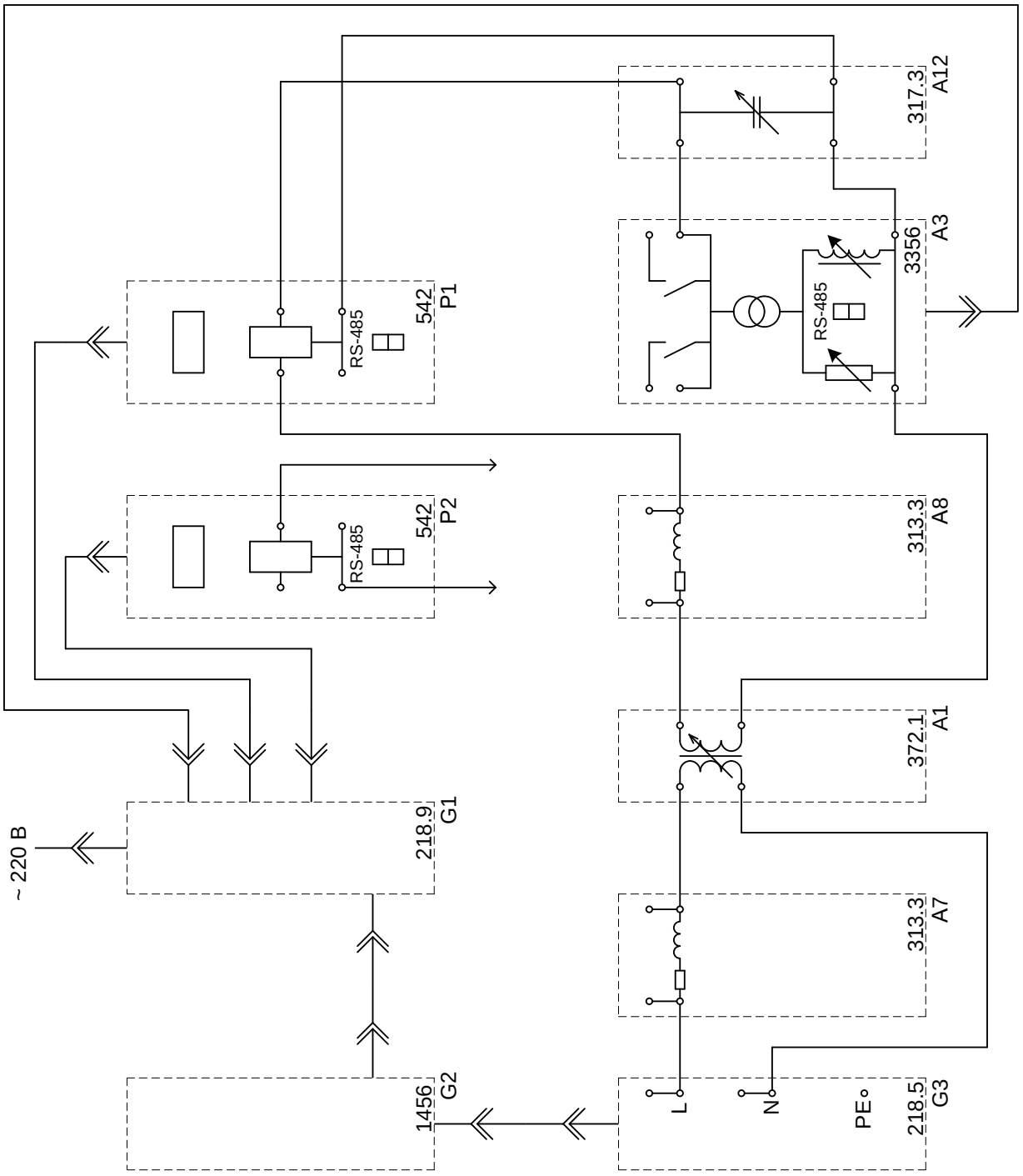


Рисунок 3.8 – Схема для изучения регулирования напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;

2. Цель работы;

3. Краткие теоретические сведения;

4. Описание используемого оборудования и материалов;

5. Порядок выполнения работы;

6. Вычисления и обработка результатов;

7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какая последовательность вычислений применяется при расчетах разомкнутых сетей?

2. Какие преобразования используют при упрощении схем замещения электрических сетей?

3. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

Лабораторная работа №4. Методика расчета минимального режима работы электрической сети. Оптимизация режима местной распределительной электрической сети

Цель работы: Приобрести навыки оптимального управления нормальными режимами в ЭС

Основы теории:

Оптимальное управление нормальными режимами (НР) в ЭС заключается в том, чтобы за рассматриваемый период времени обеспечить надежное электроснабжение потребителя ЭЭ требуемым количеством при минимальных эксплуатационных затратах за этот период.

Оптимизация режимов соответствует требованиям достижения наибольшего народно-хозяйственного эффекта по критерию минимального расхода условного топлива (у.т).

Оптимизация режимов по принципам оперативно-диспетчерского управления ЭС осуществляется на различных временных и территориальных уровнях.

Оптимизация текущего режима – оптимизация режима за отрезок времени не более одного часа, при этом параметры режима в течение рассматриваемого отрезка времени постоянны. Оптимизация текущего режима (ОТР) применяется в ЭС не содержащих ГЭС и ТЭЦ с ограниченным запасом топлива, т.е. при условии, что нет ограничения на количество энергоносителя за некоторый период времени. При этом каждый момент времени можно рассматривать независимо от других, т.е. свести задачу управления ЭС в течение некоторого периода времени (суток) к последовательности независимых задач управления в каждый момент времени.

В действительности от момента сбора информации, расчета на ЭВМ до реализации режима проходит время. Поэтому можно говорить лишь о темпе выдачи управляющих воздействий (ежечасной, через каждые 10 минут, каждую минуту).

В качестве (минимизируем) целевой функции принимаются издержки за интервал времени между двумя, управляющими воздействиями, либо (при равенстве этих интервалов) издержки в единицу времен.

Допустимый режим должен удовлетворять условиям надежности электроснабжения и качества электроэнергии, выраженных в виде ограничений-равенств и неравенств на контролируемые параметры режима.

Оптимальный режим – такой из допустимых, при котором обеспечивается минимум суммарного расхода у.т. при заданном полезном отпуске электроэнергии.

Три вида задач оптимизации режимов:

1) оптимизация энергии энергосистемы по активной мощности ТЭС (распределение P между электростанциями);

2) оптимизация режима электрической сети, уменьшение ΔP при оптимизации режима по U, Q и n;

3) более общая задача комплексной оптимизации режима ЭС.

1) Первая задача позволяет найти P электростанций, соответствующие минимуму суммарного расхода у.т. с приближенным учетом потерь в сети при заданных нагрузках потребителей.

Если не учитывать ограничения-неравенства на P электростанций и сетей, то в математической постановке – это задача на условный экстремум, решаемая методом Лагранжа.

При учете ограничений-неравенств на P станций и линий – это задача нелинейного программирования.

2) Оптимизация режима электрических сетей приводит к уменьшению ΔP в результате оптимального выбора напряжения узлов, Q источников и коэффициентов трансформации регулируемых трансформаторов при учете технических ограничений.

3) Комплексная оптимизация режима позволяет находить значения P станций, генерируемых Q, такие модули и фазы U в узлах сети при учете технических ограничений.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис.4.1.

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7…A11 линий электропередачи равными, например, 50 Ом; 0,09 Гн.

6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3…A6 равными, например, 20 Вт и 10 ВАр.

7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6.

9. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

10. Включите однофазный источник питания G3.

11. С помощью измерителей P1 и P2 измерьте активные мощности $\mathbf{P_1}$ и $\mathbf{P_2}$, поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы A1 и A2 первого и второго центров питания.

12. С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций A3…A6 измерьте соответствующие активные мощности $\mathbf{P_3}$… $\mathbf{P_6}$, потребляемые нагрузками этих подстанций.

13. Вычислите искомую потерю активной мощности в электрической сети в именованных единицах по выражению

$$\mathbf{\Delta P = (P_1 + P_2) – (P_3 + P_4 + P_5 + P_6).}$$

14. Вычислите искомую потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) по выражению

$$\mathbf{\Delta P^* = 100 \times \Delta P / (P_1 + P_2).}$$

15. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6, однофазный источник питания G1.

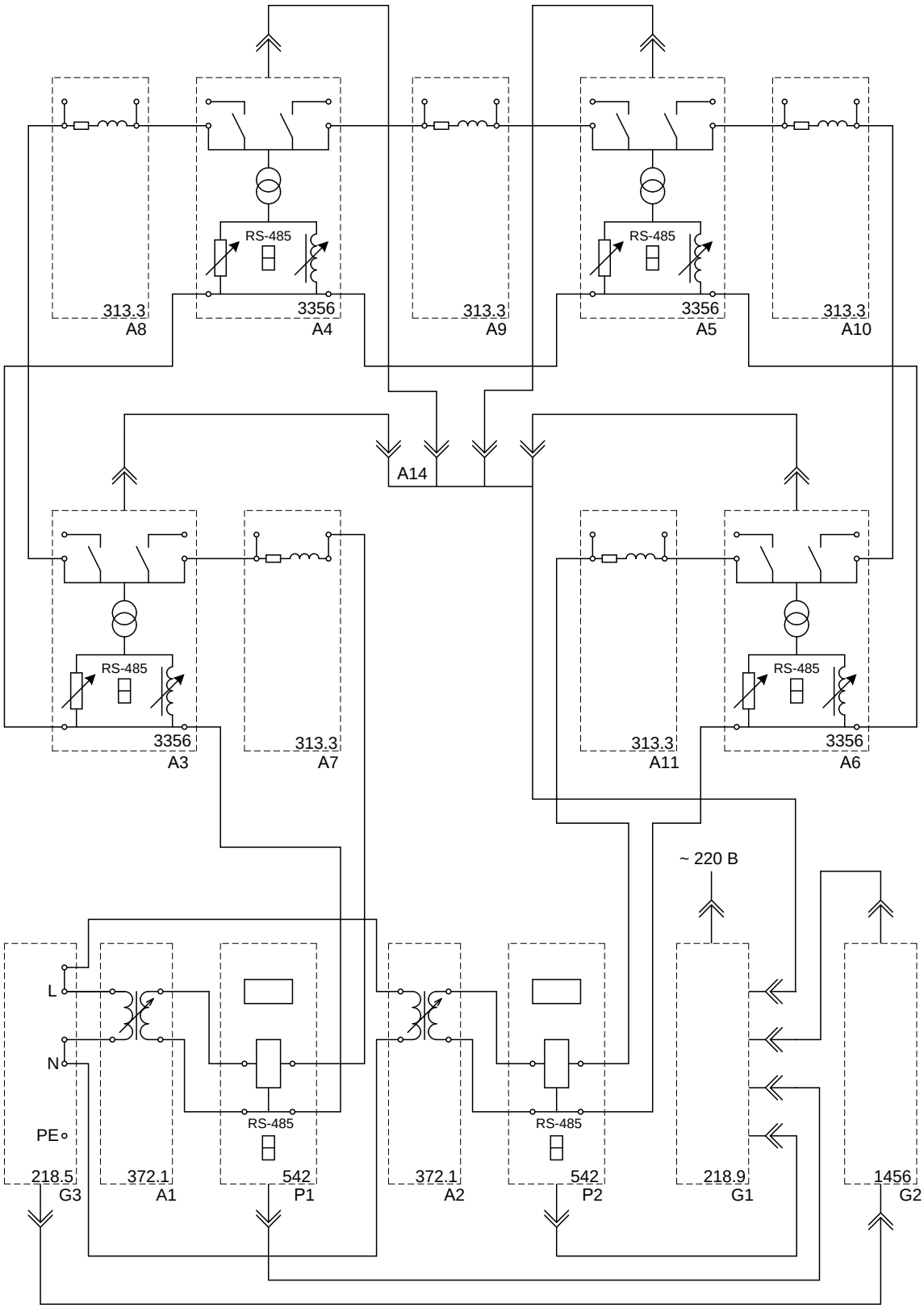


Рисунок 4.1 – Схема для определения точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети.

Часть 2. Оценка влияния разницы напряжений на шинах центров питания на потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, при ее работе в замкнутом режиме

1. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равных 1,0, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1.

2. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при разных коэффициентах трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равных 1,0 и 0,9, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_2.

3. Сравните потери активной мощности ΔP^*_1 и ΔP^*_2 , определенные при различных напряжениях на шинах центров питания и сделайте вывод о влиянии разницы этих напряжений на потерю мощности в электрической сети.

Часть 3. Оценка влияния места разрыва (разреза) местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, на потерю в ней активной мощности

1. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А3 и моделью линии электропередачи А7.

2. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_2 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А4 и моделью линии электропередачи А8.

3. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_3 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А4 и моделью линии электропередачи А9.

4. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_4 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А5 и моделью линии электропередачи А10.

5. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_5 при разрыве (разрезе)

электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А6 и моделью линии электропередачи А11.

6. Сравните потери активной мощности $\Delta P^*_1 \ldots \Delta P^*_5$, определенные при устройстве разрывов (разрезов) в различных местах электрической сети и сделайте вывод о влиянии этого места на потерю мощности в электрической сети.

Часть 4. Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис.4.1.

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равными 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей А7…А11 линий электропередачи соответственно равными, например, $\mathbf{R_7}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_7}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_8}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_8}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_9}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_9}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_{10}}$ = 100 Ом и $\mathbf{L_{10}}$ = 0,06 Гн, $\mathbf{R_{11}}$ = 100 Ом и $\mathbf{L_{11}}$ = 0,06 Гн.

6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей А3…А6 соответственно равными, например, 10 Вт и 8 Вар, 10 Вт и 8 Вар, 20 Вт и 16 Вар, 20 Вт и 16 Вар.

7. Выполните разрыв (разрез) в электрической сети между моделью подстанции А4 и моделью линии электропередачи А9, принимая его нормальным (оптимальным) в предшествующем режиме работы сети.

8. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

9. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей А3…А6.

10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

11. Включите однофазный источник питания G3.

12. С помощью измерителей P1 и P2 измерьте полные мощности S_1 и S_2, поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы A1 и A2 первого и второго центров питания.

13. С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций A3…A6 измерьте соответствующие полные мощности S_3… S_6, потребляемые нагрузками этих подстанций.

14. Вычислите поток полной мощности от первого центра питания (трансформатора A1) по модели линии электропередачи A7 к модели подстанции и нагрузок A3 по выражению

$$S_{13} = (S_3(R_8+R_9+R_{10}+R_{11})+S_4(R_9+R_{10}+R_{11})+S_5(R_{10}+R_{11})+S_6R_{11}) / (R_7+R_8+R_9+R_{10}+R_{11})$$

15. Вычислите поток полной мощности от второго центра питания (трансформатора A2) по модели линии электропередачи A11 к модели подстанции и нагрузок A6 по выражению

$$S_{26} = (S_6(R_7+R_8+R_9+R_{10})+S_5(R_7+R_8+R_9)+S_4(R_7+R_8)+S_3R_7) / (R_7+R_8+R_9+R_{10}+R_{11})$$

16. Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи A8 от модели подстанции A3 к модели подстанции A4 по выражению

$$S_{34} = S_{13} - S_3$$

17. Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи A9 от модели подстанции A4 к модели подстанции A5 по выражению

$$S_{45} = S_{34} – S_4$$

18. Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи A10 от модели подстанции A5 к модели подстанции A6 по выражению

$$S_{56} = S_{45} – S_5$$

19. Выявите поток мощности из числа S_{34}, S_{45}, S_{56} с отрицательным знаком, что означает его противоположное направление предварительно выбранному.

20. Определите узел потокораспределения – узел, к которому мощности притекают с разных сторон.

21. В качестве точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) электрической сети выберите точку, примыкающую к узлу потокораздела со стороны меньшего потока мощности.

22. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) $\Delta \mathbf{P^*_1}$ при разрыве (разрезе) электрической сети в точке нормального (оптимального) разрыва (разреза).

Часть 5. Работа местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора точки нормального разрыва (разреза) по критерию минимума потери активной мощности

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис.4.1.

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7…A11 линий электропередачи соответственно равными, например, $\mathbf{R_7}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_7}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_8}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_8}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_9}$ = 50 Ом и $\mathbf{L_9}$ = 0,03 Гн, $\mathbf{R_{10}}$ = 100 Ом и $\mathbf{L_{10}}$ = 0,06 Гн, $\mathbf{R_{11}}$ = 100 Ом и $\mathbf{L_{11}}$ = 0,06 Гн.

6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3…A6 соответственно равными, например, 10 Вт и 8 Вар, 10 Вт и 8 Вар, 20 Вт и 16 Вар, 20 Вт и 16 Вар.

7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6.

9. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

10. Включите однофазный источник питания G3.

Примечание: установите программное обеспечение на ПК, если это не было сделано ранее.

11. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер и запустите прикладную программу «Распределительная сеть».

12. С помощью выпадающих списков на экране ПК установите значения активных сопротивлений линий электропередачи равными реальным активным сопротивлениям моделей А7…А11 линий электропередачи.

13. Дистанционно управляйте выключателями моделей подстанций А3…А6 и определяйте потери активной мощности в сети.

14. Переведите программу в автоматический режим работы соответствующим переключателем.

15. Изменяйте параметры моделей А7…А11 линий электропередачи и параметры нагрузок моделей А3…А6 подстанций соответствующими рукоятками и наблюдайте процесс автоматического выбора точки разреза сети.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какая последовательность вычислений применяется при расчетах разомкнутых сетей?

2. Какие преобразования используют при упрощении схем замещения электрических сетей?

3. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

Лабораторная работа №5. Уточненный расчет компенсирующих устройств в электрических сетях. Оптимизация режима районной распределительной электрической сети

Цель работы: Исследовать влияние компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи на параметры установившегося режима разомкнутой распределительной электрической сети

Основы теории:

Компенсирующие устройства (КУ), устанавливаемые в узлах электрической сети, оказывают комплексное влияние на параметры режима. Их влияние проявляется в том, что изменяются потоки реактивной мощности по сети. Следствием этого является изменение напряжений в узлах, что, в свою очередь, приводит к изменению генерируемой зарядной мощности линий. В результате все эти факторы в совокупности оказывают влияние на потери активной и реактивной мощности в сети. Для простейшего случая сети, состоящей из одного элемента с подключённым в узле нагрузки КУ, генерирующего реактивную мощность, взаимосвязи указанных параметров режима определяются следующими соотношениями:

– потери активной мощности

$$\Delta P = \frac{P^2 + \left(Q - Q_{ку}\right)^2}{U^2} R;$$

– потери реактивной мощности

$$\Delta Q = \frac{P^2 + \left(Q - Q_{ку}\right)^2}{U^2} X;$$

– зарядная мощность

$$Q_c = U^2 B;$$

– потеря напряжения

$$\Delta U = \frac{PR + \left(Q - Q_{ку}\right)X}{U},$$

где: P и Q – активная и реактивная мощности нагрузки;

R и X – активное и реактивное сопротивления элемента сети;

U – напряжение;

B – ёмкостная проводимость линии.

В сложных сетях со многими элементами проявляется взаимосвязь всех узлов и ветвей.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.1.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7…A9 линий электропередачи и нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 20 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима соответственно

в начале и конце линии электропередачи А7, начале и конце линии электропередачи А8, начале линии электропередачи А9).

11. С помощью измерителя Р2, манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей в конце линии электропередачи А9.

12. С помощью измерителей моделей подстанции А4, А4 , манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, активной, реактивной и полной мощностей нагрузок.

13. Потерю активной (реактивной) мощности $\Delta\mathbf{P}$ **(**$\Delta\mathbf{Q}$**)** в электрической сети определяйте как разницу между суммой активных (реактивных) мощностей, поступающих в сеть от источника питания через трансформаторы А1 и А2 и суммой активных (реактивных) мощностей, потребляемых нагрузками моделей А3 и А4.

14. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров Р1, Р2 и моделей А3, А4, однофазный источник питания G1.

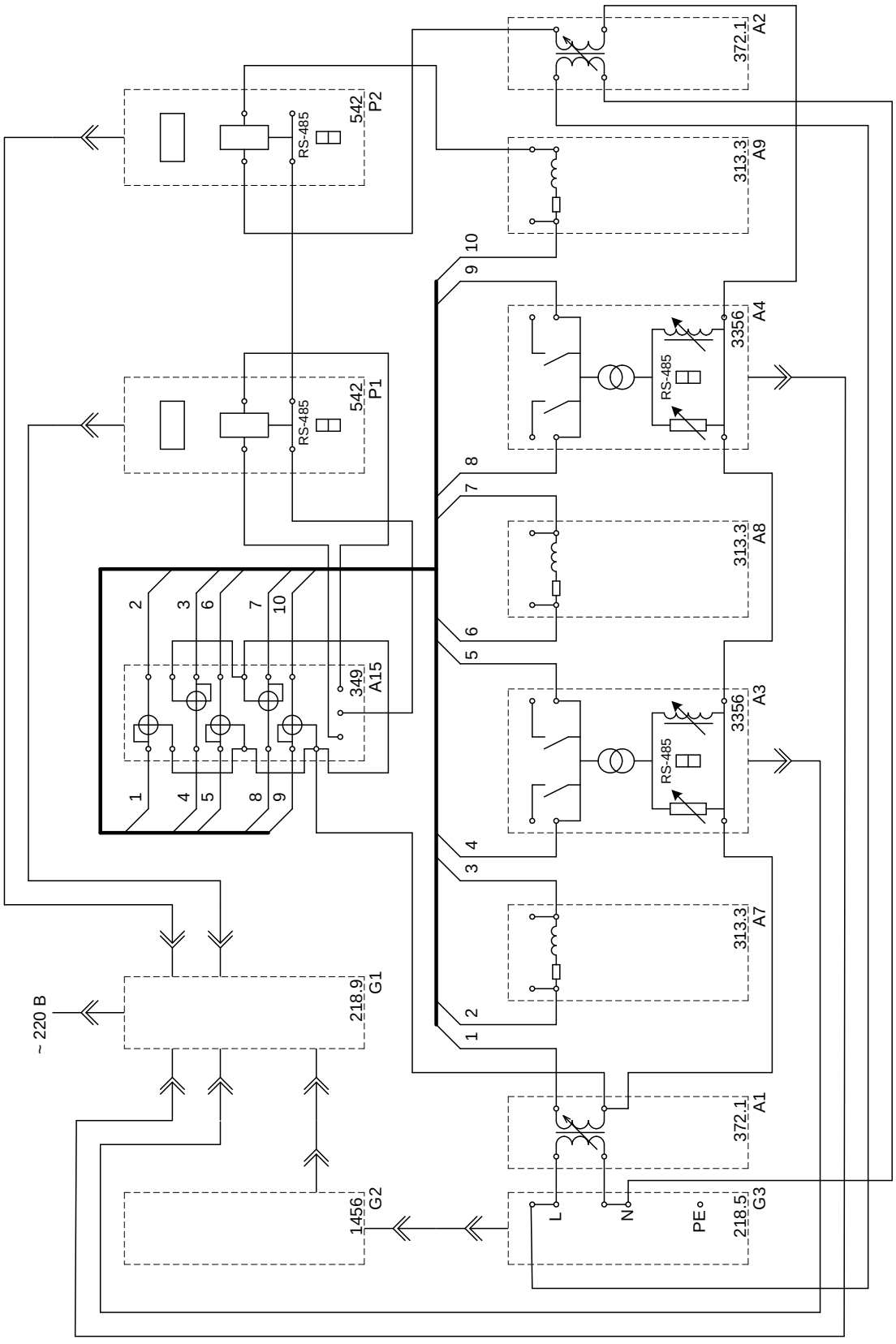


Рисунок 5.1 – Схема для измерения потокораспределения и определения потерь мощности в замкнутой (кольцевой) распределительной электрической сети.

Часть 2. Определение оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети по критерию минимума потери активной мощности

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.2.

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.

5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7…A9 линий электропередачи равными, например, 50 Ом и 0,15 Гн.

6. Установите переключатели емкостных нагрузок A12 и A13 в крайнее против часовой стрелки положение.

7. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 15 Вт, 10 ВАр и 20 Вт, 15 ВАр.

8. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

9. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.

10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

11. Включите однофазный источник питания G3.

12. Меняя положение переключателя емкостной нагрузки A12, увеличивайте ее мощность $\mathbf{Q_{12}}$, определяйте согласно п. 5.1 настоящего руководства потерю мощности $\Delta\mathbf{P}$ в сети и заносите их в таблицу 5.2.1.

Таблица 5.2.1

$\mathbf{Q_{12}}$**, ВАр**										
$\Delta\mathbf{P}$**, Вт**										

13. Верните переключатель емкостной нагрузки A12 в крайнее против часовой стрелки положение.

14. Меняя положение переключателя емкостной нагрузки A13, увеличивайте ее мощность $\mathbf{Q_{12}}$, определяйте согласно п. 5.1 настоящего руководства потерю мощности $\Delta\mathbf{P}$ в сети и заносите их в таблицу 5.2.2.

Таблица 5.2.2

$\mathbf{Q_{12}}$**, ВАр**										
$\Delta\mathbf{P}$**, Вт**										

15. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4, однофазный источник питания G1.

16. Определите оптимальные мощности компенсирующих конденсаторов, как мощности емкостных нагрузок A12 и A13 из таблиц 5.2.1 и 5.2.2, при которых потеря мощности $\Delta\mathbf{P}$ минимальна.

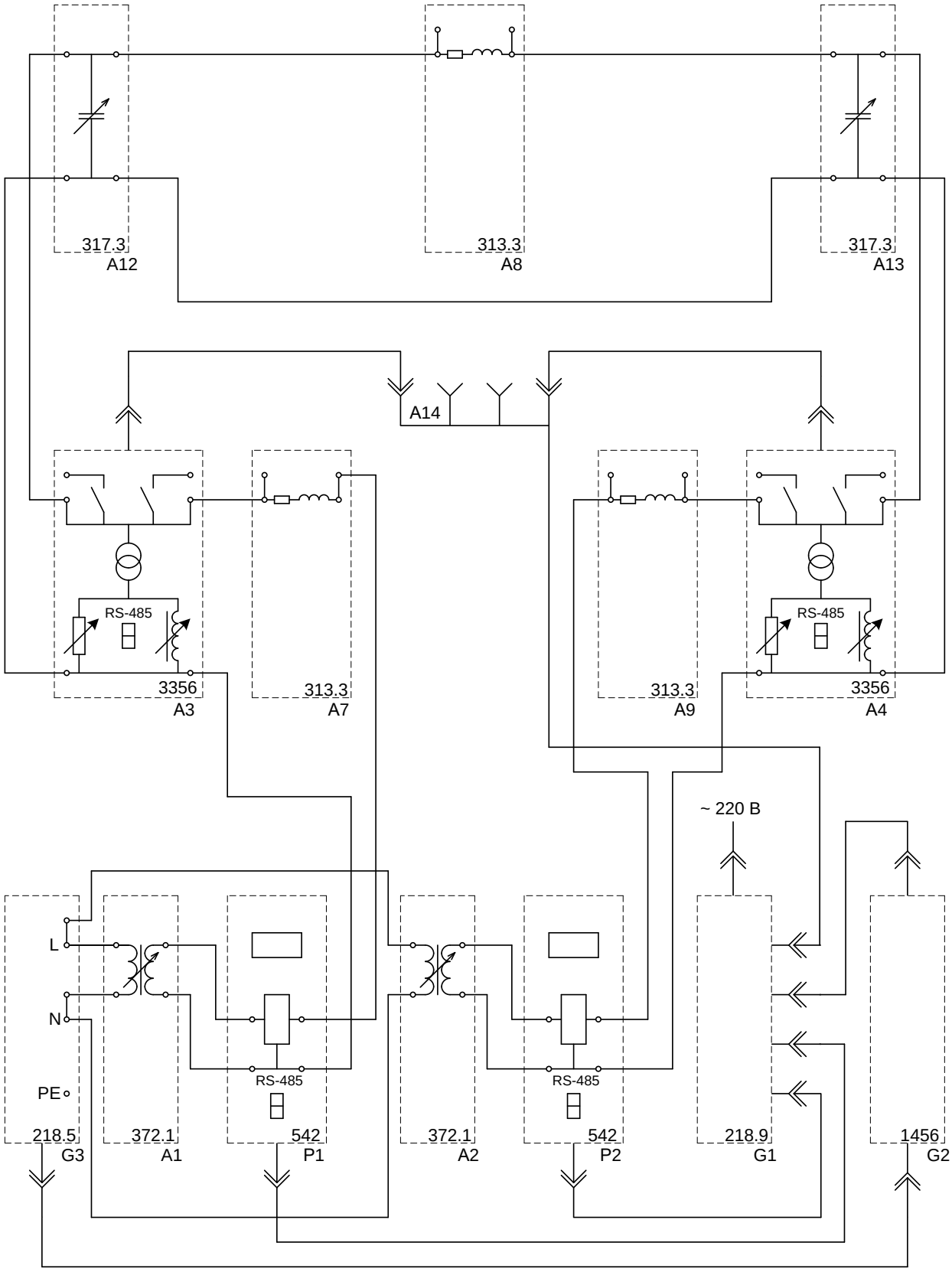


Рисунок 5.2 – Схема для определения оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов устройств в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под компенсирующим устройством? Какие бывают виды компенсирующих устройств?
2. Для чего устанавливают компенсирующие устройства в электрической сети?
3. Как влияет установка компенсирующих устройств на потери мощности и напряжения в узлах сети? Почему?
4. Чем объясняется, что мощность по линиям изменяется при изменении мощности компенсирующих устройств?
5. Почему эффект по потерям мощности в сети зависит от места установки компенсирующего устройства?

Лабораторная работа №6. Особенности расчета кольцевой сети, имеющей две точки потокораздела. Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования мощностей генерирующих электростанций

Цель работы: Изучить принципы дистанционного управления режимом работы электростанций; изучить методы управления режимом работы распределительных сетей; исследовать влияние режимных параметров на суммарную величину потерь в распределительной сети.

Основы теории:

Для объективного технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии, а также для определения объемов финансирования сроков реализации должны разрабатываться и утверждаться схемы развития электрических сетей на расчетный период.

При разработке схем развития рассматриваются следующие вопросы и принимаются по ним решения.

Оптимизация схемных режимов

Проводится анализ существующих схем в части построения городских электрических сетей: двухлучевая; петлевая; смешанная с выполнением электрических расчетов и с оценкой двух режимов электрических сетей - для условий годового максимума и минимума нагрузок с учетом определившихся за период эксплуатации точек токораздела в нормальном и в послеаварийном режимах. Рассчитываются потери электроэнергии в элементах сети, в линиях электропередачи, в трансформаторах. Определяется баланс активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков. Дается оценка эффективности работы сети по потерям электроэнергии, ее качеству у потребителя, загрузке сети реактивной мощностью и ее дефициту, надежности электроснабжения.

С учетом данных о росте нагрузок, существующих потребителей на расчетный период, данных о новых заявленных потребителях, планов городской застройки и перспективного развития формируется, дорабатывается схема развития на расчетный период, а так же ее принципы построения, уточняются точки токоразделов. Вновь выполняются электрические расчеты с оценкой двух режимов электрической сети - для условий годового максимума и минимума нагрузки с составлением нового баланса активной и реактивной мощностей в нормальном и послеаварийном режимах. По результатам электрических расчетов и данных полученных техническим аудитом, характеризующих физическое состояние элек-

тротехнического оборудования сетей, определяются объемы работ по его замене, по реконструкции и развитию электрических распределительных сетей, необходимых для приведения их к состоянию, при котором обеспечиваются оптимальные электрические потери, а также адаптация сетей к растущим электрическим нагрузкам.

Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения

С появлением в жилищном секторе современных многоэтажных зданий, удельное потребление на квартиру в которых превышает 20кВт, необходимо рассматривать вопрос электроснабжения этих зданий по схеме глубокого ввода, сводя тем самым к минимуму появление новых кабельных линий напряжением 0,38 кВ.

При выполнении электрических расчетов с учетом роста нагрузок необходимо рассматривать возможность перевода участков сети на более высокий класс напряжения. Особенно это касается зон комплексной массовой застройки. Перевод сети на более высокий класс напряжения должен рассматриваться одновременно с режимами работы нейтрали (глухозаземленная или эффективно заземленная через резистор), с такими режимами работы нейтрали имеют меньшие потери электроэнергии за счет отсутствия дополнительного оборудования, необходимого для компенсации больших емкостных токов.

Компенсация реактивной мощности

При разработке схем развития сетей на стадии определения баланса активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков на расчетный период определяется дефицит реактивной мощности. На основании расчетных данных в схеме решаются вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

Регулирование напряжения в линиях электропередачи

Регулирование напряжения на центрах питания должно осуществляется по принципу встречного регулирования. На протяженных фидерах - в целях снижения потерь электроэнергии и обеспечения надлежащего уровня напряжения, в качестве регуляторов напряжения необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием или вольтодобавочные трансформаторы, также с автоматическим регулированием напряжения.

Применение современного электротехнического оборудования, отвечающего требованиям энергосбережения

Необходимо заменять силовые трансформаторы и трансформаторы собственных нужд в случае, если они обладают большими потерями электроэнергии на перемагничивание сердечников, на трансформаторы с меньшими потерями, а также токоограничивающие реакторы на современные с большими индуктивными сопротивлением к токам К3 и меньшими потерями в нормальном режиме.

При разработке рабочих проектов на реконструкцию и техническое перевооружение должно закладываться оборудование, отвечающее требованиям энергосбережения. Применение трансформаторов с сердечниками из аморфной стали, также позволит снизить потери.

Применение измерительных трансформаторов тока и напряжения с высоким классом точности и замена индукционных счетчиков на электронные позволит получать более объективную информацию о потерях в электрических распределительных сетях, снижая тем самым величину коммерческих потерь электроэнергии.

Применение вольтодобавочных трансформаторов как линейных регуляторов напряжения позволяет не только снижать потери электроэнергии в сетях, но также решает вопрос адаптации линий электропередачи к изменению электрических нагрузок в строну их роста - обеспечит нормированный уровень напряжения у потребителя.

Снижение расхода электроэнергии на «собственные нужды» электроустановок

Применение для электрообогрева зданий и сооружений подстанций, распределительных пунктов трансформаторных подстанций и т.д. нагревательных элементов с аккумуляторами тепла, позволяющих использовать электроэнергию на обогрев в ночной не пиковый период графика нагрузок позволит частично сократить потребление на собственные нужды на электросетевых объектах.

Применение для освещения зданий и территорий люминесцентных светильников с максимальным использованием так называемого режима «дежурного света».

Внедрение автоматизации и дистанционного управления электрическими распределительными сетями напряжением 6-20 кВ

Обеспечивает своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволяет избегать аварийных ситуаций массового отключения потребителей. Недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере влияет и на потери электроэнергии в сетях.

Коммутационные аппараты выключатели, выключатели нагрузки должны применяться на базе вакуумных выключателей с программируемым микропроцессорным управлением, обеспечивающим функции АПВ, АВР, фиксацию изменения потоков мощности.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №3. Переключатели режима управления SA2 модуля «Преобразователь частоты» и SA1 модуля возбуждения перевести в положение «Авт».

2) На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. Переключатели режима управления SA2 модуля «Преобразователь частоты» и SA1 модуля возбуждения перевести в положение «Авт».

3) Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

4) На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

5) На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

6) На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

7) Дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды

на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2.

8) На электростанции №2 дистанционно включить выключатель Q1, подающий питание от модуля ПЧ на приводной двигатель М. Открыть диалоговое окно управления командой главного меню «Сеть — Управление — Локальное управление». Изменяя положение программного регулятора «Управление мощностью турбины»,установить номинальную частоту вращения агрегата 1500 об/мин, соответствующую уставке по частоте 50Гц на модуле преобразователя частоты. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Дистанционно включить выключатель Q2, подающий ток в обмотку возбуждения синхронного генератора G. Изменяя положение программного регулятора «Управление системой возбуждения», установить величину тока возбуждения синхронного генератора 1А. Нажать кнопку «Сброс» индикатора угла нагрузки синхронного генератора на лицевой панели модуля измерителя скорости. Изменяя положение программного регулятора «Управление мощностью турбины», перевести синхронный генератор в режим выдачи активной мощности 50Вт.

9) Аналогичным образом, ввести в работу энергоблок на электростанции №1.

10) На ЦКДУ по показаниям на мнемосхеме ПК определить величину активной мощности, передаваемой в энергосистему S1, величину активной мощности, передаваемой по линии электропередачи W1, и величину суммарных потерь мощности в сети.

11) Произвести оптимизацию режима работы энергосистемы с целью снижения потерь мощности в сети. Для этого, на ЦКДУ выбрать команду «Сеть — Управление — Дистанционное управление». В появившемся диалоговом окне, с помощью регуляторов «Активная мощность» блоков «Электростанция №1», «Электростанция №2» скорректировать мощность генераторов электростанций с целью снижения суммарных потерь мощности в сети, при этом, мощность, передаваемая в систему S1 должна оставаться неизменной.

12) На ЦКДУ по показаниям на мнемосхеме ПК определить величину активной мощности, передаваемой в энергосистему S1, величину активной мощности, передаваемой по линии электропередачи W1, и величину суммарных потерь мощности в сети. При необходимости, повторить п.11-12.

13) Отключить генератор электростанции №2 от сети. Для этого, подать дистанционную команду отключения выключателя Q3. Открыть диалоговое окно управления режимом работы энергоблока командой главного меню «Сеть — Управление — Локальное управление». Установить регулятор «Управление системой возбуждения» в крайнее левое

положение. Дистанционно отключить выключатель Q2. Установить регулятор «Управление мощностью турбины» в крайнее левое положение. Дистанционно отключить выключатель Q1.

14) Аналогичным образом отключить генератор электростанции №1 от сети.

15) На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

16) Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

17) Проанализировать полученные данные, перечислить факторы, влияющие на величину потерь электрической энергии в распределительной сети, объяснить влияние мощностей в генерирующих узлах энергосистемы на режим работы распределительной сети, указать другие факторы, влияющие на потери электрической энергии в распределительной сети. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Лабораторная работа №7. Выбор устройств регулирования напряжения в электрических сетях. Оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования напряжения в узлах сети

Цель работы: Изучить принципы дистанционного управления режимом работы электростанций; ***и***зучить методы управления режимом работы распределительных сетей; исследовать влияние режимных параметров на суммарную величину потерь в распределительной сети.

Основы теории:

Для объективного технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии, а также для определения объемов финансирования сроков реализации должны разрабатываться и утверждаться схемы развития электрических сетей на расчетный период.

При разработке схем развития рассматриваются следующие вопросы и принимаются по ним решения.

Оптимизация схемных режимов

Проводится анализ существующих схем в части построения городских электрических сетей: двухлучевая; петлевая; смешанная с выполнением электрических расчетов и с оценкой двух режимов электрических сетей - для условий годового максимума и минимума нагрузок с учетом определившихся за период эксплуатации точек токораздела в нормальном и в послеаварийном режимах. Рассчитываются потери электроэнергии в элементах сети, в линиях электропередачи, в трансформаторах. Определяется баланс активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков. Дается оценка эффективности работы сети по потерям электроэнергии, ее качеству у потребителя, загрузке сети реактивной мощностью и ее дефициту, надежности электроснабжения.

С учетом данных о росте нагрузок, существующих потребителей на расчетный период, данных о новых заявленных потребителях, планов городской застройки и перспективного развития формируется, дорабатывается схема развития на расчетный период, а так же ее принципы построения, уточняются точки токоразделов. Вновь выполняются электрические расчеты с оценкой двух режимов электрической сети - для условий годового максимума и минимума нагрузки с составлением нового баланса активной и реактивной мощностей в нормальном и послеаварийном режимах. По результатам электрических расчетов и данных полученных техническим аудитом, характеризующих физическое состояние элек-

тротехнического оборудования сетей, определяются объемы работ по его замене, по реконструкции и развитию электрических распределительных сетей, необходимых для приведения их к состоянию, при котором обеспечиваются оптимальные электрические потери, а также адаптация сетей к растущим электрическим нагрузкам.

Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения

С появлением в жилищном секторе современных многоэтажных зданий, удельное потребление на квартиру в которых превышает 20кВт, необходимо рассматривать вопрос электроснабжения этих зданий по схеме глубокого ввода, сводя тем самым к минимуму появление новых кабельных линий напряжением 0,38 кВ.

При выполнении электрических расчетов с учетом роста нагрузок необходимо рассматривать возможность перевода участков сети на более высокий класс напряжения. Особенно это касается зон комплексной массовой застройки. Перевод сети на более высокий класс напряжения должен рассматриваться одновременно с режимами работы нейтрали (глухозаземленная или эффективно заземленная через резистор), с такими режимами работы нейтрали имеют меньшие потери электроэнергии за счет отсутствия дополнительного оборудования, необходимого для компенсации больших емкостных токов.

Компенсация реактивной мощности

При разработке схем развития сетей на стадии определения баланса активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков на расчетный период определяется дефицит реактивной мощности. На основании расчетных данных в схеме решаются вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

Регулирование напряжения в линиях электропередачи

Регулирование напряжения на центрах питания должно осуществляется по принципу встречного регулирования. На протяженных фидерах - в целях снижения потерь электроэнергии и обеспечения надлежащего уровня напряжения, в качестве регуляторов напряжения необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием или вольтодобавочные трансформаторы, также с автоматическим регулированием напряжения.

Применение современного электротехнического оборудования, отвечающего требованиям энергосбережения

Необходимо заменять силовые трансформаторы и трансформаторы собственных нужд в случае, если они обладают большими потерями электроэнергии на перемагничивание сердечников, на трансформаторы с меньшими потерями, а также токоограничивающие реакторы на современные с большими индуктивными сопротивлением к токам К3 и меньшими потерями в нормальном режиме.

При разработке рабочих проектов на реконструкцию и техническое перевооружение должно закладываться оборудование, отвечающее требованиям энергосбережения. Применение трансформаторов с сердечниками из аморфной стали, также позволит снизить потери.

Применение измерительных трансформаторов тока и напряжения с высоким классом точности и замена индукционных счетчиков на электронные позволит получать более объективную информацию о потерях в электрических распределительных сетях, снижая тем самым величину коммерческих потерь электроэнергии.

Применение вольтодобавочных трансформаторов как линейных регуляторов напряжения позволяет не только снижать потери электроэнергии в сетях, но также решает вопрос адаптации линий электропередачи к изменению электрических нагрузок в строну их роста - обеспечит нормированный уровень напряжения у потребителя.

Снижение расхода электроэнергии на «собственные нужды» электроустановок

Применение для электрообогрева зданий и сооружений подстанций, распределительных пунктов трансформаторных подстанций и т.д. нагревательных элементов с аккумуляторами тепла, позволяющих использовать электроэнергию на обогрев в ночной не пиковый период графика нагрузок позволит частично сократить потребление на собственные нужды на электросетевых объектах.

Применение для освещения зданий и территорий люминесцентных светильников с максимальным использованием так называемого режима «дежурного света».

Внедрение автоматизации и дистанционного управления электрическими распределительными сетями напряжением 6-20 кВ

Обеспечивает своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволяет избегать аварийных ситуаций массового отключения потребителей. Недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере влияет и на потери электроэнергии в сетях.

Коммутационные аппараты выключатели, выключатели нагрузки должны применяться на базе вакуумных выключателей с программируемым микропроцессорным управлением, обеспечивающим функции АПВ, АВР, фиксацию изменения потоков мощности.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №3. Переключатели режима управления SA2 модуля «Преобразователь частоты» и SA1 модуля возбуждения перевести в положение «Авт».

2) На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. Переключатели режима управления SA2 модуля «Преобразователь частоты» и SA1 модуля возбуждения перевести в положение «Авт».

3) Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

4) На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

5) На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

6) На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – Оптимизация режимов». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

7) Дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды

на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2.

8) На электростанции №2 дистанционно включить выключатель Q1, подающий питание от модуля ПЧ на приводной двигатель М. Открыть диалоговое окно управления командой главного меню «Сеть — Управление — Локальное управление». Изменяя положение программного регулятора «Управление мощностью турбины»,установить номинальную частоту вращения агрегата 1500 об/мин, соответствующую уставке по частоте 50Гц на модуле преобразователя частоты. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Дистанционно включить выключатель Q2, подающий ток в обмотку возбуждения синхронного генератора G. Изменяя положение программного регулятора «Управление системой возбуждения», установить величину тока возбуждения синхронного генератора 1А. Нажать кнопку «Сброс» индикатора угла нагрузки синхронного генератора на лицевой панели модуля измерителя скорости. Изменяя положение программного регулятора «Управление мощностью турбины», перевести синхронный генератор в режим выдачи активной мощности 50Вт.

9) Аналогичным образом, ввести в работу энергоблок на электростанции №1.

10) На ЦКДУ по показаниям на мнемосхеме ПК определить величину активной мощности, передаваемой в энергосистему S1, определить величину реактивной мощности, потребляемой из энергосистемы S1, величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по линии электропередачи W1, и величину суммарных потерь мощности в сети.

11) Произвести оптимизацию режима работы энергосистемы с целью снижения потерь мощности в сети. Для этого, на ЦКДУ выбрать команду «Сеть — Управление — Дистанционное управление». В появившемся диалоговом окне, с помощью регуляторов «Реактивная мощность» блоков «Электростанция №1», «Электростанция №2» изменить режим работы энергоблоков электростанций по реактивной мощности с целью снижения суммарных потерь мощности в сети, при этом, мощность, передаваемая в систему S1 должна оставаться неизменной. Внимание, при регулировании режима работы генератора по реактивной мощности, необходимо следить, чтобы ток возбуждения не превышал 1,2А.

12) На ЦКДУ по показаниям на мнемосхеме ПК определить величину активной мощности, передаваемой в энергосистему S1, определить величину реактивной мощности, потребляемой из энергосистемы S1, величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по линии электропередачи W1, и величину суммарных потерь мощности в сети.

13) Отключить генератор электростанции №2 от сети. Для этого, подать дистанционную команду отключения выключателя Q3. Открыть диалоговое окно управления режимом работы энергоблока командой главного меню «Сеть — Управление — Локальное управление». Установить регулятор «Управление системой возбуждения» в крайнее левое положение. Дистанционно отключить выключатель Q2. Установить регулятор «Управление мощностью турбины» в крайнее левое положение. Дистанционно отключить выключатель Q1.

14) Аналогичным образом отключить генератор электростанции №1 от сети.

15) На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

16) Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

17) Проанализировать полученные данные, перечислить факторы, влияющие на величину потерь электрической энергии в распределительной сети, объяснить влияние режима работы синхронных генераторов по реактивной мощности на режим работы распределительной сети, указать другие факторы, влияющие на потери электрической энергии в распределительной сети. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Ко-белев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбов-ский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 80 с. — 978-5-8265-1411-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64564.html

2. Ананичева, С. С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7996-1784-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/65910.html

3. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47317.html

4. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/35574.html

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей : учебное пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин ; под редакцией В. Т. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/20124.html

2. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/45078.html.

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Приложение А

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

– производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

– заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест

– без разрешения преподавателя или лаборанта;

– отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;

– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2025 г.

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины	
2.	Формулировка задания и ее объем	
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	
4.	Рекомендации по выполнению задания	
5.	План-график выполнения задания	
6.	Критерии оценивания работы	
7.	Порядок защиты работы	
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
8.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
8.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
8.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Целью изучения дисциплины является изучение элементов электроэнергетических систем и способов передачи и распределения электрической энергии, знакомство с устройством, электрооборудованием и режимами работы электроэнергетических систем и сетей и овладение основами расчета установившихся режимов электроэнергетических систем и сетей.

Задачами изучения дисциплины является освоение студентами современных методов проектирования и расчета режимов работы электрооборудования, приобретение навыков выбора схем электрических соединений и электрооборудования электрических подстанций и сетей на основе технико-экономических расчетов с учетом фактора надежности, расчетов и управления режимами электроэнергетических систем.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2$_{ПК-1}$ Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает схемы и основное оборудование электрических сетей**,** простые конструкции электроэнергетических объектов питающих энергосистем.
	ИД-3$_{ПК-1}$ Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Владеет методами выбора и составления схем электрических сетей, навыками типового проектирования электрических сетей и умением правильно выбирать электрические схемы с учетом особенностей их работы и требований потребителей.
	ИД-5$_{ПК-1}$ Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации систем	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей.

2. Формулировка задания и ее объем

Задание №1

В задании предлагается выполнить расчёт режима максимальных нагрузок радиальной электрической сети, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

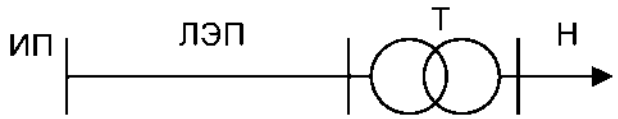


Рис. 1. Схема электрической сети

Исходные данные для расчёта.

Номинальное напряжение электрической сети $U_{ном}$ = 35 кВ; номинальное напряжение электроприёмника ***U*** =10 кВ.

По степени надёжности электроснабжения электроприёмники отнесены ко второй категории.

Параметры источника питания, электроприёмника (нагрузки) и линии электропередачи приведены в табл. 1 - 5.

Таблица 1

Напряжение источника питания, кВ

Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_0	**37,3**	**37,5**	**38,0**	**38,5**	**37,5**	**38,4**	**38,5**	**37,5**	**38,0**	**38,6**

Таблица 2

Активная мощность электроприёмника, МВт

Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
*P*max	**5**	6	**7**	8	8	8	**9**	11	12	**13**

Таблица 3

Коэффициент мощности

Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
cos φ	**0,80**	**0,81**	**0,82**	**0,83**	**0,84**	**0,85**	**0,86**	**0,87**	0,88	**0,89**

Таблица 4

Число часов использования наибольшей нагрузки, час

Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
*T*max	**2600**	**3200**	**3600**	**4200**	**4700**	**5000**	**5300**	**5700**	**6000**	**6500**

Таблица 5

Длина линии электропередач (ЛЭП), км

Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	12	**14**	**16**	**18**	20	22	**24**	**26**	**28**	**30**

Пользуясь исходными данными, выполните расчёт заданной на рис. 1 электрической сети. Выполнить:

1. Выбор параметров элементов электрической сети.
2. Выбор и проверка сечения проводов линии электропередачи.
3. Выбор трансформаторов на подстанции.
4. Составление схемы замещения электрической сети и определение её параметров.

3. Общие требования к написанию и оформлению работы

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

– студент должен придерживаться заданной тематики;

– запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;

– при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;

– контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;

– работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;

– текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

– контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;

– при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;

– интервал между строк — полуторный;

– размер шрифта — 14;

– текст выравнивается по ширине;

– в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;

– нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;

– слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;

– контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;

– номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;

– заголовки работы оформляются жирным шрифтом;

– в конце заголовков точка не предусмотрена;

– заголовки набираются прописными буквами;

– все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;

– названия разделов размещаются посередине строки, подразделы – с левого края;

– работа распечатывается в принтере на листах А4;

– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

4. Рекомендации по выполнению задания

Указание к решению задачи №1

По известным значениям активной мощности электроприёмника P_{max} и коэффициента мощности $\cos\varphi$ определим:

1) Реактивную мощность в режиме максимальной нагрузки Q_{max}:

$$Q_{max} = P_{max} \cdot \mathrm{tg}\,\varphi = P_{max} \cdot \mathrm{tg}\,[\arccos(\cos\varphi)];$$

2) Модуль полной мощности в режиме максимальной нагрузки S_{max}:

$$S_{max} = P_{max}/\cos\varphi$$

3) Полную мощность в режиме максимальной нагрузки $\underline{S}_{max}$:

$$\underline{S}_{max} = P_{max} + j \cdot Q_{max}$$

1.1. Выбор и проверка сечения проводов линии электропередачи

1.2. ***Определим расчетный ток в нормальном режиме работы ВЛ предположив, что его значение остается примерно таким же через 5 лет:***

$$I_p = \frac{P_{max}}{n \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11 \cdot 10^6}{2 \cdot 0{,}86 \cdot 1{,}732 \cdot 35 \cdot 10^3} = 105{,}496 \text{ А}.$$

1) Определим экономически целесообразное сечение:

$$S_{эк} = I_p/J_н$$

Проводим необходимую проверку проводов выбранного сечения по техническим ограничениям:

1) По условию механической прочности площадь выбранного сечения должна удовлетворять следующему требованию:

$S \geq S_{min\,мех}$,

где $S_{min\,мех}$ – минимально допустимое сечение, при котором соблюдается условие механической прочности.

Минимально допустимое сечение проводов по условиям прочности регламентируется в соответствии с [1, пункт 2.5.77]. Согласно [1, табл.2.5.5], минимально допустимое сечение проводов по условиям механической прочности для ВЛ, сооружаемых на двухцепных и многоцепных опорах при номинальное напряжении электрической сети $U_{ном} = 35$ кВ должно быть не меньше $S_{ст} = 120/19$ мм^2.

Провод прошёл проверку на условие механической прочности.

2) По условию ограничения потерь на корону площадь выбранного сечения должна удовлетворять следующему требованию:

$S \geq S_{min\,кор}$,

где $S_{\min кор}$ – минимально допустимая площадь сечения, при котором соблюдается условие ограничения потерь на корону.

Для ВЛ с номинальным напряжением электрической сети $U_{ном} = 35$ кВ не производится, т. к. в практических расчетах принимают, что при напряжении $U_{ном} < 110$ кВ потери активной мощности на корону малы, и следовательно передаваемая мощность практически не уменьшается, и поэтому нет необходимости в изменении площади сечения проводов.

3) По условию нагрева длительно допустимым током площадь выбранного сечения должна удовлетворять следующему требованию:

$$I_{нб} < I_{доп},$$

где $I_{доп}$ – допустимый длительный ток при котором соблюдается условие нагрева длительно допустимым током.

Находим наибольший ток в линии:

$$I_{нб} = \frac{P_{max}}{n \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

Провод прошёл проверку на условия механической прочности и на условие нагрева длительно допустимым током.

1.3. Выбор количества и мощности трансформаторов на подстанциях:

Выбор количества трансформаторов зависит от требований к надежности электроснабжения питающихся от ПС потребителей. В практике проектирования на ПС рекомендуется, как правило, установка двух трансформаторов. Принимаем количество трансформаторов $n_т = 2$.

Выбор трансформатора по экономическому критерию не производится, а производится по нагрузочной способности, т.е. мощность трансформатора выбирают по допустимой нагрузке. При отсутствии графика нагрузки выбор производится по упрощенной схеме, а именно по перегрузке в послеаварийном режиме, т.е.:

$$S_{т\,ном} \geq \frac{k_{I-II} \cdot P_{макс}}{k_{авар} \cdot \cos(n_т - 1)},$$

где k_{I-II} – коэффициент участия в нагрузке потребителей I и II категории по степени надежности электроснабжения ($k_{I-II} = 1$); $k_{авар}$ – допустимый коэффициент перегрузки трансформатора в аварийном случае ($k_{авар} = 1{,}4$ при перегрузке до 20 минут).

Мощность каждого из двух трансформаторов выбирается не более 70% максимальной нагрузки ПС, поэтому расчеты можно упросить:

$S_{т\,ном} \geq 0{,}7P_{макс}$,

где $0{,}7P_{макс}$ – расчетная мощность трансформатора.

$$S_{расч} = 0{,}7P_{макс}$$

По мощности $S_{т\,ном}$ из [2, табл. 5.12] выбираем подходящий трансформатор – ТМН-1000/35.

Выпишем каталожные данные данного трансформатора:

Номинальная мощность $S_{ном} = 10$ МВА; номинальное линейное напряжение обмотки ВН $U_{В\,ном} = 36{,}75$ кВ; номинальное линейное напряжение обмотки НН $U_{Н\,ном} = 10{,}5$ кВ; регулирование напряжения $\pm N_{отв} = \pm 9 \cdot 1{,}3$ %; номинальное значение напряжения короткого замыкания $u_к = 7{,}5$ %; активные потери короткого замыкания $\Delta P_к = 65$ кВт; потери холостого хода $\Delta P_х = 14{,}5$ кВт; номинальное значение тока холостого хода $I_х = 0{,}8$ %; активное сопротивление трансформатора $R_т = 0{,}88$ Ом; индуктивное сопротивление трансформатора $X_т = 10{,}1$ Ом; реактивные потери короткого замыкания $\Delta Q_х = 80$ квар.

2. Расчет электрического режима

2.1. Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров

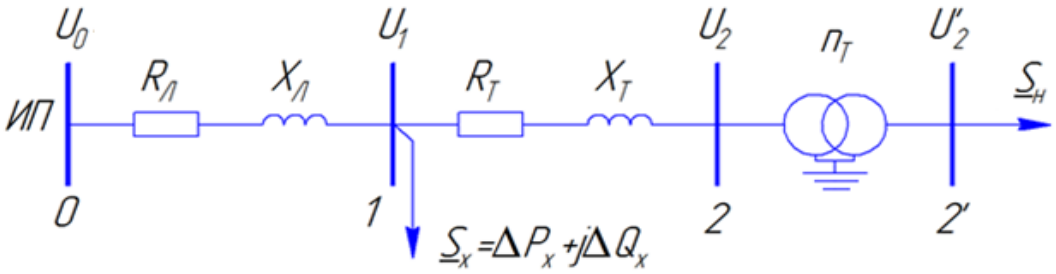


Рисунок 2. – Схема замещения электрической сети

Вспомогательные расчеты:

1) Определим активное сопротивление одноцепной линии:

$$R_{л1} = r_0 \cdot L$$

2) Определим реактивное сопротивление одноцепной:

$$X_{л1} = x_0 \cdot L$$

3) Определим активное сопротивление двухцепной линии:

$$R_л = R_{л1}/2$$

4) Определим реактивное сопротивление двухцепной линии:

$$X_л = X_{л1}/2.$$

Нагрузка и напряжение заданы в разных узлах. Такого типа задачи решаются методом итераций. Суть метода заключается в задании начального значения неизвестной вели-

чины (напряжения), а затем в получении результата решением и последовательными приближениями. Решение данным методом проводится в два этапа: «расчет потоков мощности с учетом потерь мощности» и «расчет напряжений в узлах».

2.2. Расчет потоков мощности и с учетом потерь мощности

Исходя из того, что известна мощность нагрузки примем, что напряжения во всех обозначенных узлах схемы (1, 2, 2') одинаковы и равны $U_{ном} = 35$ кВ. Расчет потоков мощности ведется с конца линии от узла 2':

1) Определим поток мощности в конце участка между узлами 1 и 2:

$$\underline{S}_{12}^{к} = \underline{S}_{н}$$

Определим поток мощности в начале участка между узлами 1 и 2:

$\underline{S}_{12}^{н} = \underline{S}_{12}^{к} + \Delta\underline{S}_{т} = \underline{S}_{12}^{к} + (S_{12}^{к}/U_{ном})^2 \cdot (R_т + jX_т)/2$ МВА;

2) Определим поток мощности в конце участка между узлами 0 и 1:

$\underline{S}_{01}^{к} = \underline{S}_{12}^{н} + \Delta\underline{S}_{х} = \underline{S}_{12}^{н} + \Delta P_х + j\Delta Q_х$ МВА;

Определим модуль полной мощности:

$S_{01}^{к} = \sqrt{11{,}043^2 + 6{,}645^2} = 12{,}914$ МВА.

3) Определим поток мощности в начале участка между узлами 0 и 1:

$\underline{S}_{01}^{н} = \underline{S}_{01}^{к} + \Delta\underline{S}_{л} = \underline{S}_{01}^{к} + (S_{01}^{к}/U_{ном})^2 \cdot (R_л + jX_л)$ МВА;

По найденным на предыдущем этапе потокам мощности и известном напряжении на ИП находим напряжение в узлах (1, 2, 2'):

1) Определим напряжение в узле 1:

$$U_1 = U_0 - \Delta U_л = U_0 - \frac{P_{01}^{н} \cdot R_л + Q_{01}^{н} \cdot X_л}{U_0} \text{ кВ};$$

2) Определим напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_т = U_1 - \frac{P_{12}^{н} \cdot R_т + Q_{12}^{н} \cdot X_т}{2 \cdot U_1} \text{ кВ};$$

3) Определим напряжение в узле 2':

$$U_2' = U_2/n_т = U_2 \cdot w_2/w_1 \approx U_2 \cdot U_{н\,ном}/U_{в\,ном} \text{ кВ};$$

4) Определим отклонение напряжения от номинального:

$$\delta U = \frac{U_2' - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

Полученное значение напряжения на шинах потребителей удовлетворяет требованиям ГОСТ 13109-97 [3, с. 9], регламентирующим показатели качества напряжения. В нормальном режиме работы напряжение может отклоняться на $\pm 5\%$ от $U_{ном}$.

5. План-график выполнения задания

Работа над расчетно-графической работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
Очная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии
Заочная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении сессии
4.	Написание контрольной работы	В течении сессии
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении сессии
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых расчетно-графических работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:

– представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;

– использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;

– при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;

– выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:

– представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;

– использовал рекомендованную и дополнительную литературу;

– при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;

– выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:

– представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;

– показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;

– использовал рекомендованную литературу;

– выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:

– когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;

– если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

7. Порядок защиты работы

Написанная студентом расчетно-графическая работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты РГР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

– в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;

– в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;

– в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.2 Перечень основной литературы:

1. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Ко-белев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбов-ский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 80 с. — 978-5-8265-1411-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64564.html

2. Ананичева, С. С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7996-1784-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/65910.html

3. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47317.html

4. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/35574.html

8.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей : учебное пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин ; под редакцией В. Т. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/20124.html

2. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/45078.html.

8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2025 г.

Содержание

Введение

1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Основы проектирования распределительных сетей»

2 План-график выполнения самостоятельной работы

3 Контрольные точки и виды отчетности по ним

4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

5 Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Основы проектирования распределительных сетей»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2$_{ПК-1}$ Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает схемы и основное оборудование электрических сетей**,** простые конструкции электроэнергетических объектов питающих энергосистем.
	ИД-3$_{ПК-1}$ Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Владеет методами выбора и составления схем электрических сетей, навыками типового проектирования электрических сетей и умением правильно выбирать электрические схемы с учетом особенностей их работы и требований потребителей.
	ИД-5$_{ПК-1}$ Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации систем	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
7 семестр					
ПК-1 ИД-2$_{ПК-1}$ ИД-3$_{ПК-1}$ ИД-5$_{ПК-1}$	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	35,46	3,94	39,4
	Подготовка к лекциям	Собеседование	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровнвых задач	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	4,86	0,54	5,4
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 7 семестр:			**64,8**	**7,2**	**72**
Итого:			**64,8**	**7,2**	**72**
Очно-заочная форма обучения					
7 семестр					
ПК-1 ИД-2$_{ПК-1}$ ИД-3$_{ПК-1}$ ИД-5$_{ПК-1}$	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	96,66	8,74	105,4
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,08	0,12	1,2
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 7 семестр:			**117**	**11**	**128**
Итого:			**117**	**11**	**128**

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
7 семестр			
1.	Практическое занятие № 2	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 4	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 6	16 неделя	15
	Итого за 7 семестр		**55**
	Итого		**55**

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	**100**
Хороший	**80**
Удовлетворительный	**60**
Неудовлетворительный	**0**

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути поня-тийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Какой схемой замещения представляется линия электропередачи, двухобмо-точный трансформатор, трехобмоточный трансформатор?

2. Чем отличается схема замещения воздушной и кабельной линии, воздушной линии 110 кВ и выше от воздушной линии 35 кВ, 10 кВ, 6 кВ, 0,38 кВ?

3. Как изменится активное сопротивление линии при повышении температу-ры окружающей среды?

4. Какое реактивное (индуктивное) сопротивление линии предпочтительнее – большее или меньшее, и почему?

5. Какое влияние на работу линии электропередачи оказывает ее реактивная проводимость (зарядная мощность)?

6. Какое соотношение между активным и реактивным сопротивлениями в воздушной и кабельной линиях?

7. Какие используют условные изображения двух-, трехобмоточных силовых трансформаторов и автотрансформаторов?

8. Как обозначаются типы силовых трансформаторов? Как расшифровываются буквы в обозначениях типов трансформаторов и автотрансформаторов?

9. Что относится к паспортным (каталожным) данным двухобмоточных трансформаторов?

10. Какими схемами замещения моделируется двухобмоточный трансформатор?

11. Чем отличаются каталожные данные для двух- и трехобмоточных трансформаторов?

12. В чем состоит особенность расчета сопротивлений для трехобмоточного трансформатора по сравнению с двухобмоточным?

13. Какими конструктивными параметрами линии можно влиять на величину ее реактивного сопротивления?

14. Какими конструктивными параметрами воздушной линии можно влиять на величину ее реактивной проводимости?

15. Что понимается под временем использования наибольшей полной, активной и реактивной мощностей?

16. Что понимается под временем наибольших потерь полной, активной и реактивной мощностей?

17. Как определить среднеквадратичные ток и мощность?

18. Какова физическая природа потерь активной и реактивной мощности в линиях и трансформаторах?

19. Как определить КПД линии электропередачи?

20. Будут ли иметь место потери реактивной мощности в линии при передаче по ней только активной мощности? Почему?

21. Будут ли иметь место потери активной мощности при передаче по ней только реактивной мощности? Почему?

22. Будут ли в линии электропередачи потери активной мощности, если она включена с одной стороны, а с другой стороны - разомкнута? Почему?

23. Каково может быть наибольшее значение времени использования наибольшей нагрузки и наибольшее значение времени потерь?

24. От чего зависит соотношение нагрузочных потерь активной и реактивной мощностей в линиях электропередачи?

25. Как изменятся потери активной мощности при неизменной нагрузке потребителя, если к питающему ее трансформатору подключить параллельно второй трансформатор с такими же параметрами?

26. Каковы задачи электрического расчета электрической сети?

27. Что понимают под падением напряжения и потерей напряжения?

28. Как определить продольную и поперечную составляющие падения напряжения?

29. При расчете каких сетей можно пренебречь потерями мощности на корону?

30. При каких исходных условиях и как производят расчет режима линии электропередачи в два этапа?

31. При расчете каких сетей можно пренебречь зарядной мощностью линий?

32. Что представляет собой полная П-образная схема замещения линии?

33. Какая схема замещения трансформаторов напряжением 110, 220 кВ используется при расчете режимов сети?

34. Как осуществляется приведение нагрузок к стороне высшего напряжения трансформаторов?

35. В какой из линий, воздушной или кабельной, при одинаковом сечении, номинальном напряжении и передаваемой мощности будут меньше потери активной и реактивной мощности?

36. Какие методы чаще всего используют для расчета установившихся режимов простейших сетей?

37. Как влияют данные о нагрузке и напряжениях в узлах на последовательность расчета режима разомкнутой сети?

38. Какова последовательность расчета режима разомкнутой сети при задании напряжения в ее конечном узле?

39. В чем сущность метода расчета режима разомкнутой сети "в два этапа"?

40. Какое допущение принимается при расчете режима разомкнутой сети на первом этапе?

41. Каким образом учитываются поперечные ветви при расчете режима разомкнутой сети?

42. Какие сети называются замкнутыми? Назовите виды замкнутых сетей. В чем их преимущество?

43. Что понимают под расчетной нагрузкой узла замкнутой сети?

44. Как определить КПД линии электропередачи при задании нагрузки в ее начале и в конце?

45. Как будет выглядеть векторная диаграмма линии электропередачи, если в конце линии подключена чисто активная нагрузка?

46. Как будет выглядеть векторная диаграмма линии электропередачи, если в конце линии подключена активно-индуктивная нагрузка?

47. Как будет выглядеть векторная диаграмма линии электропередачи, если в конце линии подключена чисто емкостная нагрузка?

48. На каких условиях основано выражение для расчета распределения мощностей в линии с двусторонним питанием? Запишите это выражение в общем виде.

49. В каких случаях в линии с двусторонним питанием появляется уравнительная мощность?

50. Может ли в сети с двусторонним питанием поток реактивной мощности быть направлен навстречу потоку активной мощности?

51. Что такое точка потокораздела и как она выбирается?

52. Каковы особенности правила моментов для однородной сети?

53. Как уточнить потокораспределение с учетом потерь мощности?

54. Как выполняется расчет режима линии с двусторонним питанием, если точки потокораздела по активной и реактивной мощностям не совпадают?

55. Как проверить правильность расчета токов в линии с двусторонним питанием?

56. Какие параметры являются решающими при выборе номинального напряжения линии?

57. Что представляют собой экономические области номинальных напряжений?

58. Каков физический смысл экономической плотности тока?

59. Исходя из какого режима выбирают сечения по экономической плотности тока: режима наибольших нагрузок, наименьших нагрузок, послеаварийных режимов? Почему?

60. В каких координатах строятся экономические интервалы нагрузок?

61. Почему и как экономическая плотность тока зависит от времени использования наибольшей нагрузки?

62. Какие дополнительные условия применяются при выборе проводников по допустимой потере напряжения? Каковы области их использования?

63. В чем особенности выбора сечений проводов по допустимой потере напряжения в разветвленных сетях?

64. Для каких режимов производится проверка сечений проводов по нагреву? Почему?

65. Для каких сетей мечение провода выбирают по допустимой потере напряжения? Почему?

66. Какова последовательность выбора проводников линий по допустимой потере напряжения?

67. Какова зависимость индуктивного сопротивления проводов от их сечения?

68. Какие наименьшие сечения алюминиевых и сталеалюминевых проводов допускаются по условию механической прочности для линий напряжением выше 1 кВ?

69. От чего зависит допустимый ток по нагреву линий электропередачи?

70. Чем обусловлено ограничение наименьших допустимых сечений проводов линий напряжения 110 кВ и выше?

71. Какому условию должны удовлетворять провода воздушных линий с учетом возможности появления короны?

72. Какие средства регулирования напряжения используют в распределительных сетях?

73. В чем различие трансформаторов с РПН и без РПН?

74. В чем заключается принцип встречного регулирования напряжения?

75. Какая информация необходима для выбора ответвлений двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов с РПН?

76. Как влияет установка компенсирующих устройств на потери мощности, потери напряжения?

77. Какими путями можно устранить в сети избыток реактивной мощности в сети?

78. Какие компенсирующие устройства могут работать как в режиме выдачи, так и в режиме потребления реактивной мощности?

79. В чем заключаются особенности конструкции устройства регулирования напряжения с РПН по сравнению с устройством без РПН?

80. Какое влияние оказывают режимы напряжений на потери активной мощности в элементах электрической сети?

81. Почему устройства РПН устанавливают преимущественно на стороне высшего напряжения трансформатора?

82. Каковы причины отклонения напряжения от номинального значения?

Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе

Расчетно-графическая работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения к расчетно-графической работы заключаются:

– закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;

– научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2$_{ПК-1}$ Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает схемы и основное оборудование электрических сетей**,** простые конструкции электроэнергетических объектов питающих энергосистем.
	ИД-3$_{ПК-1}$ Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Владеет методами выбора и составления схем электрических сетей, навыками типового проектирования электрических сетей и умением правильно выбирать электрические схемы с учетом особенностей их работы и требований потребителей.
	ИД-5$_{ПК-1}$ Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации систем	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Ко-белев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбов-ский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 80 с. — 978-5-8265-1411-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64564.html

2. Ананичева, С. С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7996-1784-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/65910.html

3. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47317.html

4. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/35574.html

Перечень дополнительной литературы:

1. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей : учебное пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин ; под редакцией В. Т. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/20124.html

2. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/45078.html.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks