

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 23.08.2023 17:36:20
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

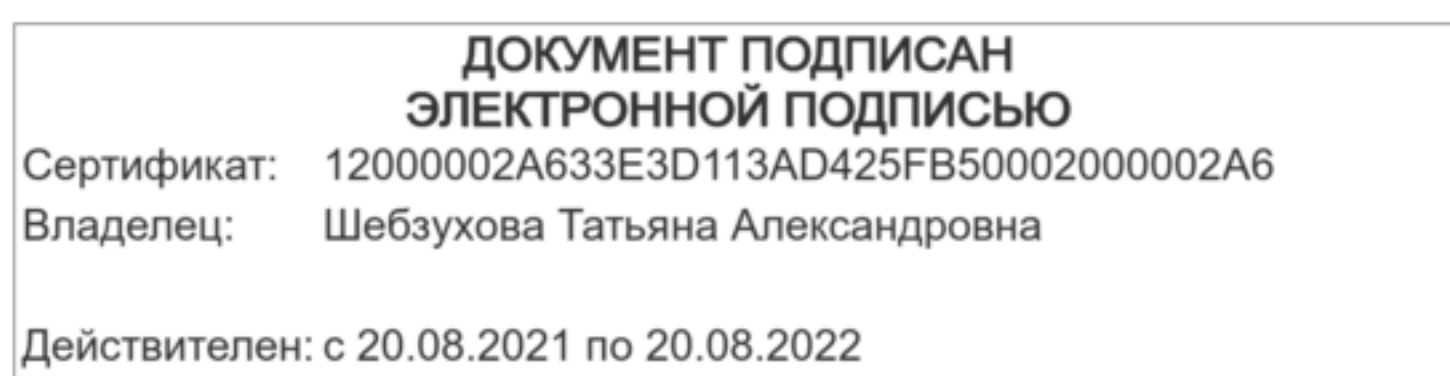
Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине
«Основы проектирования распределительных сетей»
направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Пятигорск
2022

Содержание

№	Стр.
п/п	
	Введение
1	Цель и задачи изучения дисциплины
2	Оборудование и материалы
3	Наименование практических работ
4	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа №1 Схемы замещения элементов электрических сетей
4.2	Практическая работа №2 Потери мощности и энергии в элементах электрических сетей
4.3	Практическая работа №3 Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей
4.4	Практическая работа №4 Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием
4.5	Практическая работа №5 Расчет режимов замкнутых электрических сетей
4.6	Практическая работа №6 Элементы проектирования электрических сетей
4.7	Практическая работа №7 Регулирование напряжения в электрических сетях
4.8	Практическая работа №8 Выбор и расчет параметров схем замещения линий электропередач
4.9	Практическая работа №9 Выбор и расчет параметров схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов
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



Введение

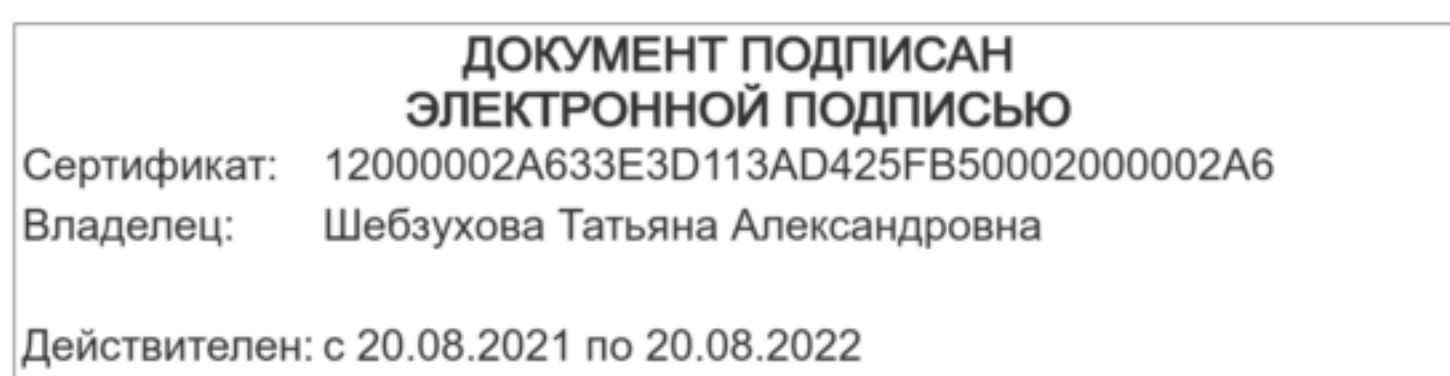
Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Основы проектирования распределительных сетей». Практические занятия занимают преимущественное место при изучении профессиональных дисциплин. Практические 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.

Подготовка специалистов в области электроэнергетики и электротехники предусматривает изучение основ передачи и распределения электроэнергии. Поэтому в методические указания включены наиболее характерные решения задач, отражающие основные разделы курса. Приведены примеры расчета параметров элементов электрических сетей и электрических нагрузок, расчета установившихся режимов, разомкнутых и простейших замкнутых сетей.

Разбор студентами конкретных практических решений будет способствовать более глубокому осмыслению физической сущности процессов, протекающих в электроэнергетических системах и сетях, при изучении теоретического материала.

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, интерактивная доска.

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		
11	Практическая работа №1. Схемы замещения элементов распределительных сетей. Научиться составлять схемы замещения элементов распределительных сетей	3,0	
8	Практическая работа №2. Потери мощности и энергии в элементах электрических сетей. Научиться рассчитывать потери мощности и энергии в элементах электрических сетей	3,0	
10	Практическая работа №3. Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей. Научиться рассчитывать параметры установившихся режимов разомкнутых электрических цепей	3,0	
10	Практическая работа №4. Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием Научиться рассчитывать параметры установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием	3,0	
7	Практическая работа №5. Расчет режимов установившихся режимов разомкнутых электрических сетей. Научиться	3,0	
14	Практическая работа №6. Элементы проек-	3,0	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

14
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	тирования электрических сетей. Изучить элементы проектирования электрических сетей.		
14	Практическая работа №7. Регулирование напряжения в электрических сетях. Изучить Регулирование напряжения в электрических сетях	3,0	
14	Практическая работа №8. Выбор и расчет параметров схем замещения линий электропередач Научиться выбирать и проводить расчет параметров схем замещения линий электропередач.	3,0	
14	Практическая работа №9. Выбор и расчет параметров схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов. Научиться выбирать и проводить расчет параметров схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов	3,0	
	Итого за 7семестр	27,0	
	Итого	27,0	

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1 Схемы замещения элементов распределительных сетей

Цель: научиться составлять схемы замещения элементов электрических сетей

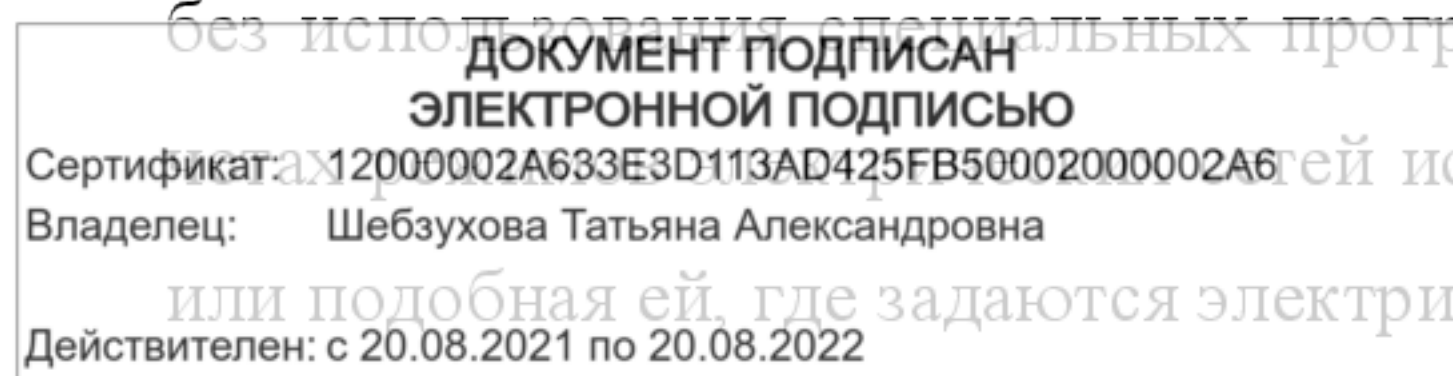
Основы теории:

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 расчете схем замещения 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;

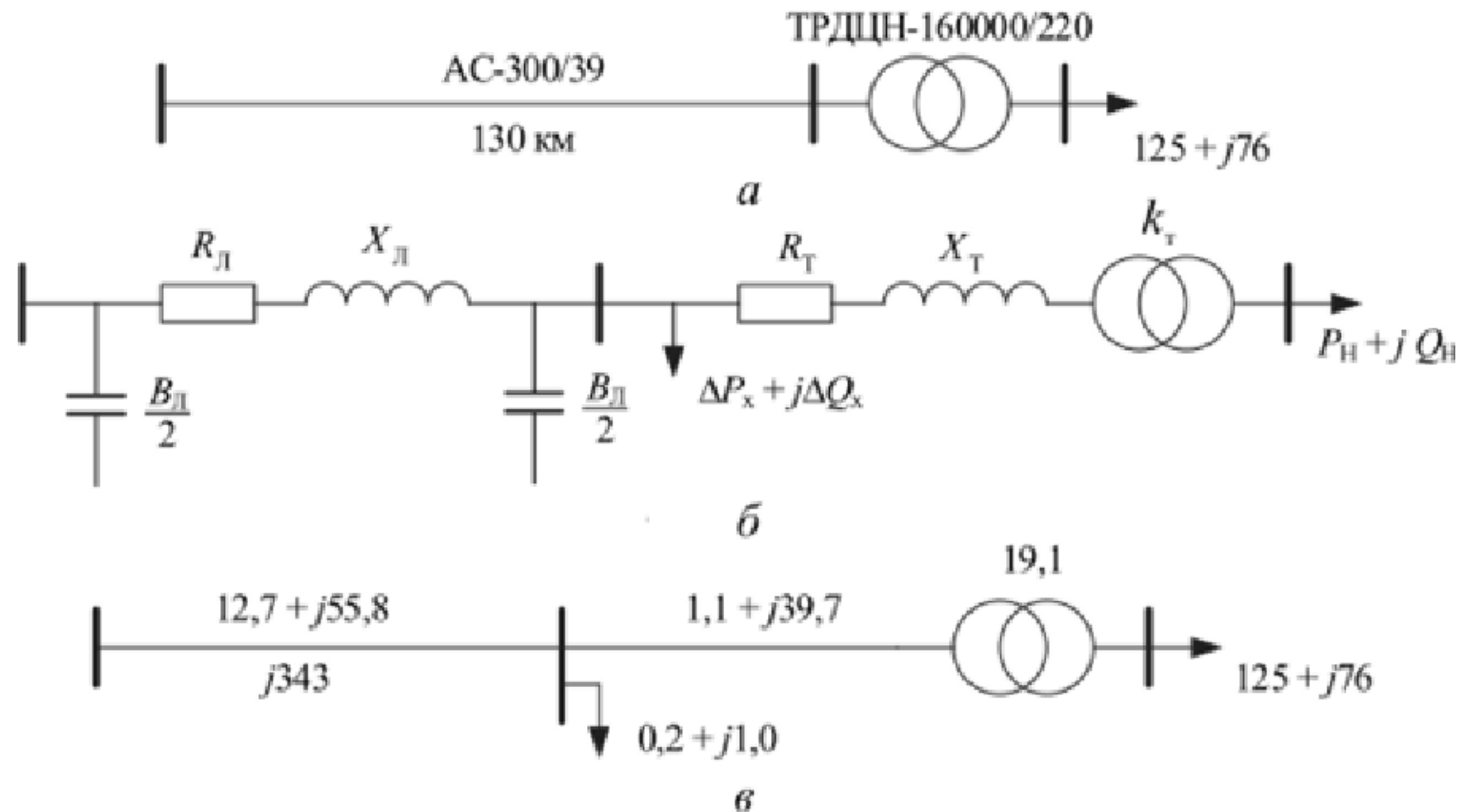


Рисунок 1.1 – Схема замещения

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 сопротив-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

лением. В такой цепи 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.

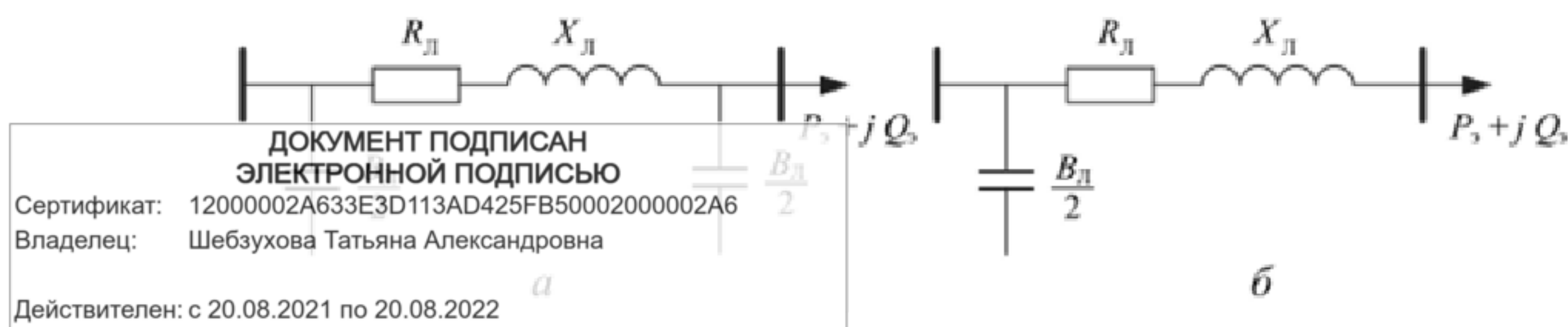


Рисунок 1.2 – Эквивалентные схемы замещения для электрической сети
а - при эквивалентировании трансформатора б- при эквивалентировании трансформатора и зарядной емкости, подходящей ЛЭП

Задание:

Задача №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.

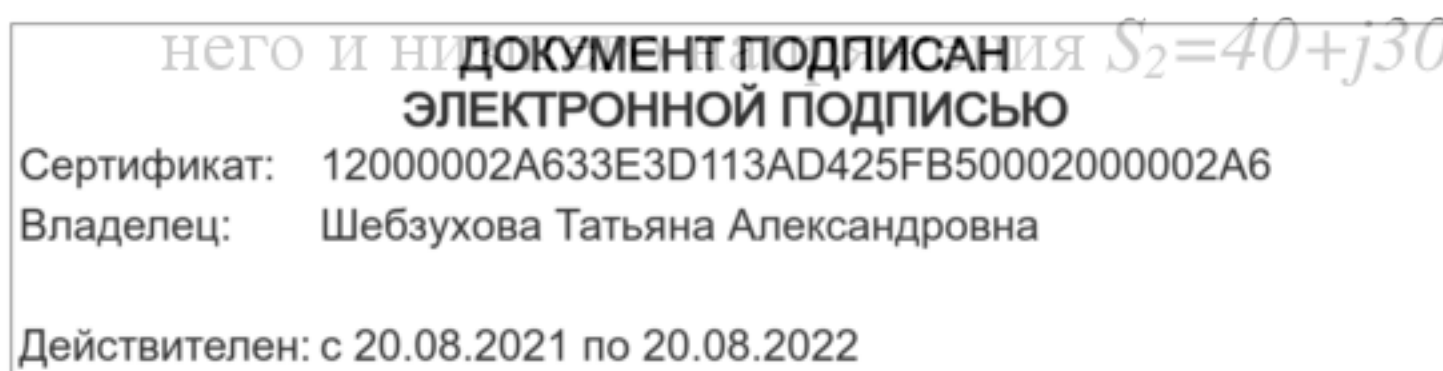
Задача №2

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

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 $S_2=12+j7.2\text{ МВА}$, $\cos \varphi_2=0.85$.

Задача №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: $U_{В\text{ ном}}=230\text{ кВ}$, $U_{С\text{ ном}}=38,5\text{ кВ}$, $U_{Н\text{ ном}}=11\text{ кВ}$, $u_{\kappa\text{ В-С}}=12.5\%$, $u_{\kappa\text{ В-Н}}=24\%$, $u_{\kappa\text{ С-Н}}=10.5\%$, $\Delta P_{\kappa\text{ В-Н}}=320\text{ кВт}$, $\Delta P_{xx}=91\text{ кВт}$, $I_{xx}=1\%$. Нагрузка на шинах среднего и низшего напряжения $S_2=40+j30\text{ МВА}$, $S_3=40+j30\text{ МВА}$.



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

Задача №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, $P_5=50$ МВт, $\cos \varphi=0.9$

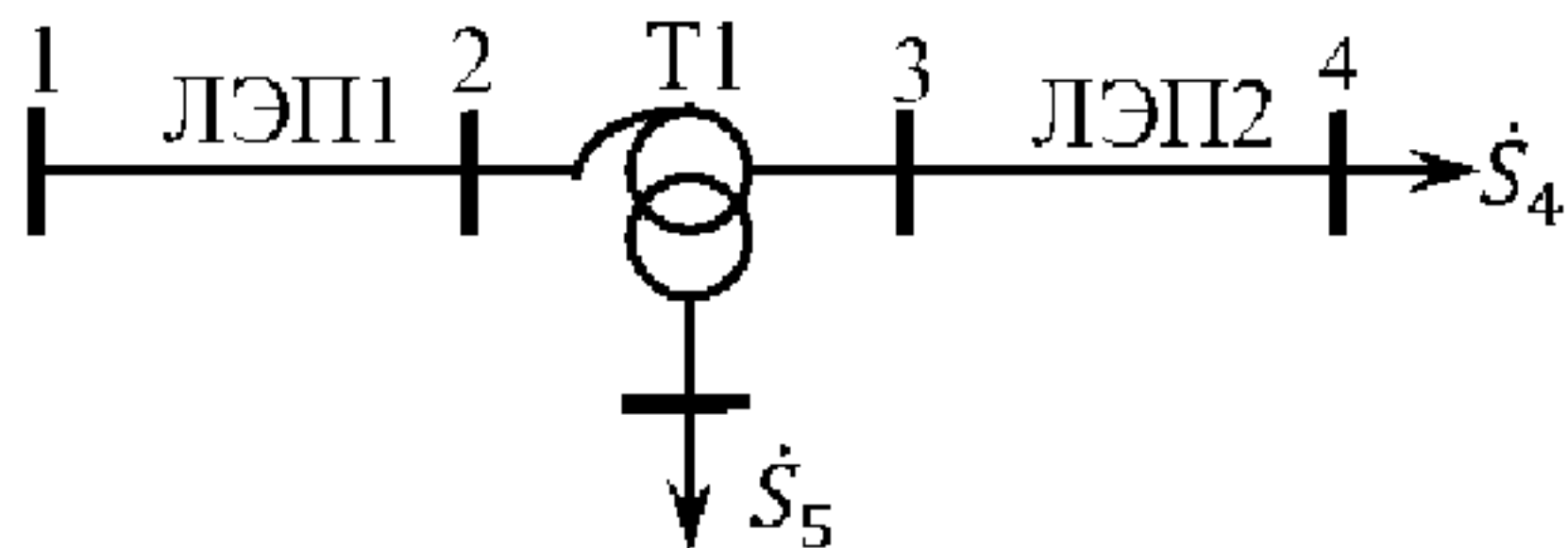


Рисунок – Исходная схема сети

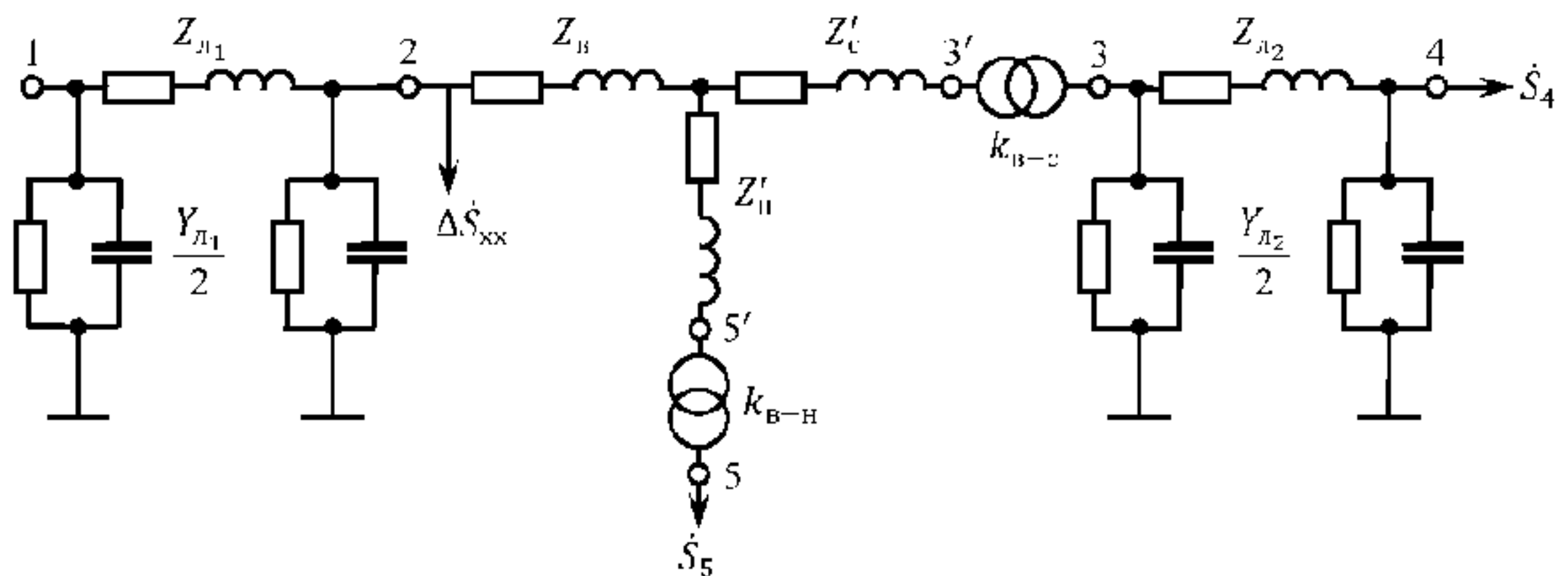
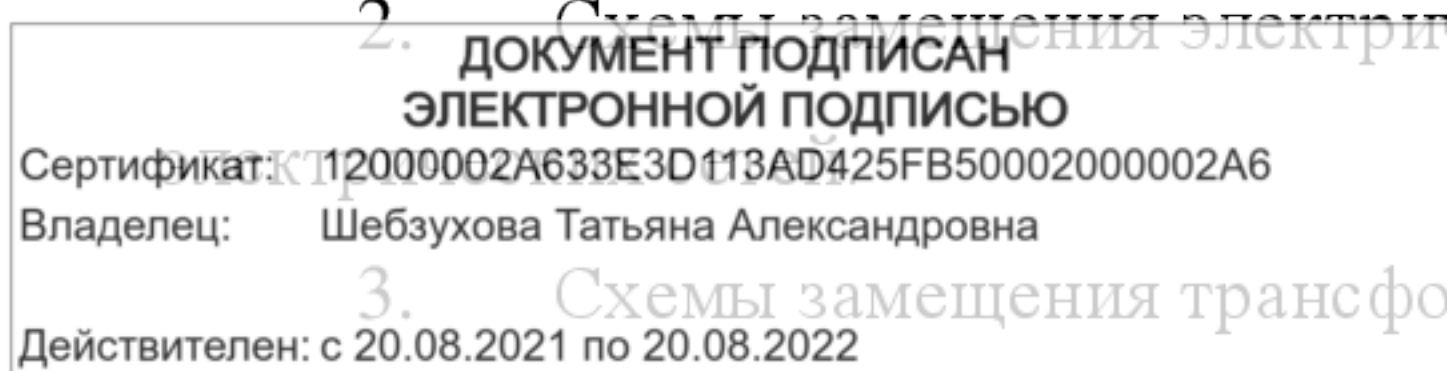


Рисунок – Схема замещения сети

Контрольные вопросы:

1. Классификация электрических сетей?
2. Схемы замещения электрических линий местных и районных трансформаторов (автотрансформаторов)?
3. Схемы замещения трансформаторов (автотрансформаторов)?



Практическая работа №2 Потери мощности и энергии в элементах электрических сетей

Цель: научиться определять потери мощности в трансформаторах и линиях электропередачи

Основы теории:

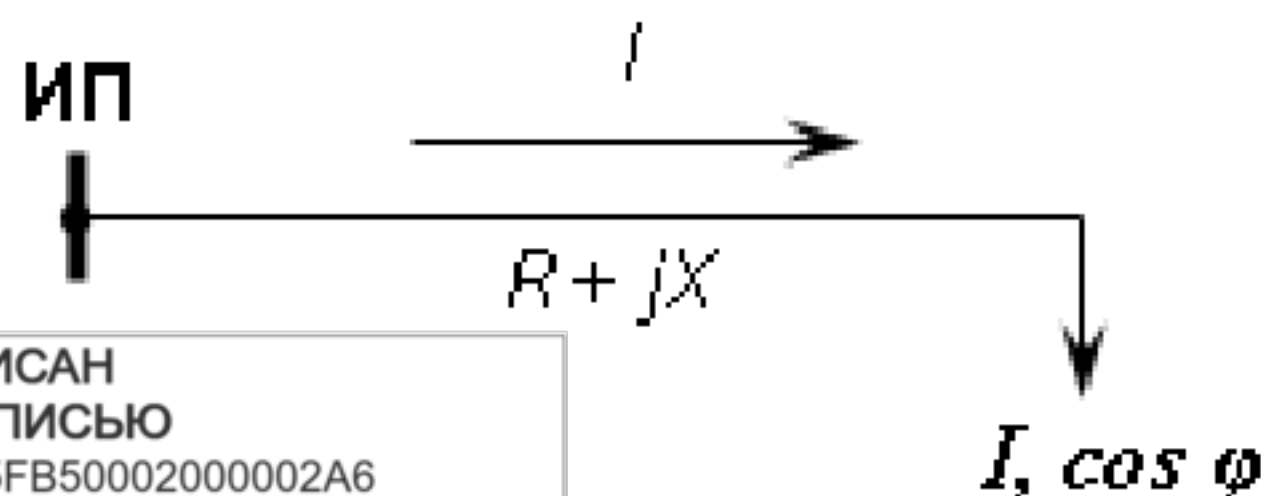
Для количественной характеристики работы элементов электрической сети рассматриваются ее рабочие режимы. Рабочий режим – это установившееся электрическое состояние, которое характеризуется значениями токов, напряжений, активной, реактивной и полной мощностей.

Основной целью расчета режимов является определение этих параметров, как для проверки допустимости режимов, так и для обеспечения экономичности работы элементов сетей.

Определение значений токов в элементах сети и напряжений в ее узлах начинается с построения картины распределения полной мощности по элементу, т.е. с определения мощностей в начале и конце каждого элемента. Такую картину называют потокораспределением.

Рассчитывая мощности в начале и в конце элемента электрической сети, учитывают потери мощности в сопротивлениях элемента и влияние его проводимостей.

Потери активной мощности на участке ЛЭП (см. рис. 2.1) обусловлены активным сопротивлением проводов и кабелей, а также несовершенством их изоляции. Мощность, теряемая в активных сопротивлениях трехфазной ЛЭП и расходуемая на ее нагрев, определяется по формуле:



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 2.1 – К расчету потерь мощности в ЛЭП

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3I^2 R = 3 \cdot [(I \cos \varphi)^2 + (I \sin \varphi)^2] \cdot R = \\ &= 3 \cdot (I_a^2 + I_p^2) \cdot R = 3 \cdot \left[\left(\frac{P}{\sqrt{3}U} \right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{3}U} \right)^2 \right] \cdot R = \\ &= 3 \cdot \left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2} \right) \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{3U^2} R = \frac{S^2}{3U^2} R\end{aligned}$$

где I, I_a, I_p – полный, активный и реактивный токи в ЛЭП;

P, Q, S – активная, реактивная и полная мощности в начале или конце ЛЭП;

U – линейное напряжение в начале или конце ЛЭП;

R – активное сопротивление одной фазы ЛЭП.

Потери активной мощности в проводимостях ЛЭП обусловлены несовершенством изоляции. В воздушных ЛЭП – появлением короны и, в очень незначительной степени, утечкой тока по изоляторам. В кабельных ЛЭП – появлением тока проводимости, а его абсорбции. Рассчитываются потери по формуле:

$$\Delta P = U^2 \cdot G$$

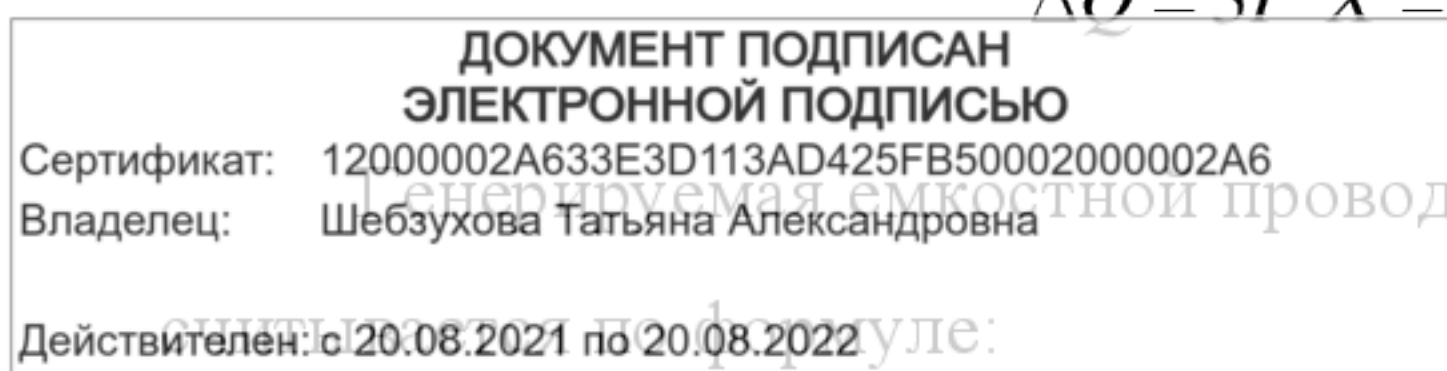
где U – линейное напряжение в начале или конце ЛЭП;

G – активная проводимость ЛЭП.

При проектировании воздушных ЛЭП потери мощности на корону стремятся свести к нулю, выбирая такой диаметр провода, когда возможность возникновения короны практически отсутствует.

Потери реактивной мощности на участке ЛЭП обусловлены индуктивными сопротивлениями проводов и кабелей. Реактивная мощность, теряемая в трехфазной ЛЭП, рассчитывается аналогично мощности, теряемой в активных сопротивлениях:

$$\Delta Q = 3I^2 X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X = \frac{S^2}{U^2} X.$$



Потери реактивной мощности на участке ЛЭП обусловлены индуктивными сопротивлениями проводов и кабелей. Реактивная мощность, теряемая в трехфазной ЛЭП, рассчитывается аналогично мощности, теряемой в активных сопротивлениях:

$$\Delta Q_c = U^2 \cdot B$$

где U – линейное напряжение в начале или конце ЛЭП;

B – реактивная проводимость ЛЭП.

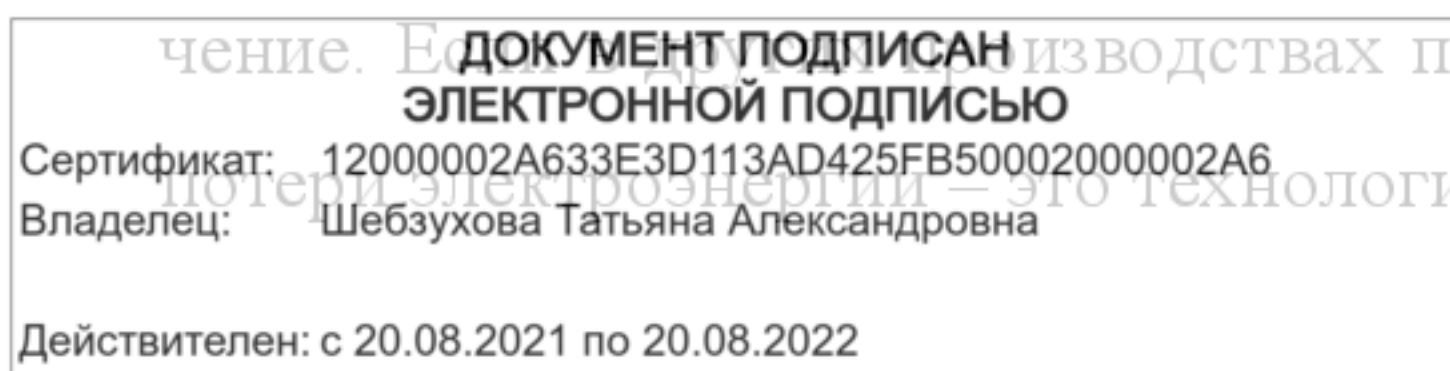
Зарядная мощность уменьшает реактивную нагрузку сети и тем самым снижает потери мощности в ней.

Потери мощности и электроэнергии достигают значительных величин и являются одним из основных фактов, влияющих на экономичность сетей. Их величина регламентируется постановлениями Национального комитета по регулированию электроэнергии (НКРЭ) в сетях напряжением до 35 кВ и в сетях напряжением 35 кВ и выше.

Большая часть потерь электроэнергии (60 – 70%) приходится на сети напряжением 6 – 10 кВ. Поэтому перечисленные ниже мероприятия относятся к сетям этих напряжений и к электроприемникам:

- применение более высокой ступени напряжения (10 кВ вместо 6 кВ);
- повышение уровня напряжения в сети путем применения устройств регулирования напряжения;
- регулирование потоков активной и реактивной мощностей в отдельных звеньях сети;
- применение рациональных схем питания потребителей, которые позволяют осуществлять более экономичную загрузку ЛЭП и трансформаторов;
- рационализация энергохозяйств предприятий – улучшение $\cos\varphi$, правильный выбор мощности и загрузка электродвигателей.

При передаче электроэнергии часть ее расходуется на нагрев, создание электромагнитных полей и другие эффекты. Этот расход принято называть потерями. В электроэнергетике термин “потери” имеет специфическое значение. Если в других производствах потери связаны с браком продукции, то в электроэнергетике – это технологический расход на ее передачу.



Величина потерь электроэнергии зависит от характера изменения нагрузки в рассматриваемый период времени. Например, в ЛЭП, работающей с неизменной нагрузкой, потери электроэнергии за время t рассчитываются следующим образом:

$$\Delta W = \Delta P \cdot t,$$

где ΔP – суммарные потери активной мощности в сопротивлении и проводимости ЛЭП.

Если нагрузка меняется, то потери электроэнергии можно рассчитать различными способами. В зависимости от используемой математической модели методы делятся на две группы:

- детерминированные;
- вероятностно-статистические.

Наиболее точным из детерминированных методов является метод расчета потерь электроэнергии по графику нагрузок для каждого потребителя.

Предположим, что нагрузка потребителя в году менялась по следующему графику (см. рис. 2.2). Тогда

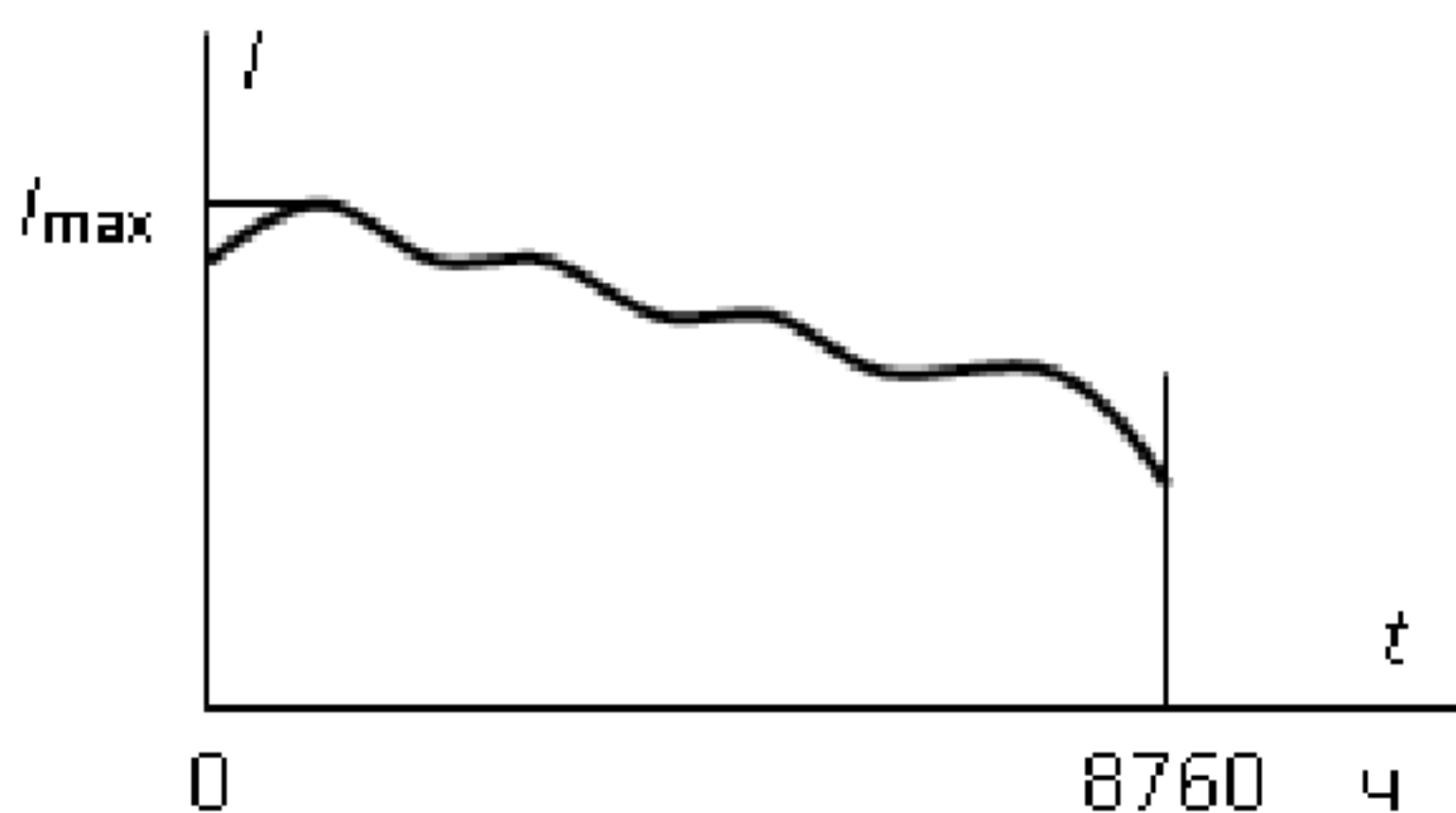
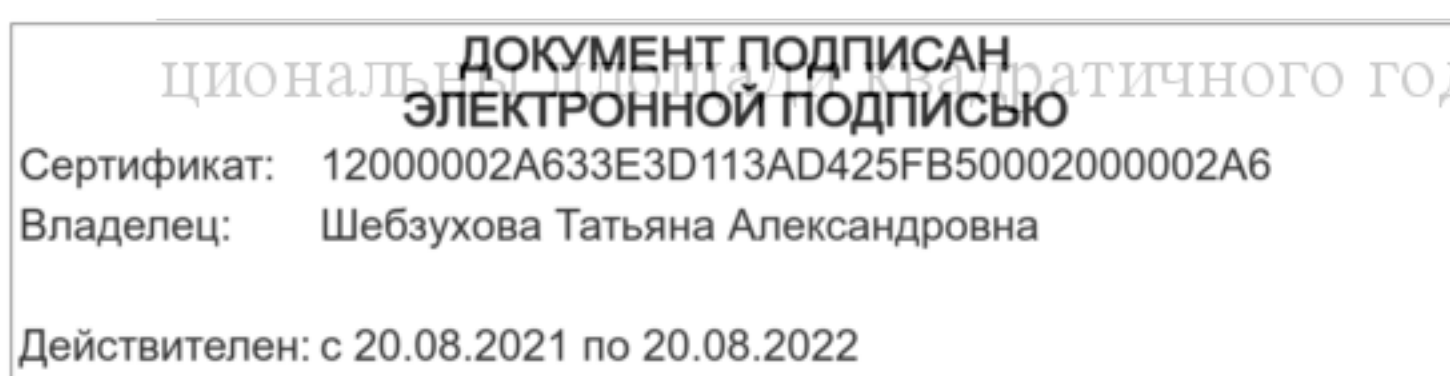


Рисунок 2.2 – График нагрузки потребителя

Интеграл – это фактически площадь, ограниченная графиком изменения квадрата тока. Таким образом, потери активной электроэнергии пропор-

циональны площади под годовым графиком нагрузки.



Так как напряжение на шинах электроприемника меняется незначительно, то его значение можно считать неизменным. Заменяя интеграл суммой площадей прямоугольников с шагом Δt_i , получим:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} \sum_{i=1}^n S_i^2 \cdot \Delta t_i = \frac{R}{U^2} \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) \cdot \Delta t_i$$

Потери электроэнергии в трансформаторах при заданном графике нагрузки при использовании его паспортных данных рассчитываются по формулам:

- для двухобмоточных

$$\Delta W_T = [n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k (\frac{S}{S_{ном}})^2] \cdot \Delta t_i;$$

- для трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов)

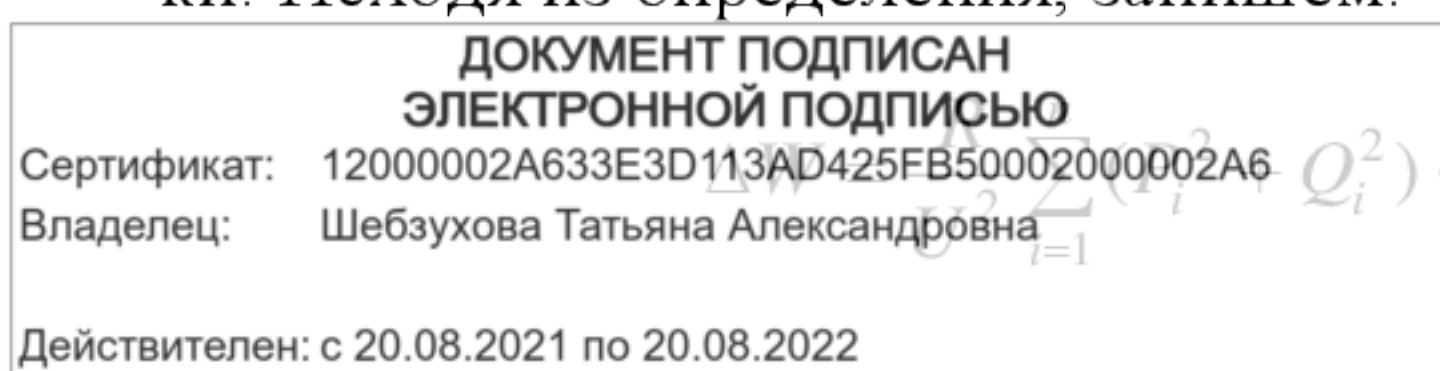
$$\Delta W_T = \{n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} [\Delta P_{кв} (\frac{S_B}{S_{ном}})^2 + \Delta P_{кс} (\frac{S_c}{S_{ном}})^2 + \Delta P_{кн} (\frac{S_H}{S_{ном}})^2]\} \cdot \Delta t_i.$$

Достоинство метода – высокая точность расчета. Недостаток – большое количество вычислений.

Графики нагрузок не всегда известны. В этом случае потери электроэнергии можно вычислить другим детерминированным методом – через τ_m . Метод основан на двух допущениях:

- максимальные потери в электрической сети наблюдаются в период максимума нагрузки в энергосистемы (утренний максимум с 9 до 11 часов; вечерний – с 17 до 21 часа);
- графики активной и реактивной мощности подобны, т.е. график реактивной мощности пересчитан из графика активной мощности.

Время максимальных потерь τ_m – это время, в течении которого при работе потребителя с максимальной нагрузкой из сети потребляется такое же количество электроэнергии, что и при работе по реальному графику нагрузки. Исходя из определения, запишем:



$$\Delta W = \frac{R}{U^2} (P_{\max}^2 \cdot \tau_a + Q_{\max}^2 \cdot \tau_p)$$

где τ_a, τ_p – соответственно время максимальных потерь для активной и реактивной нагрузок.

На практике эти значения усредняют и заменяют общим – τ_m . Тогда,

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \cdot \tau_m.$$

Для типовых графиков нагрузки величина τ_m определяется по известной величине T_m :

$$\tau_m = (0,124 + \frac{T_m}{10000})^2 \cdot 8760.$$

В соответствии с этим методом потери электроэнергии в элементах сети рассчитываются по формулам:

- в линии электропередач

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \cdot \tau_m;$$

- в двухобмоточных трансформаторах

$$\Delta W_T = n \cdot \Delta P_x \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_m$$

- в трехобмоточных трансформаторах (автотрансформаторах)

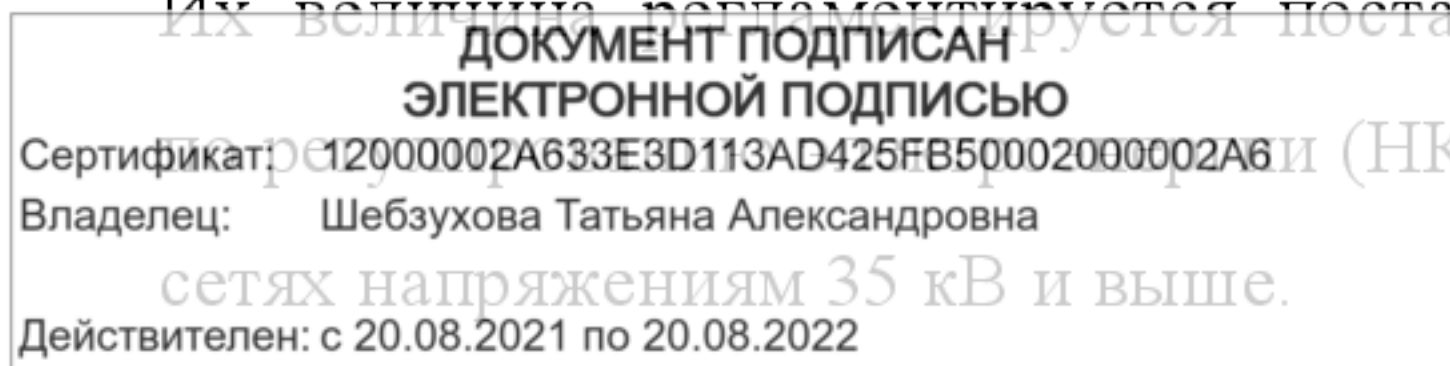
$$\Delta W_T = n \cdot \Delta P_x \cdot 8760 + \frac{1}{n} [\Delta P_{\text{кв}} \left(\frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{мв}} + \Delta P_{\text{кс}} \left(\frac{S_{\text{с}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{кн}} \left(\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{мн}}].$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\max i} \cdot T_{\text{м} i}}{\sum_{i=1}^n P_{\max i}}.$$

Аналогично определяется величина τ_m для ЛЭП, питающей несколько потребителей.

Потери мощности и электроэнергии достигают значительных величин и являются одним из основных фактов, влияющих на экономичность сетей.

Их величина регламентируется постановлениями Национального комитета



Большая часть потерь электроэнергии (60 – 70%) приходится на сети напряжением 6 – 10 кВ. Поэтому перечисленные ниже мероприятия относятся к сетям этих напряжений и к электроприемникам:

- применение более высокой ступени напряжения (10 кВ вместо 6 кВ);
- повышение уровня напряжения в сети путем применения устройств регулирования напряжения;
- регулирование потоков активной и реактивной мощностей в отдельных звеньях сети;
- применение рациональных схем питания потребителей, которые позволяют осуществлять более экономичную загрузку ЛЭП и трансформаторов;
- рационализация энергохозяйств предприятий – улучшение $\cos\varphi$, правильный выбор мощности и загрузка электродвигателей.

Задание:

Задача №1

Определить потери мощности и годовые потери электроэнергии для сети, представленной на рисунке 2.3, нагрузки, показанные на схеме, соответствуют максимальному режиму. График нагрузки приведен на рисунке 2.4. Напряжение в питающем узле 1 равно 525 кВ.

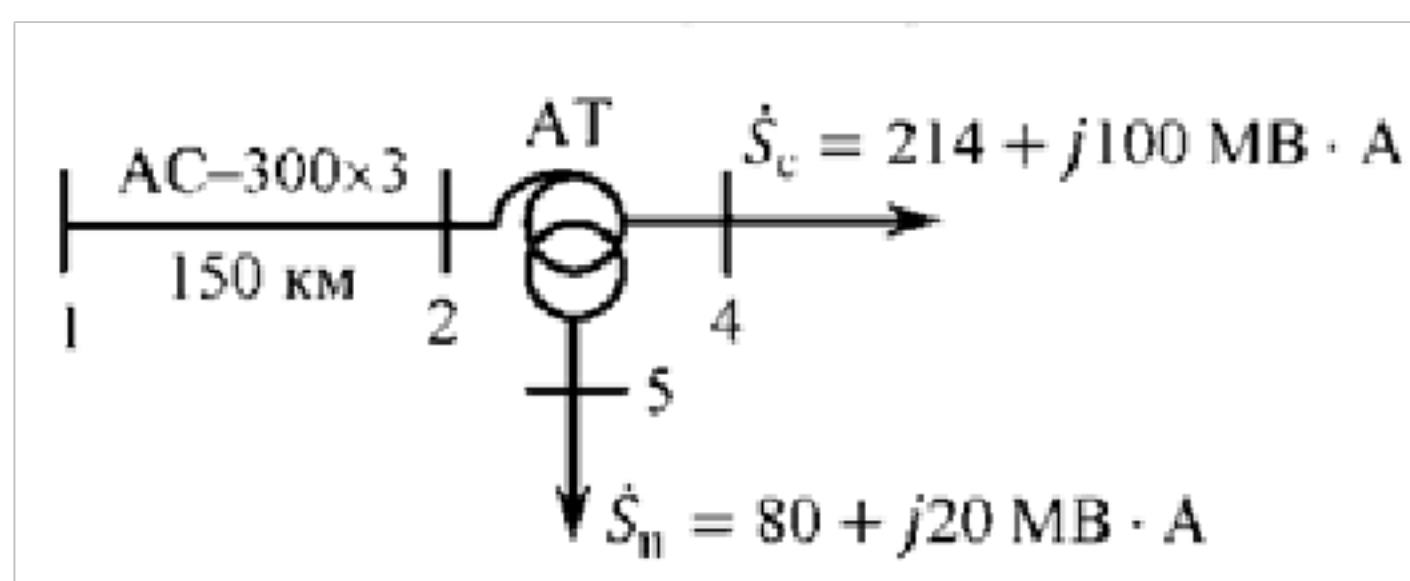


Рисунок 2.3 – Схема сети

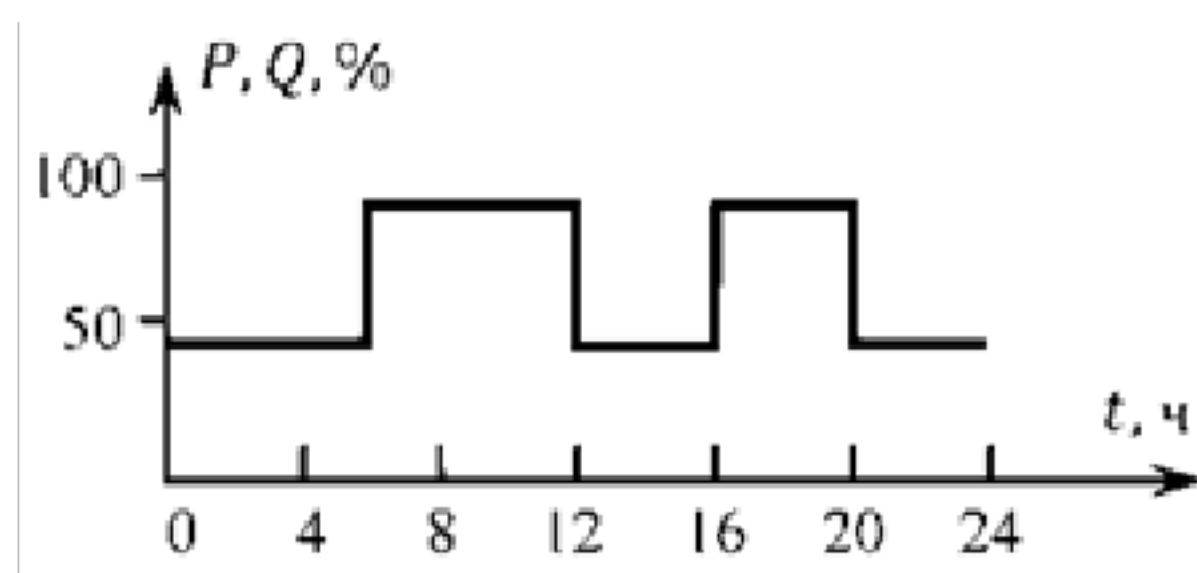


Рисунок 2.4 – График нагрузки

Задача №2

Определить потери энергии за год в трансформаторах типа 2ТРДН-10000/110, $T_{max}=6000$ ч, нагрузка в максимальном режиме $S_{нагр}=15+j10$ МВА. Каталожные данные: $\Delta P_{кз}=60$ кВт, $\Delta P_{хх}=18$ кВт.

Задача №3

На подстанции установлено два трансформатора ТРДЦН-63000/220, которые питаются по двум воздушным линиям сечением АС-400 и длиной 100 км. Нагрузка подстанции в максимальном режиме 100 МВт, $\cos\varphi=0,9$.

Определить потери энергии за год и КПД электропередачи по энергии, если задан годовой график нагрузки по продолжительности.

Годовой график по продолжительности

t , ч	0 – 2100	2100 – 4000	4000 – 6400	6400 – 8760
P , отн.ед	1	0,7	0,5	0,3

Контрольные вопросы:

1. Характер потерь мощности и электроэнергии в различных элементах электрических сетей?
2. Виды потерь мощности. Определение потерь электроэнергии в электрических линиях с помощью графиков нагрузки и с использованием времени максимальных потерь?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

3. Определение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах и автотрансформаторах. Меры по снижению потерь мощности и электроэнергии.

Практическая работа №3

Расчет параметров установившихся режимов разомкнутых электрических цепей

Цель: научиться проводить электрический расчет сети

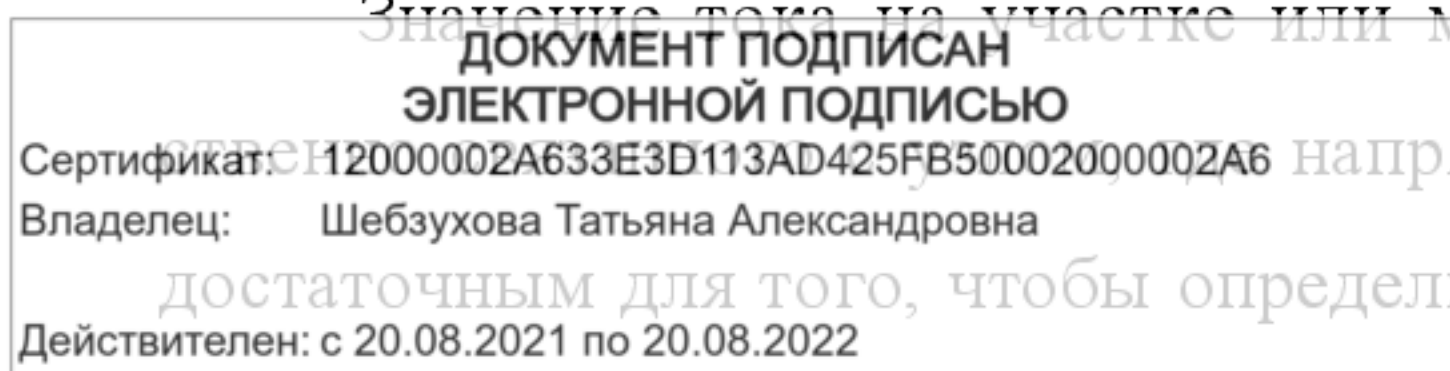
Основы теории:

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, непосред-



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 узлах, полученные после выполнения данной итерации, не будут отличаться от напряжений, полученных на предыдущей итерации, менее чем на заданную величину точности расчета.

Задание:

Задача №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.

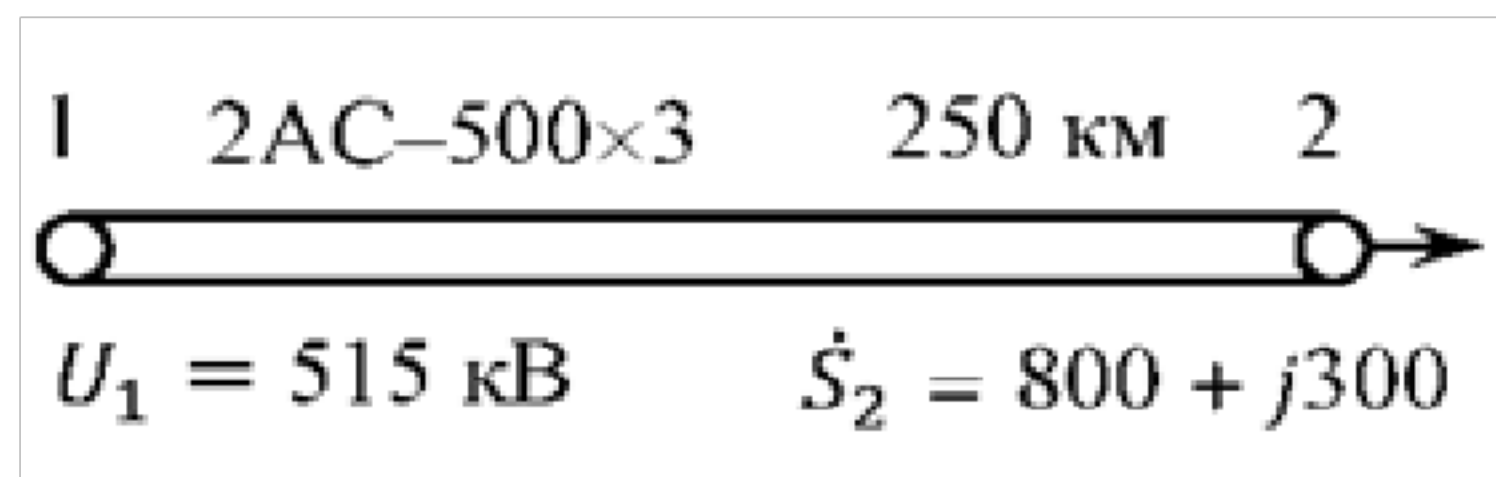


Рисунок 3.1 – Схема сети

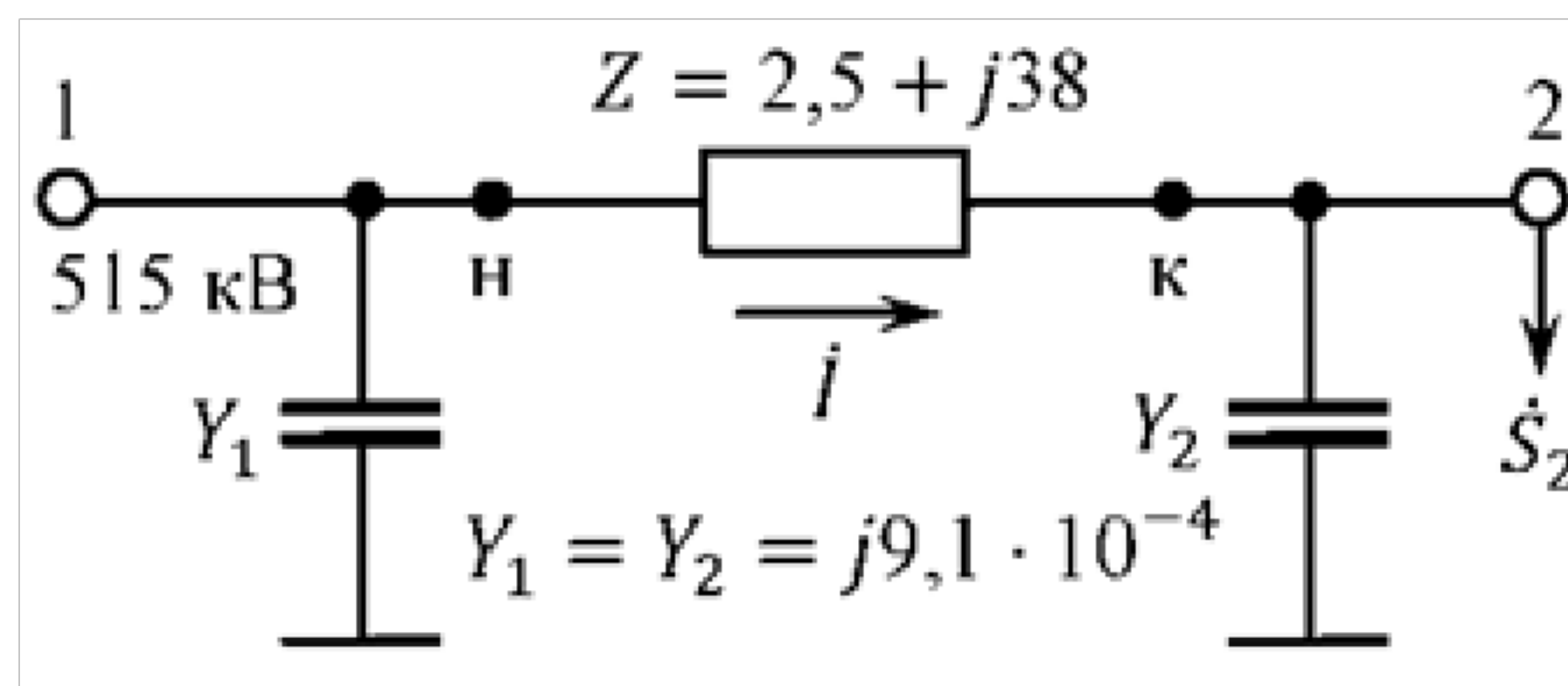


Рисунок 3.2 – Схема замещения сети

Задача №2

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

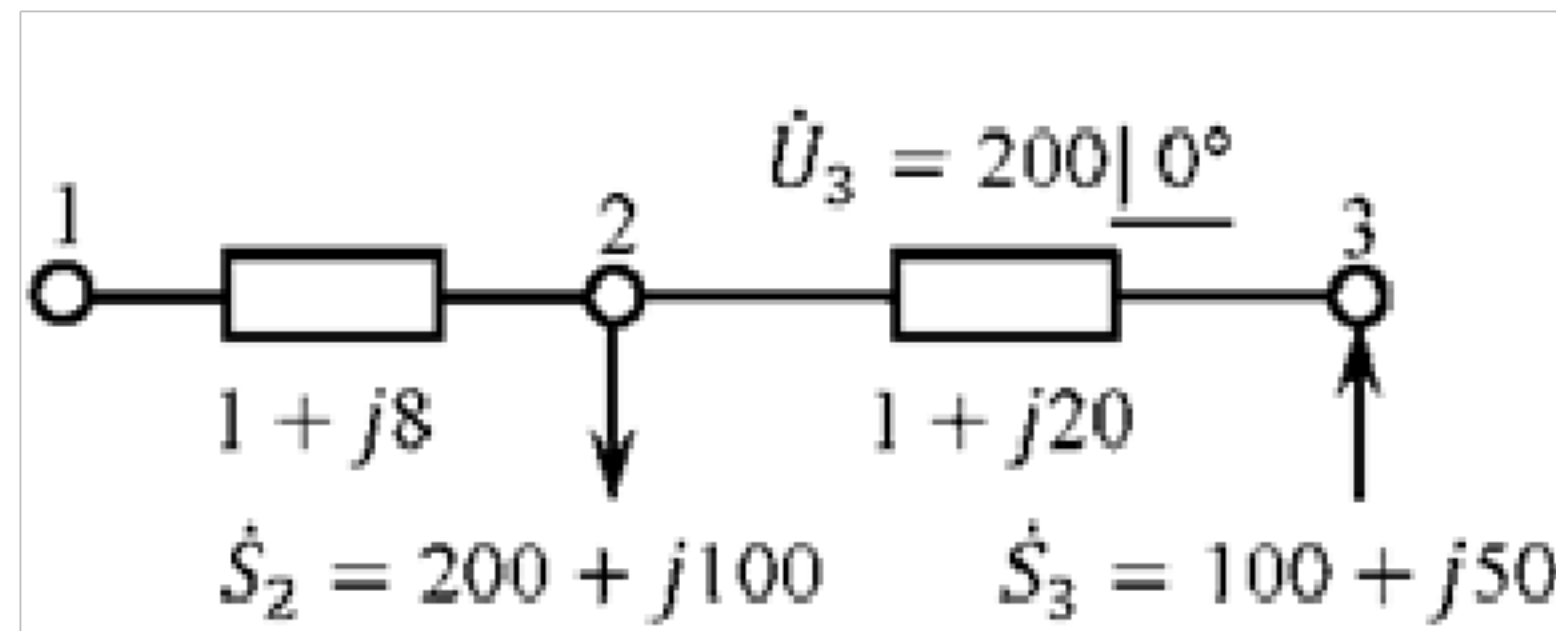


Рисунок 3.3 – Схема замещения сети

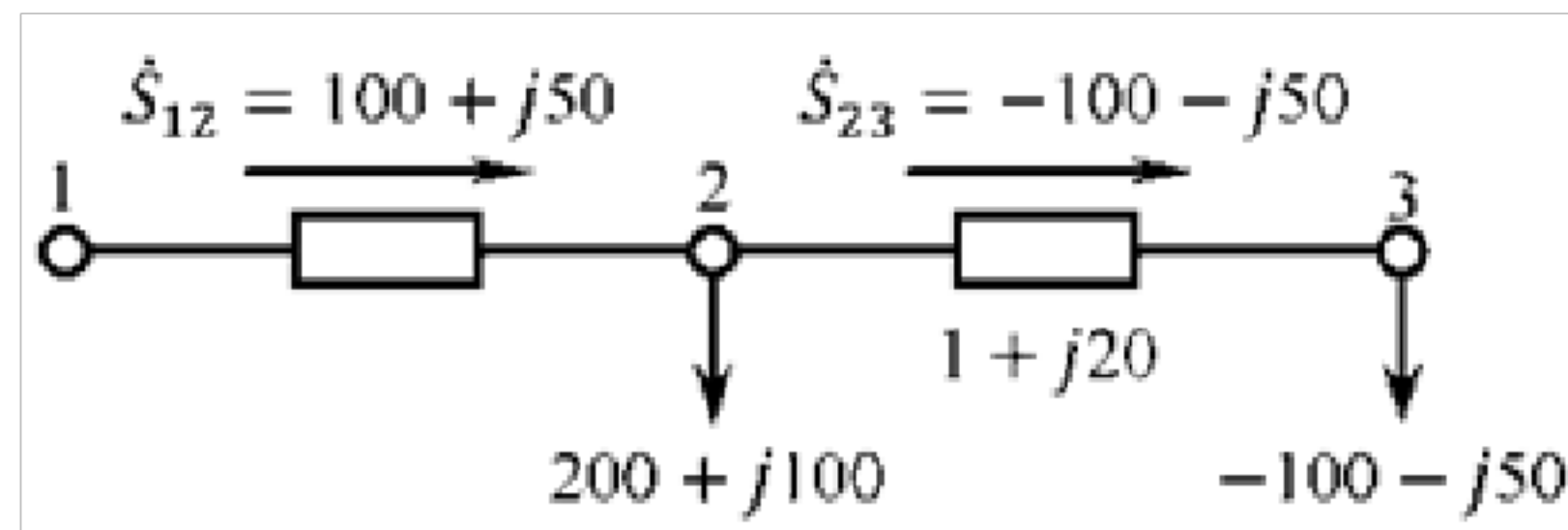
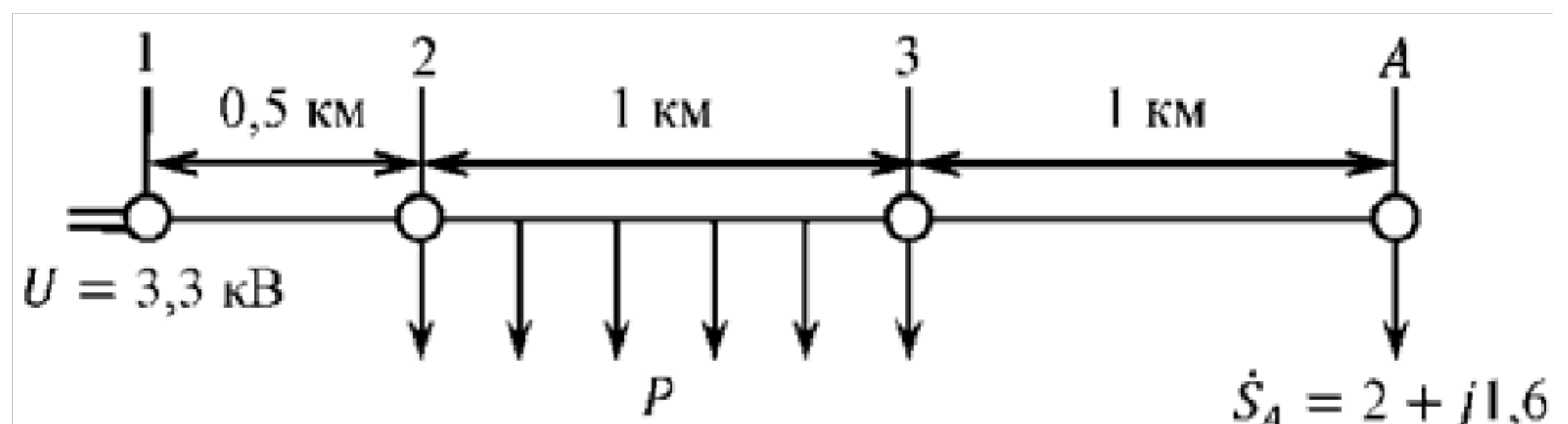


Рисунок 3.4 – Потокораспределение без потерь мощности

Задача №3

Определить напряжение в узле А в сети с равномерно распределенной нагрузкой, плотность нагрузки $p=0,3$ 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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 3.5 – Исходная схема

Выполнить электрический расчет сети, показанной на рисунке 3.6. Линия выполнена сечением 2АС-400, длина линии 100 км, два трансформатора ТРДЦН-63000/220, нагрузка $P_3 = 100$ МВт, $\cos\varphi = 0,9$, напряжение базисного узла 230 кВ.

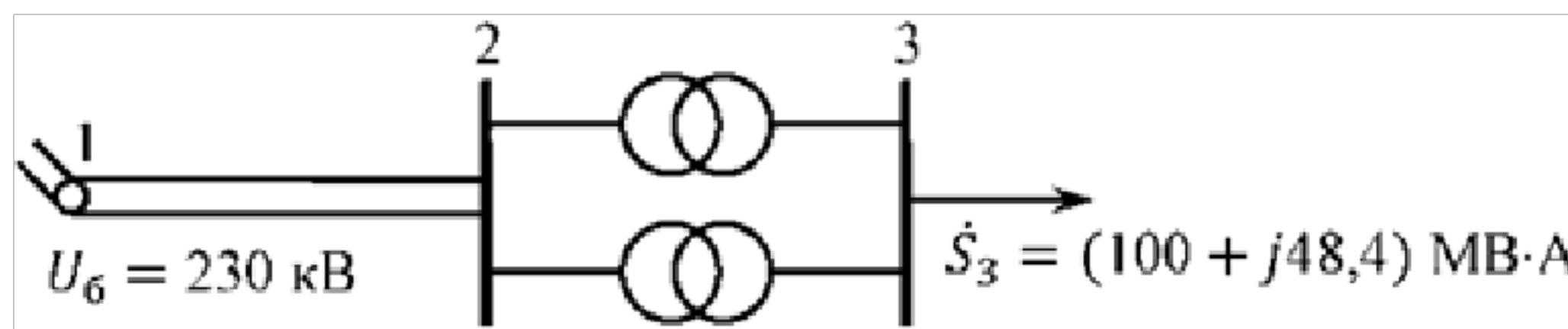


Рисунок 3.6 – Исходная схема сети

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 №4

Расчет параметров установившихся режимов сетей с двухсторонним питанием

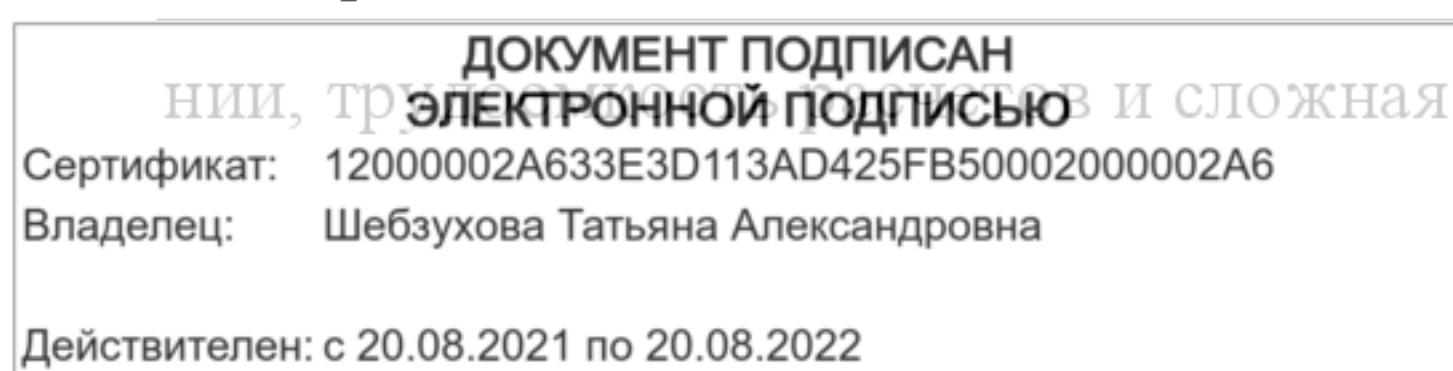
Цель: научиться проводить электрический расчет сети с двухсторонним питанием

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 сооруже-

нии, трудоемкость 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:

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

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

z_{ib} - 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

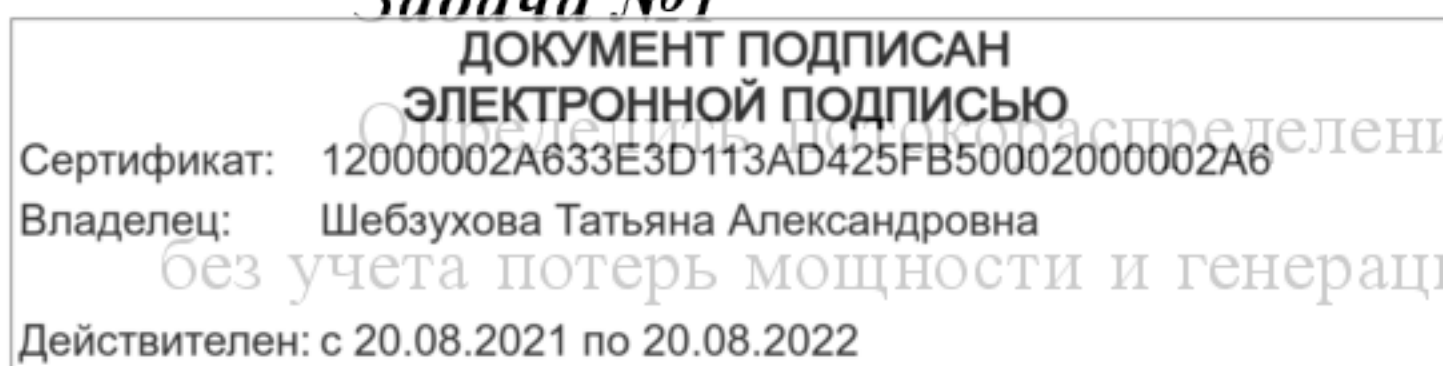
$$\Delta U = \frac{P_r + Q_x}{U_n}.$$

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

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

Задание:

Задача №1



Определить распределение мощностей в сети, приведенной на рисунке 4.1 без учета потерь мощности и генерации линий и напряжения узлов. Постро-

ить векторные диаграммы напряжений и токов. Нагрузки заданы в мегавольт-амперах, сопротивления – в омах.

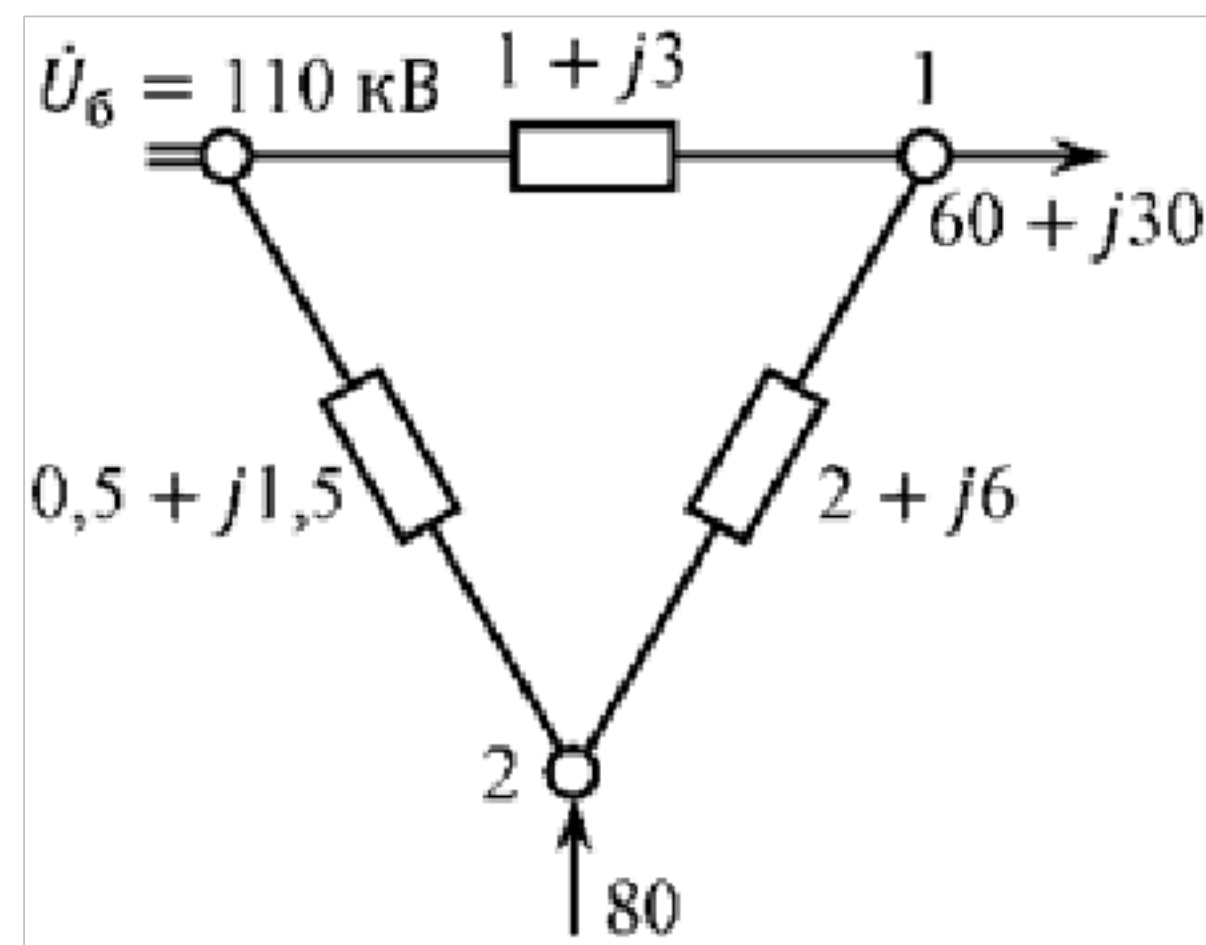


Рисунок 4.2 – Исходная схема

Задача №2

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

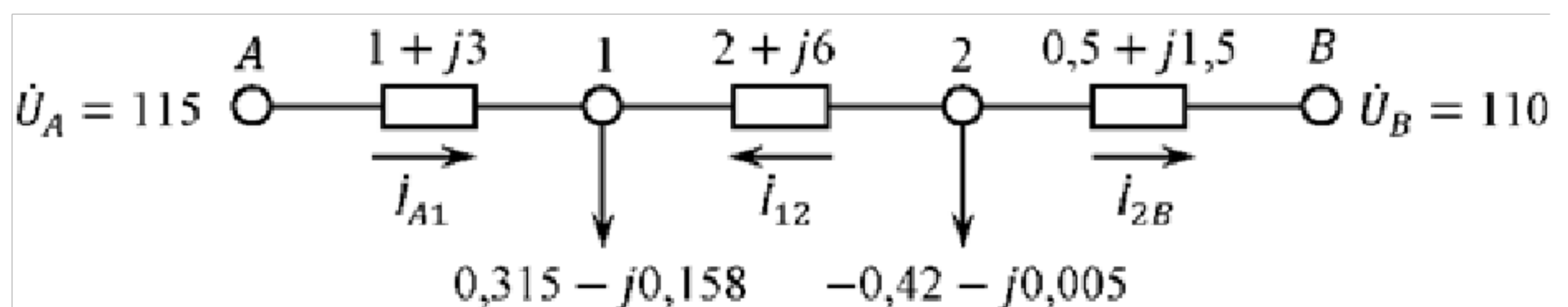


Рисунок 4.2 – Схема замещения сети

Задача №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 $b_0=2.68 \cdot 10^{-6}$ См/км. Мощность и напряжение в конце линии соответственно равны $S_2=240+j116$ МВА, $\cos\phi_2=0.9$, $U_2=218$ кВ.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

$$S_1 = 25 + j15 = 29.2 \angle 31^\circ \text{ МВА};$$

$$S_2 = 30 + j20 = 36.1 \angle 33^\circ 40' \text{ МВА};$$

$$S_3 = 40 + j16 = 43 \angle 21^\circ 50' \text{ МВА}.$$

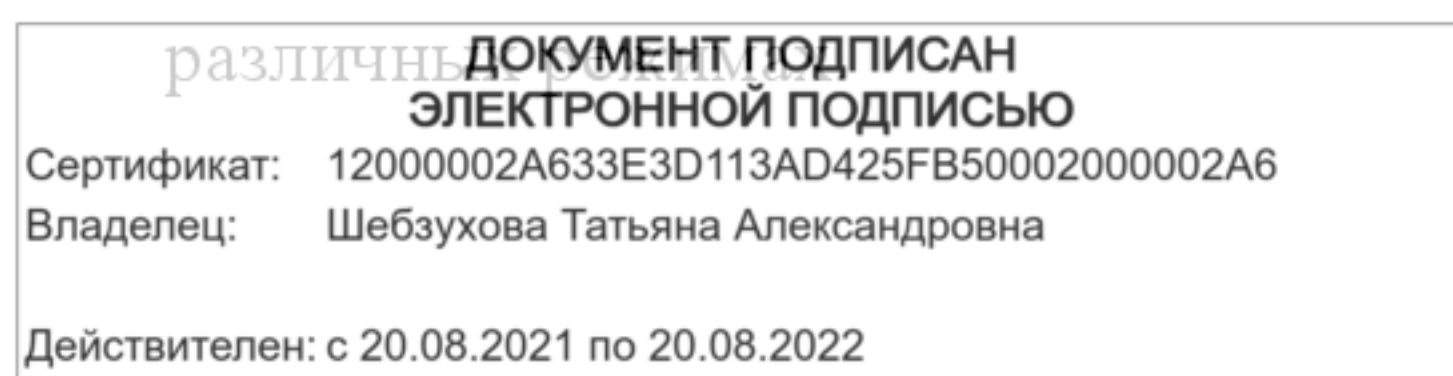
Таблица 4.1 – Параметры участков кольцевой линии

Линия	Марка провода	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$l_0, \text{км}$	$r_1, \text{Ом}$	$x_1, \text{Ом}$
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



Практическая работа №5

Расчет режимов замкнутых электрических сетей

Цель: научиться проводить электрический расчет замкнутых электрических сетей

Основы теории:

К простым замкнутым сетям относятся кольцевые сети и сети с двухсторонним питанием. Кольцевую сеть можно превратить в сеть с двухсторонним питанием, если разрезать ее по источнику питания.

Рассмотрим ЛЭП с двухсторонним питанием (рис. 5.1). Известны:

- мощности нагрузок;
- сопротивления участков ЛЭП;
- напряжения на источниках питания.

Необходимо найти распределение мощностей на участках ЛЭП. Расчет выполним при следующих допущениях:

- в ЛЭП отсутствуют потери мощности;

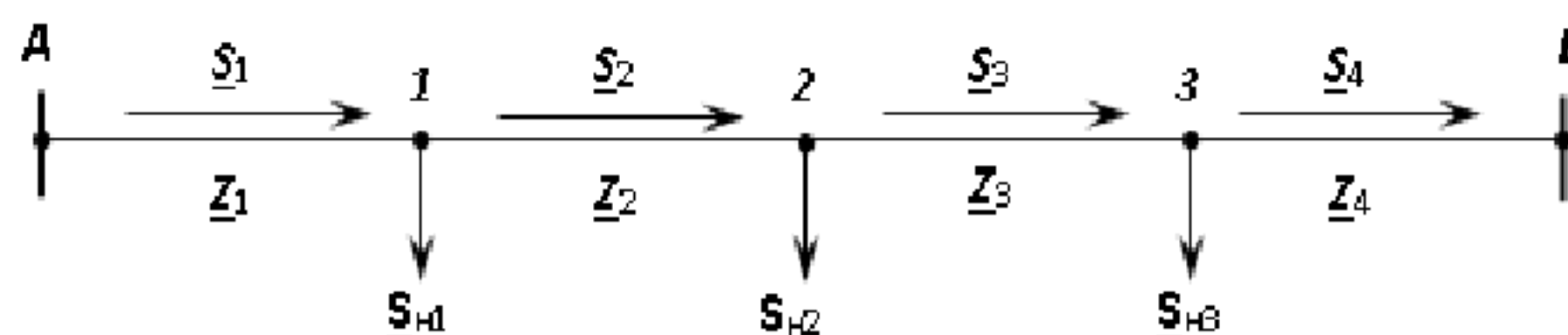


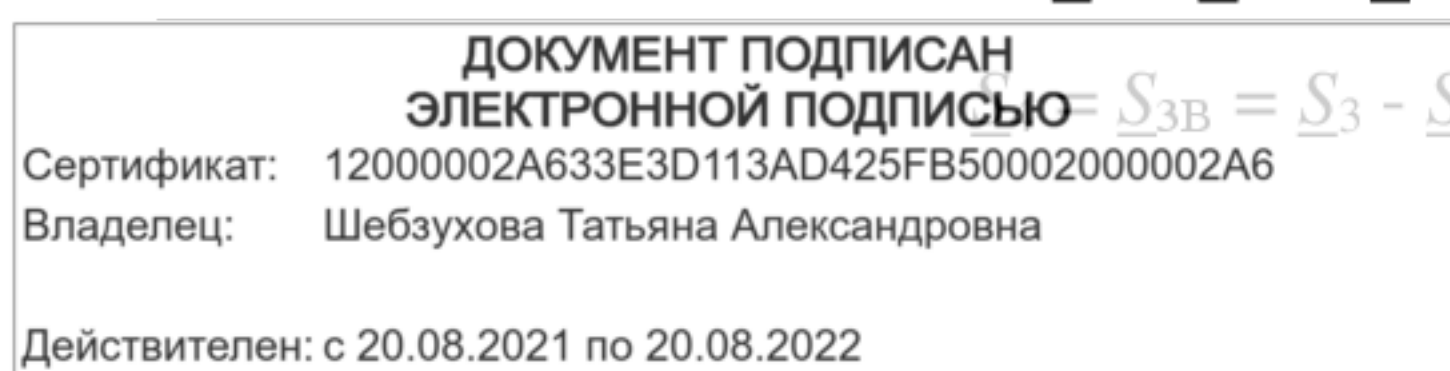
Рисунок 5.1 – Линия электропередач с двухсторонним питанием

Предположим, что нам известна мощность, протекающая на головном участке А-1. Тогда мощности на других участках ЛЭП определяются по I закону Кирхгофа:

$$\underline{S}_2 = \underline{S}_{12} = \underline{S}_1 - \underline{S}_{н1};$$

$$\underline{S}_3 = \underline{S}_{23} = \underline{S}_2 - \underline{S}_{н2} = \underline{S}_1 - \underline{S}_{н1} - \underline{S}_{н2};$$

$$\underline{S}_{3В} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{н3} = \underline{S}_1 - \underline{S}_{н1} - \underline{S}_{н2} - \underline{S}_{н3}.$$



Падение напряжение на любом участке ЛЭП рассчитывается по формуле:

$$\Delta \underline{U}_i = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_i$$

Из формулы для расчета мощности на участке ЛЭП ($\underline{S}_i = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_i^* \cdot \underline{U}_i$) найдем ток участка:

$$\underline{I}_i = \frac{\underline{S}_i^*}{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_i}$$

$$\Delta \underline{U}_i = \sqrt{3} \cdot \frac{\underline{S}_i^*}{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_i} \cdot \underline{Z}_i = \frac{\underline{S}_i}{\underline{U}_i} \cdot \underline{Z}_i^*$$

При учете второго допущения получим:

$$\Delta \underline{U}_i = \frac{\underline{S}_i}{U_{\text{ном}}} \cdot \underline{Z}_i^*$$

Найдем падение напряжения во всей ЛЭП:

$$\underline{U}_A - \underline{U}_B = \frac{\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{A1}^*}{U_{\text{ном}}} + \frac{\underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{12}^*}{U_{\text{ном}}} + \frac{\underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{23}^*}{U_{\text{ном}}} + \frac{\underline{S}_4 \cdot \underline{Z}_{3B}^*}{U_{\text{ном}}}$$

или

$$(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}} = \underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{A1}^* + \underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{12}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{23}^* + \underline{S}_4 \cdot \underline{Z}_{3B}^*$$

В полученное выражение подставим значения токов участков:

$$(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}} = \underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{A1}^* + (\underline{S}_1 - \underline{S}_{\text{н1}}) \cdot \underline{Z}_{12}^* + (\underline{S}_1 - \underline{S}_{\text{н1}} - \underline{S}_{\text{н2}}) \cdot \underline{Z}_{23}^* +$$

$$+ (\underline{S}_1 - \underline{S}_{\text{н1}} - \underline{S}_{\text{н2}} - \underline{S}_{\text{н3}}) \cdot \underline{Z}_{3B}^*$$

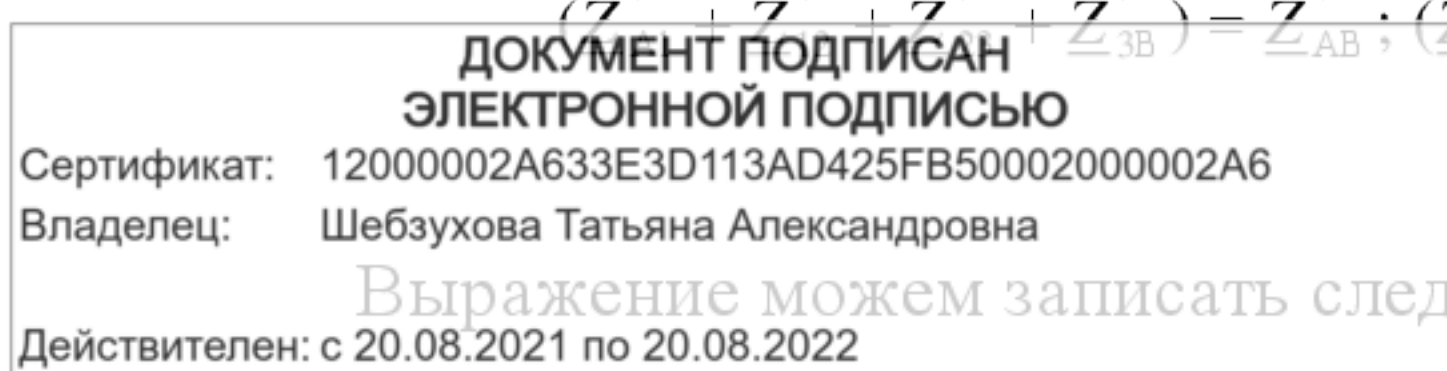
Выполним преобразования:

$$(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}} = \underline{S}_1 \cdot (\underline{Z}_{A1}^* + \underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) - \underline{S}_{\text{н1}} \cdot (\underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) -$$

$$- \underline{S}_{\text{н2}} \cdot (\underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) - \underline{S}_{\text{н3}} \cdot \underline{Z}_{3B}^*$$

Суммы сопротивлений представляют собой сопротивления:

$$(\underline{Z}_{A1}^* + \underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) = \underline{Z}_{AB}^*; (\underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) = \underline{Z}_{1B}^*; (\underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{3B}^*) = \underline{Z}_{2B}^*$$



$$(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}} = \underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{AB}^* - \underline{S}_{\text{н1}} \cdot \underline{Z}_{1B}^* - \underline{S}_{\text{н2}} \cdot \underline{Z}_{2B}^* - \underline{S}_{\text{н3}} \cdot \underline{Z}_{3B}^* = \underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{AB}^* - \sum_{i=1}^3 \underline{S}_{\text{нi}} \cdot \underline{Z}_{iB}^*$$

В полученном выражении только одна неизвестная величина – мощность первого головного участка:

$$\underline{S}_{\text{гол1}} = \underline{S}_1 = \underline{S}_{A1} = \frac{(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}}}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\sum_{i=1}^3 \underline{S}_{\text{нi}} \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}$$

Если бы мы определяли падение напряжения $(\underline{U}_B - \underline{U}_A)$ и выполнили аналогичные преобразования, то нашли бы мощность второго головного участка:

$$\underline{S}_{\text{гол1}} = \underline{S}_1 = \underline{S}_{A1} = \frac{(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}}}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\sum_{i=1}^3 \underline{S}_{\text{нi}} \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}$$

При n нагрузках:

$$\underline{S}_{\text{гол1}} = \underline{S}_1 = \underline{S}_{A1} = \frac{(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot U_{\text{ном}}}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{нi}} \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}$$

$$\underline{S}_{\text{гол2}} = \underline{S}_4 = \underline{S}_{3B} = \frac{(\underline{U}_B - \underline{U}_A) \cdot U_{\text{ном}}}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{нi}} \cdot \underline{Z}_{iA}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}$$

Правильность полученных расчетов подтверждается выполнением баланса мощности – равенством произведенной и потребленной мощности:

$$\underline{S}_{\text{гол1}} + \underline{S}_{\text{гол2}} = \sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{нi}}$$

Значения части мощностей участков получатся отрицательными, т.е. они имеют обратное направление по отношению к принятому.

В общем случае расчет режима сети с двухсторонним питанием производится в комплексной форме. Но возможны следующие частные случаи:

В случае, когда отношение X_i/R_i участков одинаково по всей длине ЛЭП, обозначим это отношение буквой m . Для такой ЛЭП реактивное сопротивление участков можно выразить активное - $X_i = R_i \cdot m$.

Тогда:

$$\begin{aligned}\underline{S}_{\text{гол1}} = \underline{S}_1 = \underline{S}_{A1} &= \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{Hi}} \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*} = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{Hi}} \cdot (R_{iB} - jX_{iB})}{(R_{AB} - jX_{AB})} = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{Hi}} \cdot R_{iB} \cdot (1 - jm)}{R_{AB} \cdot (1 - jm)} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}}.\end{aligned}$$

Таким образом, активные и реактивные мощности головных участков рассчитываются независимо друг от друга по активным сопротивлениям участков.

Однородная ЛЭП с одинаковым сечением проводов на участках. Для такой ЛЭП выражение запишем таким образом:

$$\begin{aligned}\underline{S}_{\text{гол1}} = \underline{S}_1 = \underline{S}_{A1} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot r_0 \cdot l_{iB}}{r_0 \cdot l_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{Hi}} \cdot r_0 \cdot l_{iB}}{r_0 \cdot l_{AB}} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot l_{iB}}{l_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{Hi}} \cdot l_{iB}}{l_{AB}}.\end{aligned}$$

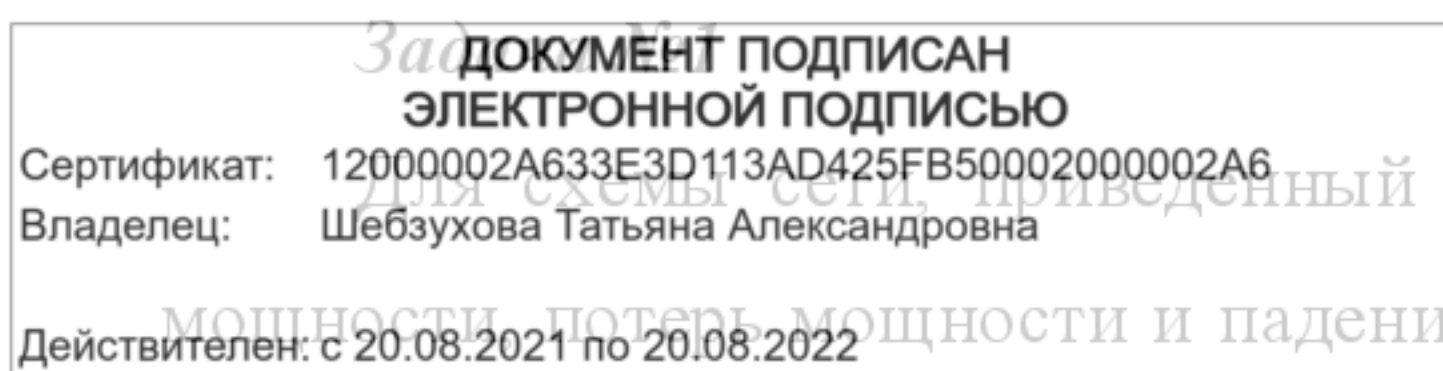
Таким образом, активные и реактивные мощности головных участков рассчитываются независимо друг от друга по длинам участков.

Однородная ЛЭП и одинаковый $\cos\varphi$ нагрузок. Для такой ЛЭП выражение запишем так:

$$P_{\text{гол1}} + jQ_{\text{гол1}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot R_{iB}}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Hi}} \cdot \tan\varphi \cdot R_{iB}}{R_{AB}} = P_{\text{гол1}} + jP_{\text{гол1}} \cdot \tan\varphi$$

Таким образом, реактивные мощности головных участков можно рассчитывать по активной мощности этих участков.

Задание:



на рис. 5, выполнить расчет потоков и напряжений в линиях, напряжений в

узлах, в том числе на шинах вторичного напряжения подстанции. Исходная информация о параметрах схемы сети и нагрузках узлов, напряжения на шинах источника питания А приведена в табл. 5.1.

Результаты расчетов представить в виде схемы с нанесенными на нее потоками мощности в начале и в конце каждого участка, напряжениями во всех узлах.

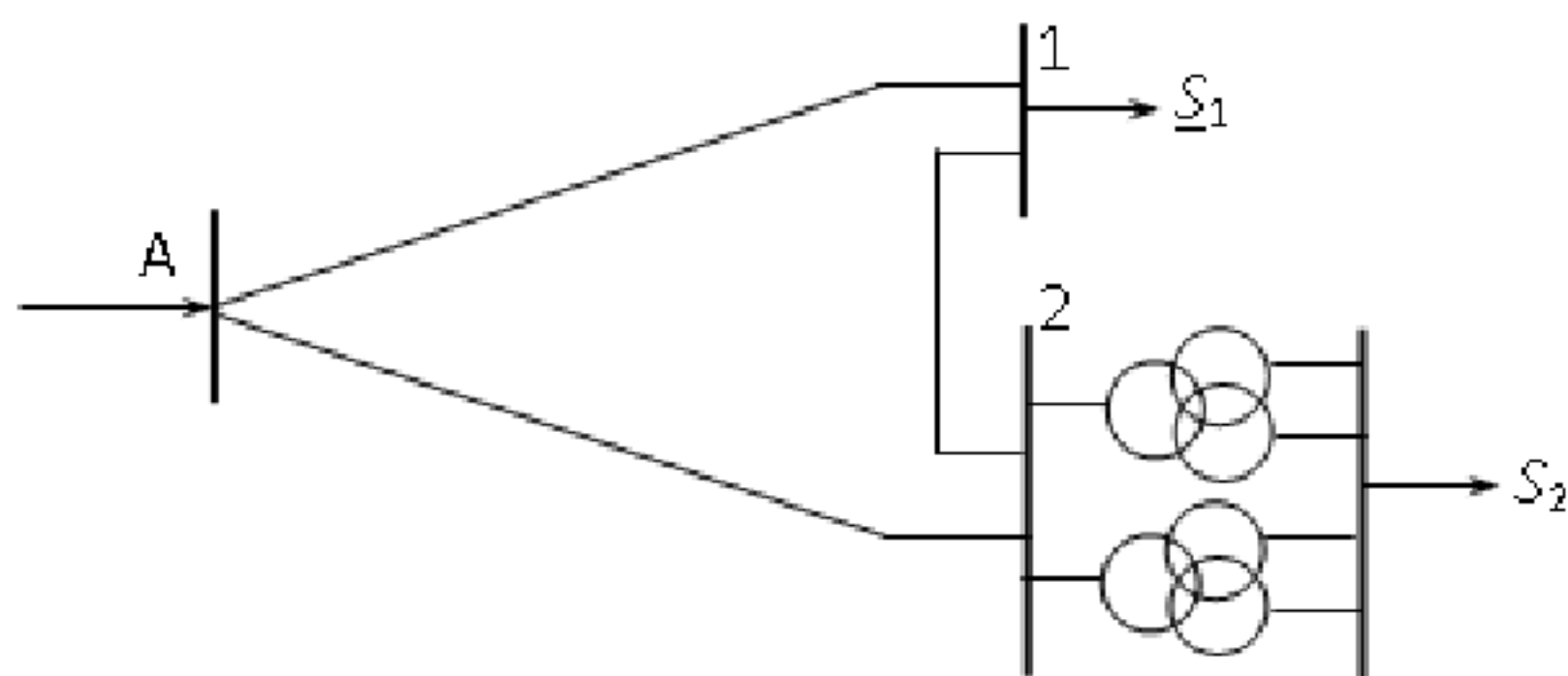


Рисунок 5.2 – Схема замкнутой сети

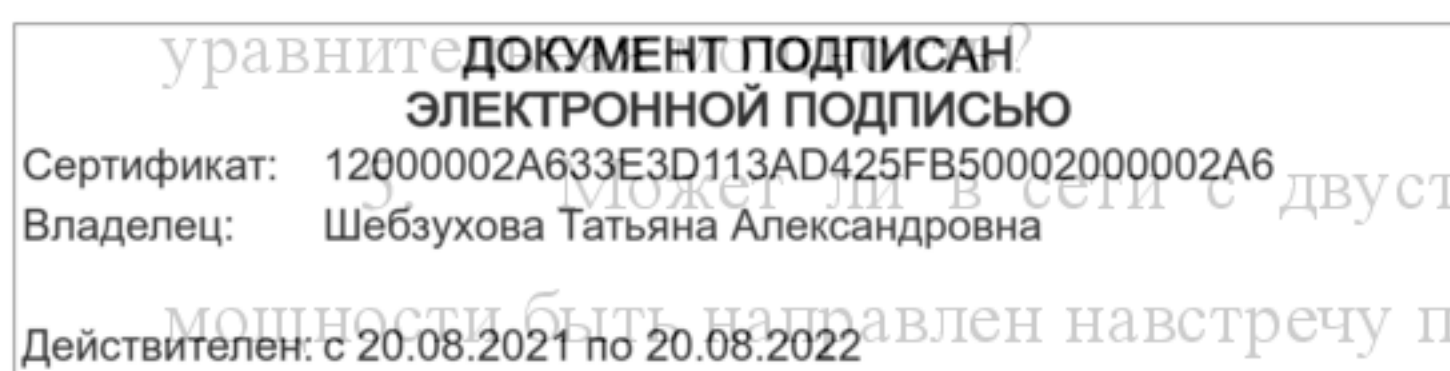
Таблица 5.1 – Исходная информация о параметрах схемы и режима

Номер варианта	Сечения проводов длина(км) участков сети			Тип и мощность трансформаторов	Нагрузки в узлах (МВ·А) и коэффициенты мощности		Напряжение U_A , кВ
	А-1	1-2	А-2		$S_1/\cos \varphi_1$	$S_2/\cos \varphi_2$	
1	АС – 240/32 40	АС – 240/32 18	АС – 240/32 50	ТРДН- 40000/115/10,5/10,5	$\frac{45}{0,95}$	$\frac{52}{0,92}$	120
2	АС – 240/32 38	АС – 120/19 25	АС – 240/32 40	ТРДН- 40000/115/10,5/10,5	$\frac{47}{0,9}$	$\frac{50}{0,95}$	121
3	АС – 185/29 28	АС – 185/29 15	АС – 185/29 32	ТРДН- 25000/115/10,5/10,5	$\frac{37}{0,95}$	$\frac{33}{0,9}$	119
4	АС – 240/32 40	АС – 240/32 20	АС – 240/32 40	ТРДН- 25000/115/10,5/10,5	$\frac{57}{0,94}$	$\frac{35}{0,95}$	120,5
5	АС – 240/32 45	АС – 240/32 30	АС – 240/32 50	ТРДН- 40000/115/10,5/10,5	$\frac{38}{0,92}$	$\frac{56}{0,95}$	118

6	$\frac{AC - 240/32}{50}$	$\frac{AC - 240/32}{30}$	$\frac{AC - 240/32}{60}$	ТРДН- 40000/230/11/11		$\frac{55}{0,92}$	238
7	$\frac{AC - 240/32}{60}$	$\frac{AC - 240/32}{30}$	$\frac{AC - 240/32}{50}$	ТРДЦН- 63000/230/11/11	$\frac{100}{0,95}$	$\frac{80}{0,94}$	237,5
8	$\frac{AC - 240/32}{45}$	$\frac{AC - 240/32}{25}$	$\frac{AC - 240/32}{60}$	ТРДЦН- 63000/230/11/11	$\frac{95}{0,9}$	$\frac{88}{0,93}$	239
9	$\frac{AC - 300/39}{60}$	$\frac{AC - 300/39}{40}$	$\frac{AC - 300/39}{70}$	ТРДЦН- 100000/230/11/11	$\frac{100}{0,92}$	$\frac{130}{0,95}$	240
10	$\frac{AC - 240/32}{30}$	$\frac{AC - 185/29}{20}$	$\frac{AC - 240/32}{40}$	ТРДН- 40000/115/10,5/10, 5	$\frac{44}{0,95}$	$\frac{50}{0,9}$	118
11	$\frac{AC - 185/32}{28}$	$\frac{AC - 120/19}{18}$	$\frac{AC - 185/32}{32}$	ТРДН- 25000/115/10,5/10, 5	$\frac{38}{0,95}$	$\frac{34}{0,93}$	117,5
12	$\frac{AC - 240/32}{56}$	$\frac{AC - 240/32}{28}$	$\frac{AC - 240/32}{44}$	ТРДЦН- 63000/230/11/11	$\frac{90}{0,93}$	$\frac{85}{0,92}$	238
13	$\frac{AC - 300/39}{50}$	$\frac{AC - 240/32}{30}$	$\frac{AC - 240/32}{60}$	ТРДЦН- 63000/230/11/11	$\frac{100}{0,94}$	$\frac{87}{0,91}$	239
14	$\frac{AC - 300/39}{80}$	$\frac{AC - 240/32}{40}$	$\frac{AC - 300/39}{70}$	ТРДЦН- 100000/230/11/11	$\frac{100}{0,95}$	$\frac{120}{0,92}$	240

Контрольные вопросы:

1. Какие сети называются замкнутыми? Назовите виды замкнутых сетей. В чем их преимущество?
2. Что понимают под расчетной нагрузкой узла замкнутой сети?
3. На каких условиях основано выражение для расчета распределения мощностей в линии с двусторонним питанием? Запишите это выражение в общем виде.
4. В каких случаях в линии с двусторонним питанием появляется



двусторонним питанием поток реактивной мощности может ли в сети с двусторонним питанием поток реактивной мощности быть направлен навстречу потоку активной мощности?

6. Что такое точка потокораздела и как она выбирается?
7. Каковы особенности правила моментов для однородной сети?
8. Как уточнить потокораспределение с учетом потерь мощности?
9. Как выполняется расчет режима линии с двусторонним питанием, если точки потокораздела по активной и реактивной мощностям не совпадают?
10. Как проверить правильность расчета токов в линии с двусторонним питанием?

Практическая работа №6

Элементы проектирования электрических сетей

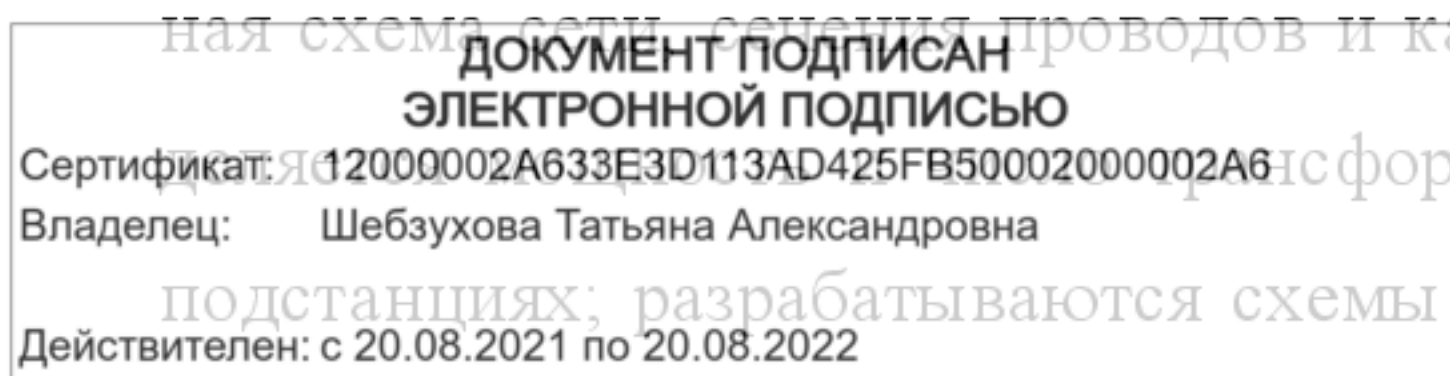
Цель: приобрести навыки выбора элементов и проектирования электрических сетей

Основы теории:

В техническом задании на проектирование обычно приводятся мощности нагрузок с указанием состава потребителей по категориям надежности их электроснабжения, наиболее характерные суточные графики нагрузок или время использования наибольшей нагрузки в году, вторичное напряжение подстанций, их расположение относительно друг друга и возможных источников питания, указания о возможных путях дальнейшего развития сети. В ряде случаев задание на проектирование содержит указания о целесообразности применения тех или иных средств управления режимами сети в связи с наличием в существующей системе определенных автоматических управляющих устройств и систем.

В процессе проектирования на основании исходных данных, имеющихся в техническом задании, выбирается номинальное напряжение, рациональная схема сети, сечения проводов и кабелей линий, образующих сеть; опре-

деляются мощности трансформаторов или автотрансформаторов на подстанциях; разрабатываются схемы их электрических соединений; оцени-



вадается необходимость установки на подстанциях источников реактивной мощности и их наиболее экономичное размещение; определяются средства регулирования напряжения.

В настоящее время в практике проектирования электрических сетей применяется метод вариантного сопоставления на основе определения приведенных затрат. Предполагаемые варианты сооружения сети могут отличаться номинальным напряжением, конфигурацией схемы, иметь разную надежность электроснабжения потребителей в тех случаях, когда это возможно, но должны быть технически осуществимы и удовлетворять необходимым требованиям. только такие варианты электрической сети подлежат дальнейшему экономическому анализу с целью выявления наиболее рационального из них, причем критерием для оценки наиболее целесообразного варианта является минимум приведенных затрат. Если же различие в приведенных затратах сопоставляемых вариантов лежит в пределах точности задания исходных данных, то для окончательного решения принимаются во внимание дополнительные характеристики вариантов, а именно условия эксплуатации сети, возможность ее дальнейшего развития, наличия среди вариантов сети с более высоким номинальным напряжением, необходимые средства регулирования напряжения, наиболее простая возможность введения дополнительных средств автоматизации сети и многое другое.

Задание:

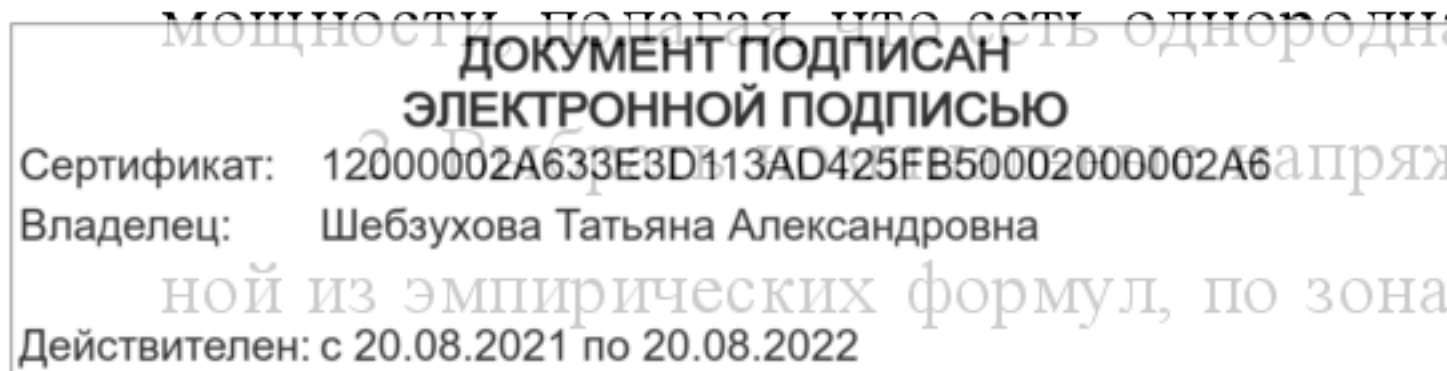
Задача №1

Задана схема сети, приведенная на рис. 6.1 Исходные данные по участкам сети и о нагрузках приведены в табл. 6.1

Требуется:

1. Определить потоки мощности на участках сети без учета потерь

мощности, полагая, что сеть однородная.



напряжения для каждого участка сети по одной из эмпирических формул, по зонам экономических номинальных напря-

жений и по таблицам, характеризующим пропускную способность и дальность передачи линий разных напряжений.

3. Выбрать число и мощность трансформаторов на подстанциях.

4. На всех участках определить сечения по экономической плотности тока.

5. Проверить выбранные сечения по условиям допустимого нагрева в послеаварийных режимах.

Результаты расчетов представить в виде:

1) структурной схемы сети с результатами расчетов по выбору параметров сети;

2) табл. 6.2 и 6.3

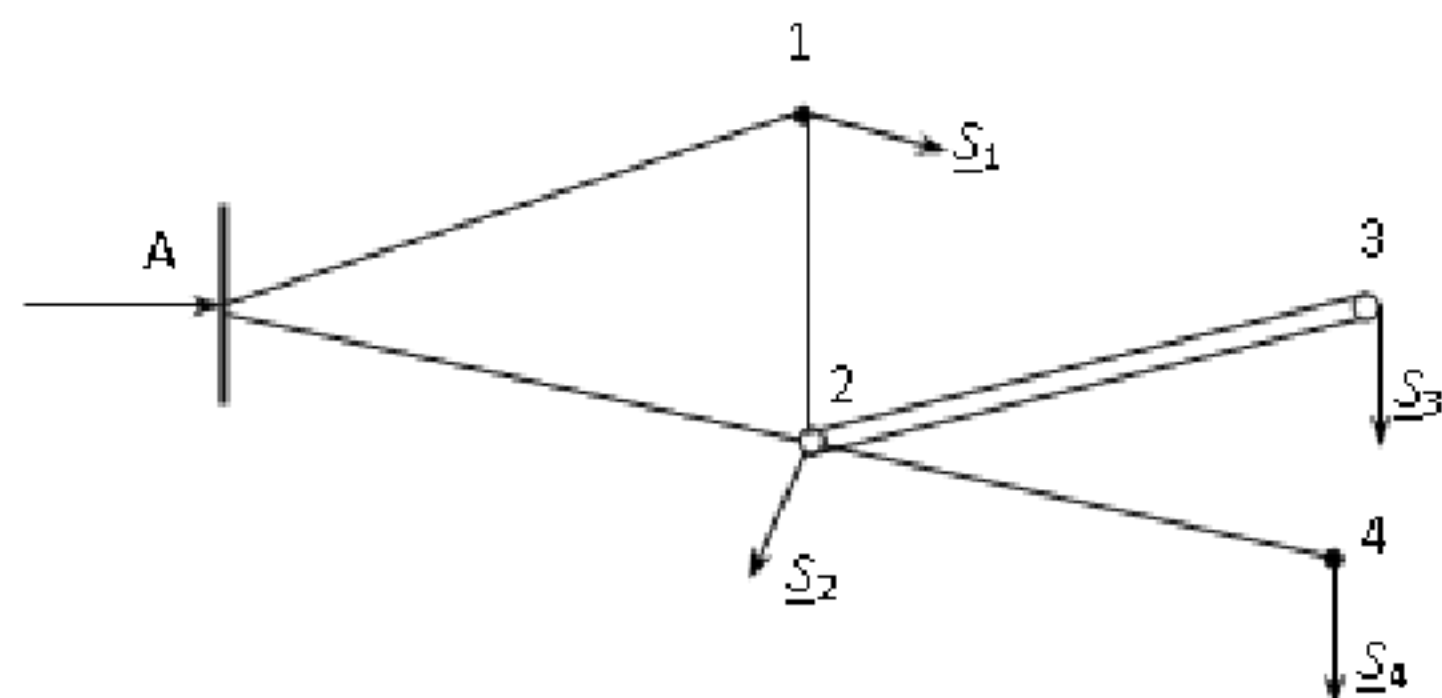


Рисунок 6.1 – Схема сети

Таблица 6.1 – Исходные данные по длинам линий и по нагрузкам

Номер варианта	Длины участков, км					Нагрузки узлов, МВ·А			
	А – 1	1 – 2	А – 2	2 – 3	2 – 4	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$
1	50	35	70	30	25	$80+j50$	$30+j15$	$42+j17$	$20+j10$
2	75	30	55	28	23	$85+j40$	$42+j18$	$30+j20$	$23+j17$
3	86	38	58	32	20	$90+j45$	$29+j17$	$40+j15$	$24+j10$
4	70	40	60	36	19	$92+j38$	$35+j14$	$50+j18$	$19+j8$
5	90	45	100	38	21	$98+j44$	$38+j14$	$45+j20$	$28+j16$
6	76	37	65	40	23	$101+j50$	$50+j25$	$28+j14$	$25+j12$
7	82	48	60	37	26	$94+j40$	$55+j19$	$30+j15$	$26+j13$
8	76	37	65	40	23	$108+j60$	$49+j20$	$40+j18$	$30+j15$

9	87	42	62	32	18	86+j35	50+j25	39+j19	23+j16
10	65	30	76	30	16	95+j47	39+j20	46+j17	18+j10
11	36	15	42	19	12	45+j19	23+j14	14+j7	4+j2
12	38	18	32	20	16	38+j14	20+j10	12,5+j4	6+j3
13	30	20	46	16	11	35+j17	19+j8	14+j5	7+j4
14	35	28	40	17	14	48+j20	16+j8	16+j8	5,2+j2,8
15	44	25	30	19	12	45+j20	22+j9	17+j5	4,2+j1,8
16	50	30	45	21	15	41+j19	20+j8	15+j7	6,8+j3
17	37	19	40	18	14	44+j20	21+j9	11+j4	6,4+j2
18	52	17	38	20	16	39+j13	27+j9	13+j6	5,5+j3
19	44	22	42	16	12	40+j20	24+j12	15,5+j4	4,5+j1,5
20	48	25	45	17	13	47+j18	22+j7	16+j5	5+j2,5

Таблица 6.2 – Результаты решения задачи

Параметр	Номер участка				
	A-1	1-2	A-2	2-3 (одной цепи)	2-4
Расчетный ток, А					
Расчетное сечение, мм ²					
Стандартное сечение, мм ²					

Таблица 6.3 – Результаты проверки сечений проводов по нагреву

Номер участка	Допустимый ток по нагреву для выбранного сечения, А	Ток, А, в режиме				
		нормальном	послеаварийном при отключении участка			
			А-1	1-2	А-2	2-3 (одной цепи)

А - 1
1 - 2

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

A - 2							
2 - 3							
2 - 4							

Задача №2

Задана схема электрической сети 10 кВ, приведенная на рис. 6.2 Длины участков сети, нагрузки приведены в табл. 19. Время использования наибольших нагрузок принять $T_{нб1} = 5100$ ч, $T_{нб2} = 4200$ ч, $T_{нб3} = 3500$ ч, $T_{нб4} = T_{нб5} = 4500$ ч. Выбрать сечения проводов для участков сети, воспользовавшись методом экономической плотности тока.

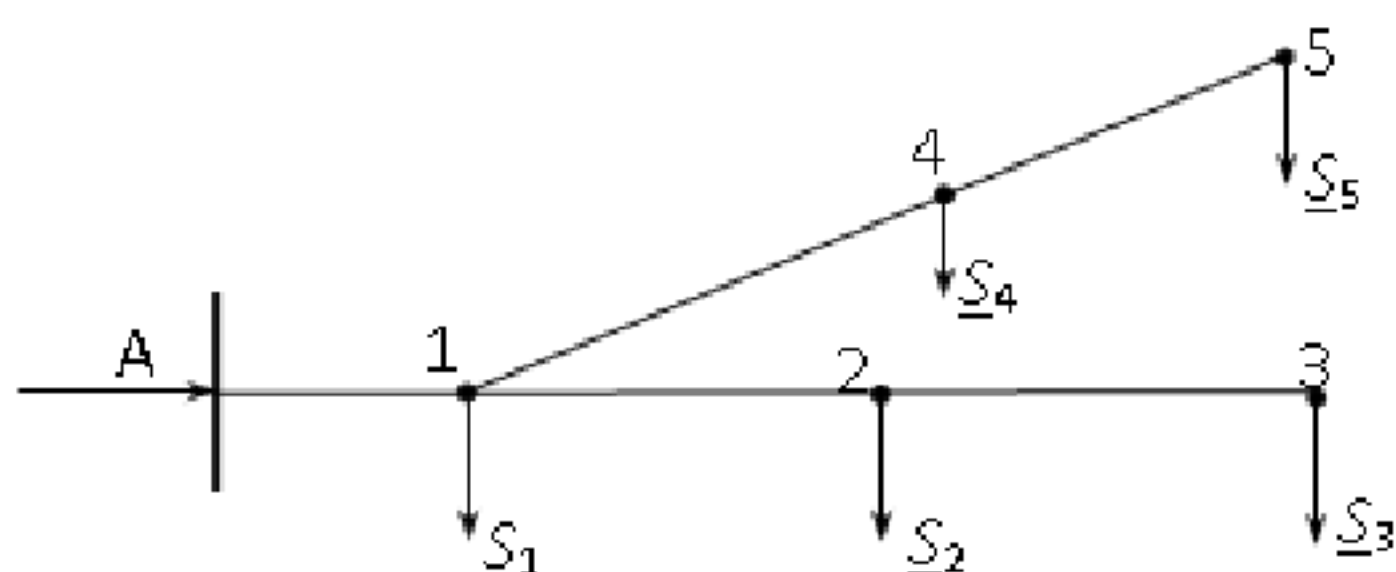


Рисунок 6.2 – Схема сети 10 кВ

Таблица 6.4 – Исходные данные по длинам линий и по нагрузкам

Номер варианта	Длины линий, км					Нагрузка, МВ·А				
	A-1	1-2	2-3	1-4	4-5	$\frac{S_1}{\cos \varphi_1}$	$\frac{S_2}{\cos \varphi_2}$	$\frac{S_3}{\cos \varphi_3}$	$\frac{S_4}{\cos \varphi_4}$	$\frac{S_5}{\cos \varphi_5}$
1	5	2	4	2	2	$\frac{0,4}{0,9}$	$\frac{0,6}{0,92}$	$\frac{0,1}{0,92}$	$\frac{0,3}{0,95}$	$\frac{0,2}{0,69}$
2	4	2	1	3	1	$\frac{0,7}{0,95}$	$\frac{0,2}{0,95}$	$\frac{0,2}{0,87}$	$\frac{0,5}{0,9}$	$\frac{0,4}{0,92}$
3	6	2	3	3	2	$\frac{0,6}{0,93}$	$\frac{0,4}{0,9}$	$\frac{0,3}{0,88}$	$\frac{0,6}{0,92}$	$\frac{0,2}{0,9}$
4	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ					$\frac{0,9}{0,95}$	$\frac{0,6}{0,9}$	$\frac{0,2}{0,9}$	$\frac{0,5}{0,87}$	$\frac{0,2}{0,9}$

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5	7	1	2	4	1	$\frac{0,5}{0,92}$	$\frac{0,4}{0,9}$	$\frac{0,3}{0,95}$	$\frac{0,4}{0,92}$	$\frac{0,3}{0,95}$
6	4	1	5	1	2	$\frac{0,4}{0,92}$	$\frac{0,3}{0,9}$	$\frac{0,2}{0,9}$	$\frac{0,5}{0,89}$	$\frac{0,2}{0,95}$
7	4	2	3	2	2	$\frac{0,3}{0,92}$	$\frac{0,2}{0,93}$	$\frac{0,2}{0,9}$	$\frac{0,3}{0,95}$	$\frac{0,4}{0,95}$
8	6	3	3	2	4	$\frac{0,6}{0,95}$	$\frac{0,5}{0,9}$	$\frac{0,1}{0,92}$	$\frac{0,5}{0,92}$	$\frac{0,3}{0,89}$
9	4	3	2	3	2	$\frac{0,8}{0,95}$	$\frac{0,4}{0,95}$	$\frac{0,3}{0,93}$	$\frac{0,4}{0,9}$	$\frac{0,3}{0,93}$
10	3	1	2	3	2	$\frac{0,9}{0,93}$	$\frac{0,3}{0,89}$	$\frac{0,2}{0,9}$	$\frac{0,4}{0,87}$	$\frac{0,3}{0,9}$

Таблица 6.5 – Результаты решения задачи

Номер участка	Ток участка, А	Расчетное сечение, мм ²	Стандартное сечение, мм ²	Допустимый ток по нагреву, А
А-1				
1-2				
2-3				
1-4				
4-5				

Задача №3

Определить сечения проводов участков сети напряжением 10 кВ, приведенной на рис. 6.3, по допустимой потере напряжения, равной 6 %. Информация о длинах участков сети и нагрузках в узлах представлена в табл.

21. Удельную проводимость материала проводов принять $\gamma = 32 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$.

Расчеты выполнить для условия: сечения проводов одинаковы на всех участках сети.



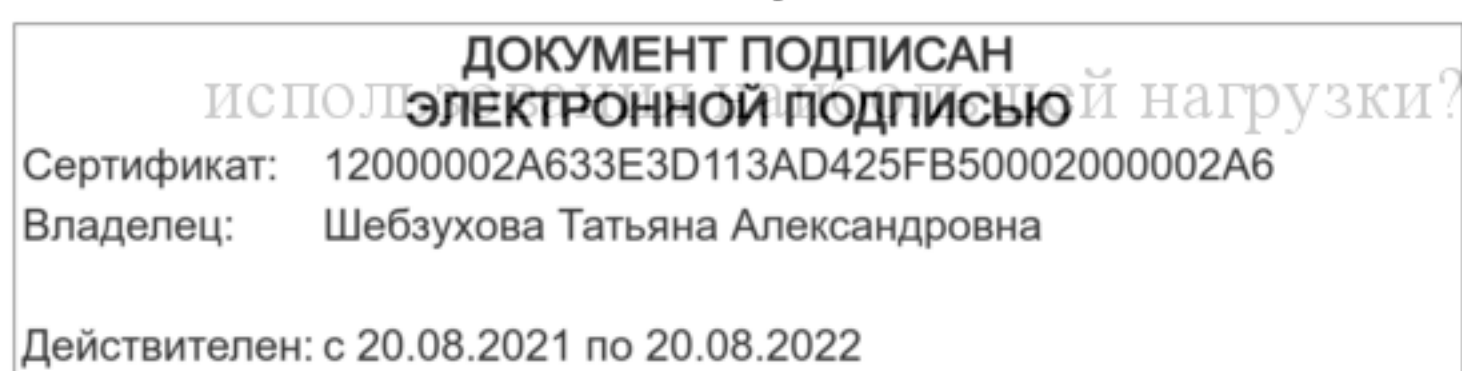
Рисунок 6.3 – Схема сети

Таблица 6.6 – Исходные данные по длинам участков сети и по нагрузкам

Номер варианта	Длины участков сети, км			Нагрузки, МВ·А		
	А-1	1-2	2-3	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$
1	5	4	2	$0,8+j0,4$	$0,5+j0,2$	$0,7+j0,3$
2	7	1	3	$1,5+j0,8$	$1+j0,4$	$0,8+j0,4$
3	5	6	2	$0,7+j0,3$	$0,6+j0,2$	$0,5+j0,2$
4	5	3	4	$1,2+j0,6$	$0,9+j0,4$	$0,4+j0,1$
5	4	4	2	$0,9+j0,5$	$0,6+j0,3$	$0,7+j0,3$
6	6	4	2	$1,6+j0,4$	$0,7+j0,4$	$0,3+j0,1$
7	5	3	2	$1,2+j0,5$	$0,6+j0,2$	$0,5+j0,2$
8	2	5	1	$0,9+j0,4$	$0,5+j0,2$	$0,4+j0,1$
9	5	3	2	$0,7+j0,3$	$1+j0,4$	$0,3+j0,1$
10	2	4	5	$0,8+j0,5$	$0,5+j0,2$	$0,5+j0,1$

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры являются решающими при выборе номинального напряжения линии?
2. Что представляют собой экономические области номинальных напряжений?
3. Каков физический смысл экономической плотности тока?
4. Исходя из какого режима выбирают сечения по экономической плотности тока: режима наибольших нагрузок, наименьших нагрузок, послеаварийных режимов? Почему?
5. В каких координатах строятся экономические интервалы нагрузок?
6. Почему и как экономическая плотность тока зависит от времени



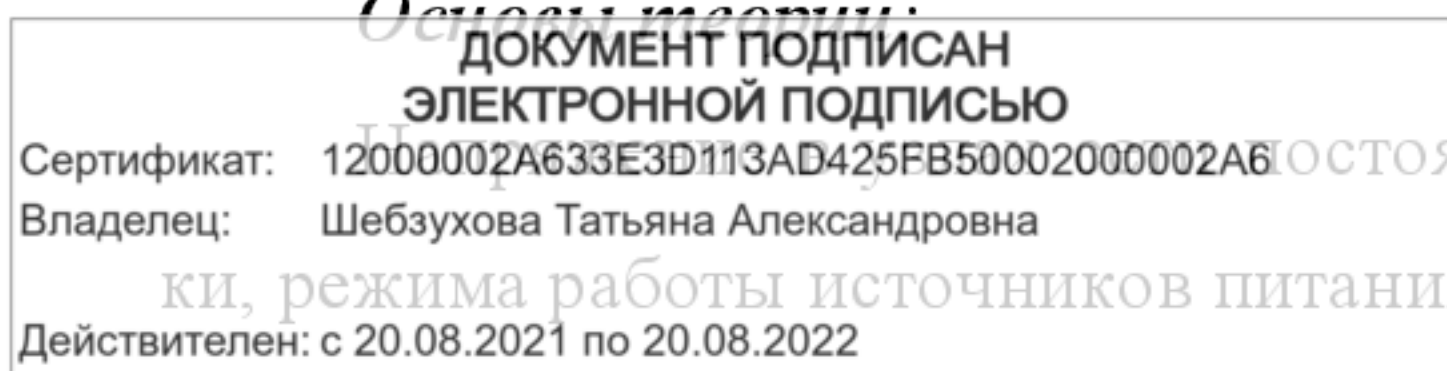
7. Для каких режимов производится проверка сечений проводов по нагреву? Почему?
8. Для каких сетей сечение провода выбирают по допустимой потере напряжения? Почему?
9. Какова последовательность выбора проводников линий по допустимой потере напряжения?
10. Какие дополнительные условия применяются при выборе проводников по допустимой потере напряжения? Каковы области их использования?
11. В чем особенности выбора сечений проводов по допустимой потере напряжения в разветвленных сетях?
12. Какова зависимость индуктивного сопротивления проводов от их сечения?
13. Какие наименьшие сечения алюминиевых и сталеалюминевых проводов допускаются по условию механической прочности для линий напряжением выше 1 кВ?
14. От чего зависит допустимый ток по нагреву линий электропередачи?
15. Чем обусловлено ограничение наименьших допустимых сечений проводов линий напряжения 110 кВ и выше?
16. Какому условию должны удовлетворять провода воздушных линий с учетом возможности появления короны?

Практическая работа №7

Регулирование напряжения в электрических сетях

Цель: изучить средства регулирования напряжения в распределительных сетях

Основной теоретический материал:



Величина напряжения 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.

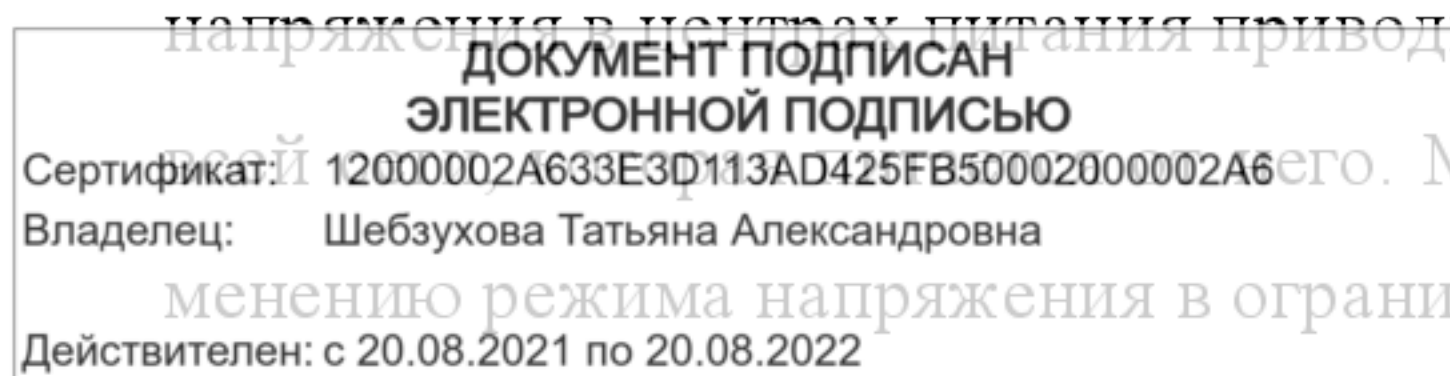
Очень часто эти причины возникают при развитии сети, при ее реконструкции. Поэтому чтобы обеспечить необходимые отклонения напряжения на шинах электроприемников следует применять регулирование напряжения.

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. Местное регулирование приводит к изменению режима напряжения в ограниченной части сети.



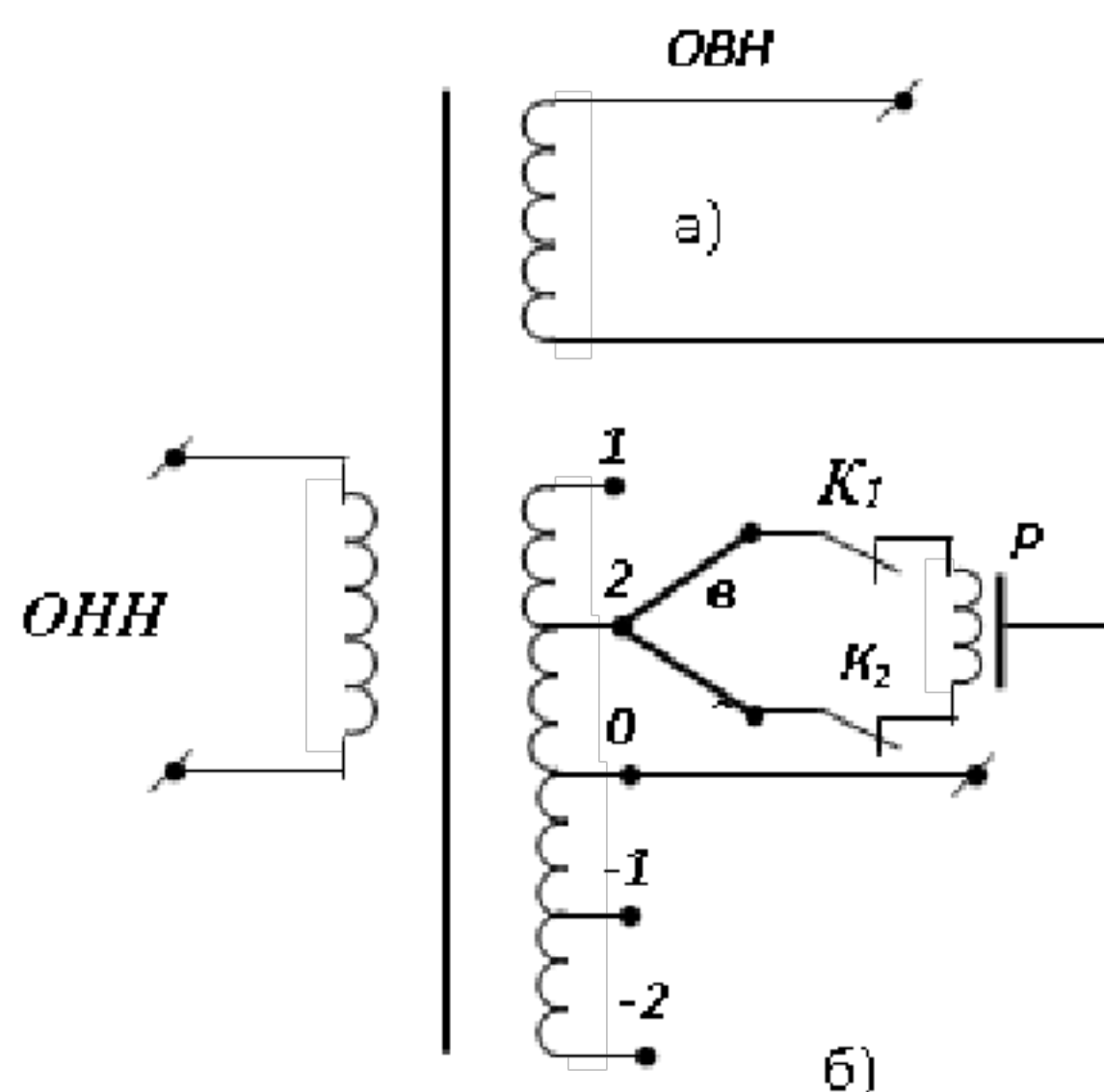


Рисунок 7.1 – Схема РПН с реактором

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 обмотку поровну между половинами обмотки реактора. Поэтому магнитный поток мал и потеря напряжения в реакторе тоже мала.

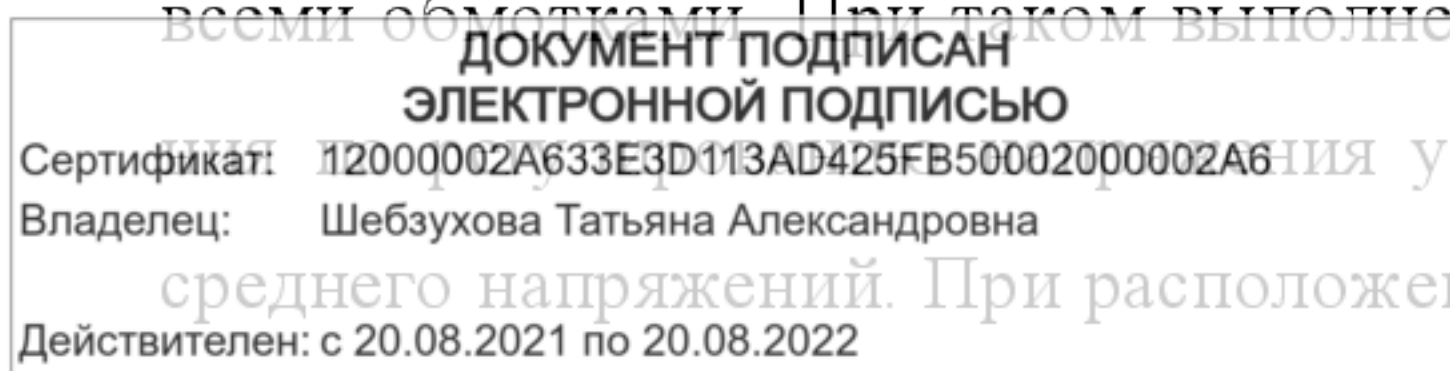
Переключения выполняются следующим образом. Предположим, что необходимо переключиться с ответвления 2 на ответвление 1. Для этого отключается контактор К1, переводится подвижный контакт на ответвление 1 и вновь включается контактор К1. В результате этих действий секция 1 - 2 оказывается замкнутой на 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 требова-

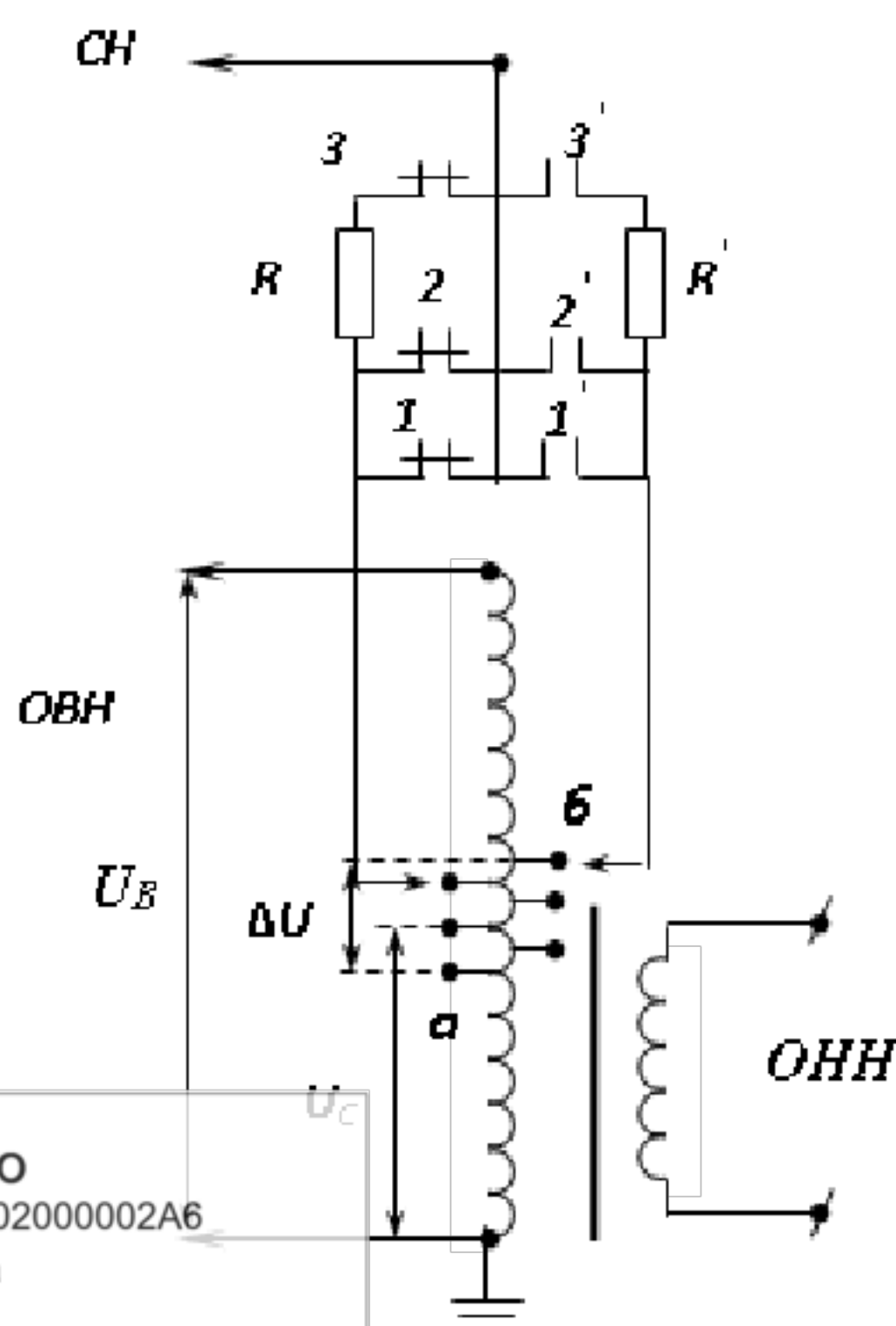
ния у потребителей на сторонах низкого и среднего напряжений. При расположении устройства РПН в линейном конце



обмотки среднего напряжения обмотка низшего напряжения оказывается не-регулируемой. Если возникает необходимость регулирования обмотки низ-шего напряжения автотрансформатора, последовательно с обмоткой низшего напряжения включают линейный регулятор. С экономической точки зрения такое решение оказывается более целесообразным, чем выполнение авто-трансформатора с двумя устройствами РПН.

Выполнение ответвлений со стороны нейтрали позволяет облегчить изоляцию устройства РПН и рассчитать его на разность токов обмоток выс-шего и среднего напряжений ($I_B - I_C$). Но регулирование будет связанным. Выполнение ответвлений в линейном конце обмотки среднего напряжения устройство должно рассчитываться на полный номинальный ток, а его изо-ляция на напряжение обмотки среднего напряжения U_C . Но регулирование будет независимым.

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



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 7.2 – Схема РПН на активных сопротивлениях

Замыкается дугогасительный контакт 3'. Образуется мост – уравни-
тельный ток протекает через оба активных сопротивления R и R' . Размыкает-
ся дугогасительный контакт 3 и переводит ток нагрузки на правое плечо. За-
мыкаются контакты 2' и 1'. Создается новое рабочее положение.

Задание:

Задача №1

На понижающей подстанции установлены два двухобмоточных транс-
форматора типа ТРДН. Информация о номинальных мощностях, номиналь-
ных 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 па-
раметров режимов

Номер варианта	Информация о трансформаторах	Диапазон ре- гулирования	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-63000/230/11/11	$\pm 8 \times 1,5 \%$	238	$49 + j13$
6	ТРДН-63000/230/11/11	$\pm 8 \times 1,5 \%$	237	$80 + j25$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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	$74 + j40$

Задача №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^B и U_2^B соответственно (табл. 7.2).

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

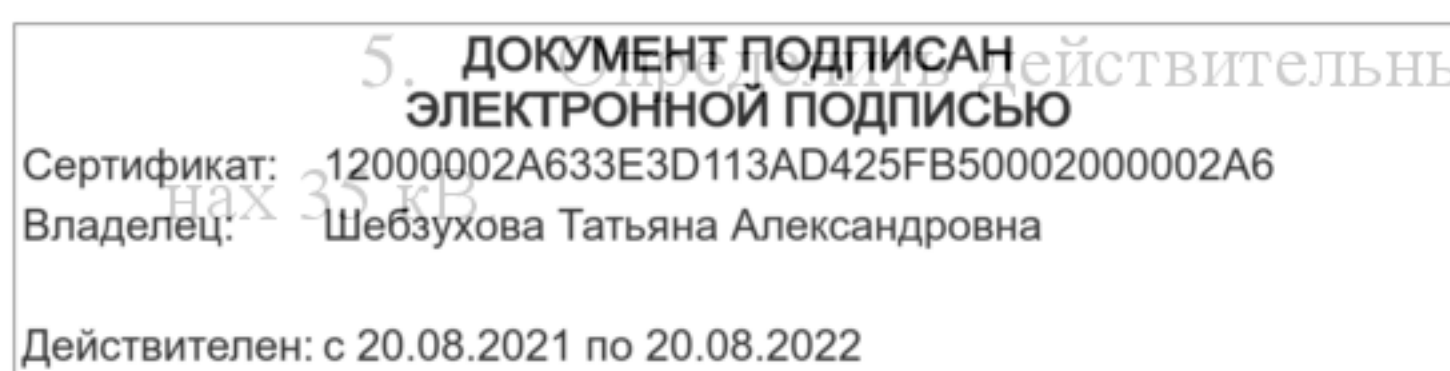
Таблица 7.2 – Исходные данные о напряжениях

		Напряжение, приведенное к высшему напряжению		
		в режиме наибольших нагрузок	в режиме наименьших нагрузок	
		$U_{2\text{нб}}^B, \text{кВ}$	$U_{2\text{нм}}^B, \text{кВ}$	$U_{3\text{нм}}^B, \text{кВ}$

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.



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		Действи- тельное напряжение, кВ	Отклонение действитель- ного напряже- ния от желае- мого, %
			кВ	%		
Режим наибольших нагрузок						
10 кВ						
35 кВ						
Режим наименьших нагрузок						
10 кВ						
35 кВ						

Контрольные вопросы:

1. Какие средства регулирования напряжения используют в распре-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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?

Практическая работа №8

Цель: научиться рассчитывать параметры линий электропередач

Выполнение расчетов симметричных установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) трехфазного переменного тока основано на применении однофазной линейной схемы замещения, параметры которой в общем случае являются комплексными величинами. Расчетная схема сети представляет собой последовательное соединение схем замещения линий

представляет собой последовательность

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В практических расчетах ВЛ длиной до 300 км и КЛ представляются полными П-образными схемами замещения с сосредоточенными параметрами. Рекомендации по выбору схемы замещения в зависимости от типа ЛЭП и ее номинального напряжения представлены в таблице 1.1. Численные значения параметров схемы замещения рассчитываются по следующим выражениям.

Величина активного сопротивления участка сети рассчитывается:

$$R = r_0 \cdot l.$$

Активное сопротивление стальных проводов намного больше омического из-за поверхностного эффекта и наличия дополнительных потерь на гистерезис (перемагничивание) и от вихревых токов в стали:

$$r_0 = r_{0\text{пост}} + r_{0\text{доп}},$$

где $r_{0\text{пост}}$ — омическое сопротивление одного километра провода;
 $r_{0\text{доп}}$ — активное сопротивление, которое определяется переменным магнитным полем внутри проводника, $r_{0\text{доп}} = r_{0\text{поверх.эф}} + r_{0\text{гистер.}} + r_{0\text{вихр.}}$

Переменный ток, проходя по проводу, образует вокруг него переменное магнитное поле, которое наводит в проводнике ЭДС обратного направления (ЭДС самоиндукции). Сопротивление току, обусловленное противодействием ЭДС самоиндукции, называется реактивным индуктивным сопротивлением.

Величина реактивного индуктивного сопротивления зависит как от значения тока в собственном проводе, так и от величины токов в соседних проводах. Чем дальше расположены фазные провода линии, тем меньше влияние соседних проводов — поток рассеяния и индуктивное сопротивление увеличиваются.

На величину индуктивного сопротивления оказывает влияние диаметр провода, магнитная проницаемость (μ) и частота переменного тока. Величина

погонного индуктивного сопротивления рассчитывается по формуле:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ПОГОННОЕ ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$x_0 = \omega \cdot (4,61g \frac{D_{\text{ср}}}{R_{\text{пр}}} + 0,5\mu) \cdot 10^{-4} = x_0' + x_0'',$$

где ω – угловая частота; μ – магнитная проницаемость; $D_{\text{ср}}$ – среднее геометрическое расстояние между фазами ЛЭП; $R_{\text{пр}}$ – радиус провода.

Активная проводимость (G) обусловлена потерями активной мощности в диэлектриках. Ее величина зависит от:

- тока утечки по изоляторам (малы, можно пренебречь);
- потерь мощности на корону.

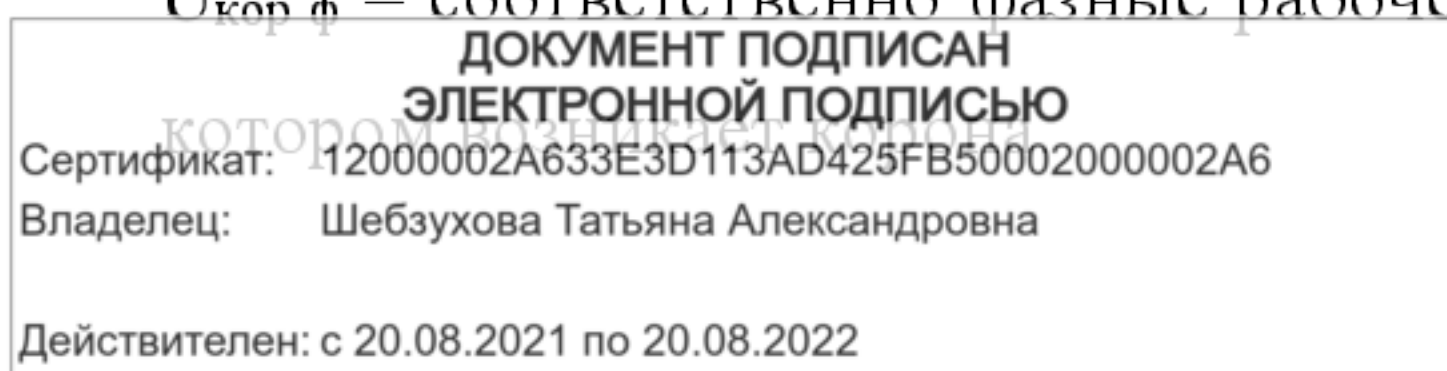
Активная проводимость приводит к потерям активной мощности в режиме холостого хода ВЛЭП. Потери мощности на корону ($\Delta P_{\text{кор}}$) обусловлены ионизацией воздуха вокруг проводов. Когда напряжённость электрического поля у провода становится больше электрической прочности воздуха (21,2кВ/см), на поверхности провода образуются электрические разряды. Из-за неровностей поверхности многопроволочных проводов, загрязнений и заусениц разряды появляются вначале только в отдельных точках провода – *местная корона*. По мере повышения напряжённости корона распространяется на большую поверхность провода и в конечном счёте охватывает провод целиком по всей длине – *общая корона*.

Потери мощности на корону зависят от погодных условий. Наибольшие потери мощности на корону происходят при различных атмосферных осадках. Например, на воздушных ЛЭП напряжением 330÷750кВ $\Delta P_{\text{кор}}$ при снеге повышаются на 14%, дожде – на 47%, изморози – на 107% по сравнению с потерями при хорошей погоде. Корона вызывает коррозию проводов, создаёт помехи на линиях связи и радиопомехи.

Величину потерь мощности на корону можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P_{\text{кор}} = \frac{0,18}{\delta} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{пр}}}{D_{\text{ср}}}} \cdot (U_{\text{ф}} - U_{\text{кор ф}})^2, \text{ кВт/км}$$

где δ – коэффициент, учитывающий барометрическое давление; $U_{\text{ф}}$, и $U_{\text{кор ф}}$ – соответственно фазные рабочее напряжение ЛЭП и напряжение, при



Начальная напряжённость (в хорошую погоду), при которой возникает общая корона рассчитывается по формуле Пика:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{R_{\text{пр}} \cdot \delta}}\right), \text{ кВ/см}$$

где m – коэффициент негладкости провода; $R_{\text{пр}}$ – радиус провода, см; δ – коэффициент, учитывающий барометрическое давление.

Для гладких цилиндрических проводов значение $m = 1$, для многопроволочных проводов – $m = 0,82 \div 0,92$.

Величина δ рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{0,386 \cdot P}{273 + \theta},$$

где P – давление, мм ртутного столба;

θ – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

При нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре 20°C $\delta = 1$.

Задание:

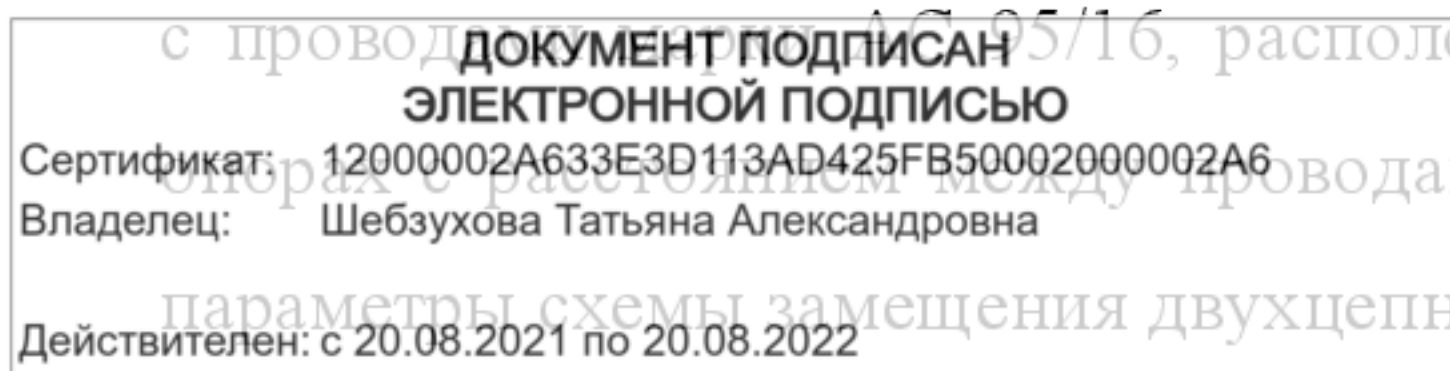
Задача №1.

Определить удельные параметры воздушной и кабельной линий электропередачи напряжением 10 кВ, а также параметры схемы замещения этих линий при их длине 4 км. Воздушная линия выполнена проводами АС-50/8 при среднегеометрическом расстоянии между ними 2,5 м, кабельная линия – кабелем ААБ 3×50 при среднегеометрическом расстоянии между жилами кабеля 1,5 см. Максимальная мощность, передаваемая по воздушной линии, составляет 1000 кВА, по кабельной – 1600 кВА.

Задача №2.

Определить удельные параметры одноцепной воздушной линии 110 кВ

с проводами марки АС-95/16, расположенными на П-образных деревянных опорах с расстоянием между проводами $D_{ab} = D_{bc} = D = 4.3$ м, и вычислить параметры схемы замещения двухцепной линии длиной 100 км.



Контрольные вопросы:

1. Какие схемы замещения применяются для воздушных и кабельных линий?
2. Как изменяется индуктивное сопротивление линии при увеличении расстояния между проводами и уменьшении радиуса проводов?
3. Как снизить потери мощности на корону в линии электропередачи?

Практическая работа №9

Выбор и расчет параметров схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов

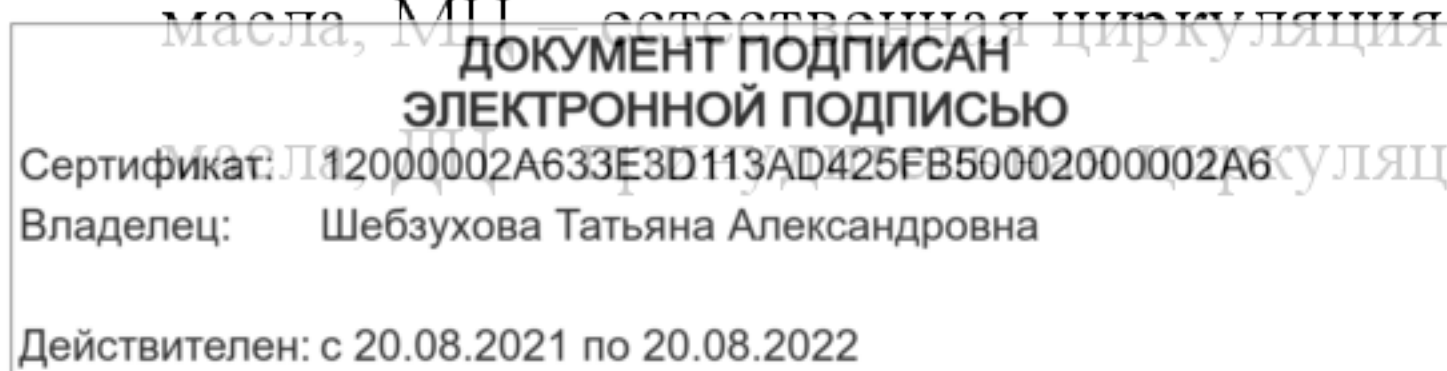
Цель: научиться рассчитывать параметры схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов

Основы теории:

На электростанциях и подстанциях устанавливаются трехфазные и однофазные, двухобмоточные и трехобмоточные силовые трансформаторы и авто-транс-форматоры, и силовые однофазные и трехфазные трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения.

В аббревиатуре трансформатора последовательно (слева направо) приводится следующая информация:

- вид устройства (А – автотрансформатор, без обозначения – трансформатор);
- количество фаз (О – однофазный, Т –трехфазный);
- наличие расщепленной обмотки низшего напряжения – Р;
- система охлаждения (М – естественная циркуляция масла и воздуха, Д – принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла, МД – естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла, МП – естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла и др);



- количество обмоток (без обозначения – двухобмоточный, Т – трехобмоточный);
- наличие устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);
- исполнение (З – защитное, Г – грозоупорное, У – усовершенствованное, Л – с литой изоляцией);
- специфическая область применения (С – для систем собственных нужд электростанций, Ж – для электрификации железных дорог);
- номинальная мощность в кВ·А,
- класс напряжения обмоток (напряжения сети, к которой подключается трансформатор) в кВ.

На электрических схемах двухобмоточный трансформатор представляется следующим образом:

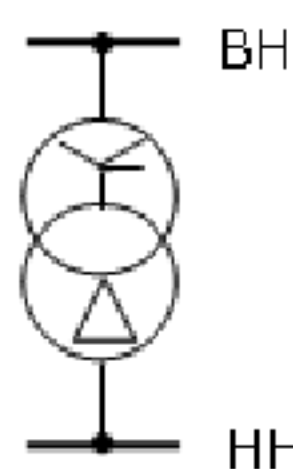


Рисунок 9.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

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

- 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 высокого напряжения – 10 кВ.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В практических расчетах двухобмоточный трансформатор чаще всего представляется Г-образной схемой замещения (рис. 9.2).

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

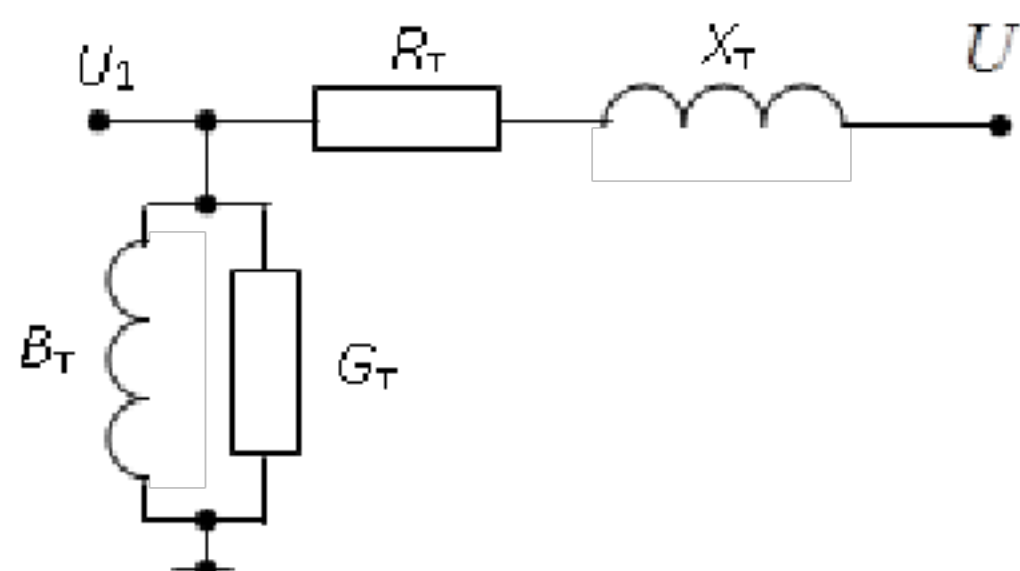


Рисунок 9.2 – Г – образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

$$R_T = R_B + R_H^*;$$

$$X_T = X_B + X_H^*.$$

Поперечная ветвь схемы замещения представлена активной G_T и реактивной B_T 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 U_2^* оказывается приведенным к напряжению первичной обмотки.

На электрических схемах трехобмоточный трансформатор представляется следующим образом (рис. 9.3):

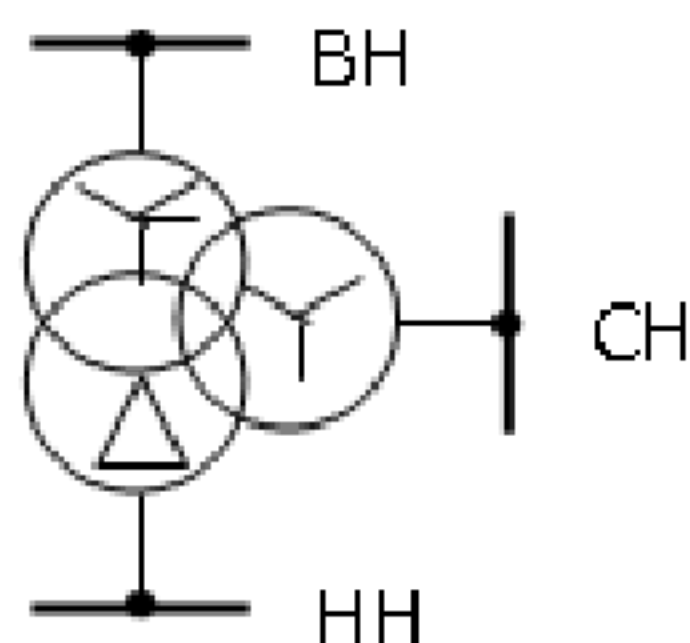


Рисунок 9.3 – Условное обозначение трехобмоточного трансформатора

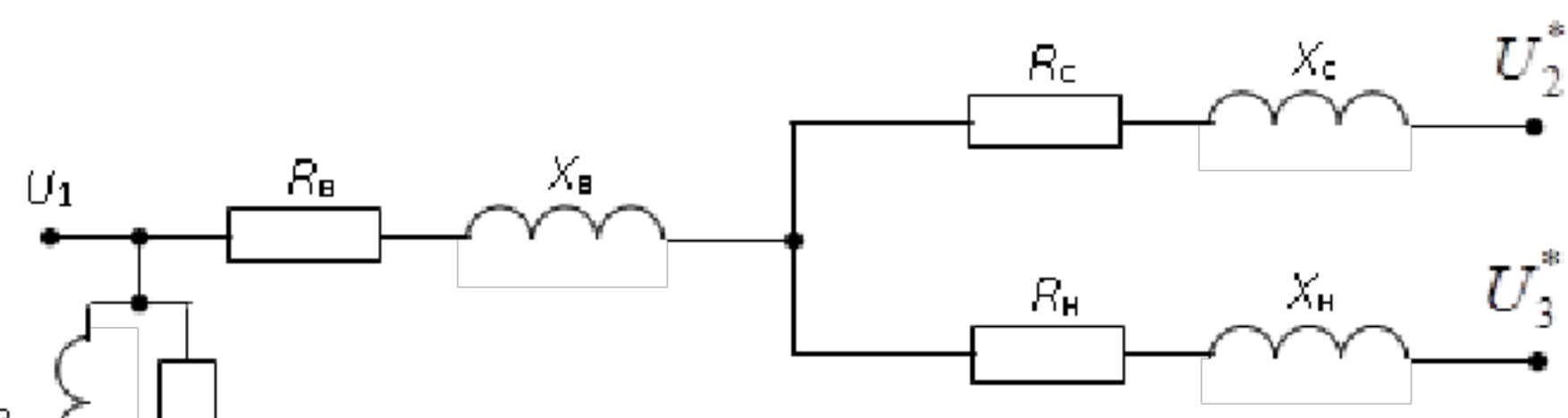
В соответствии с принятой системой обозначений аббревиатура трансформатора ТДТН-25000/110/35/10 расшифровывается: трансформатор трехфазный, трехобмоточный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла и системой регулирования напряжения под нагрузкой. Номинальная мощность – 25000 кВ·А, класс напряжения обмотки высшего напряжения – 110 кВ, среднего напряжения – 35 кВ, низшего напряжения – 10 кВ.

Обмотки трехобмоточного трансформатора могут иметь различные мощности. За номинальную мощность трансформатора принимается мощность, равная наибольшей из мощностей его обмоток. На эту мощность трансформатор рассчитывается по условиям нагрева.

Трансформаторы выполняются со следующим исполнением обмоток – 100 % / 100 % / 100 %, 100 % / 100 % / 66,7 % и 100 % / 66,7 % / 66,7 %.

В расчетах трехобмоточный трансформатор представляется схемой замещения в виде трехлучевой звезды (рис. 9.4).

Все сопротивления в схеме приведены к напряжению высшей обмотки.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 9.4 – Схема замещения трехобмоточного трансформатора

Для определения параметров схемы замещения трехобмоточного трансформатора нужно выполнить один опыт холостого хода и три опыта короткого замыкания. Из опыта холостого хода определяются данные для расчета активной и реактивной проводимостей. Они рассчитываются по тем же формулам, что и для двухобмоточного трансформатора.

Опыты короткого замыкания выполняются следующим образом – одна обмотка закорачивается, вторая находится на холостом ходу, а на третью обмотку подается напряжение короткого замыкания. В результате опытов определяют следующие паспортные данные:

- при закороченной обмотке низкого напряжения и питании со стороны обмотки высшего напряжения – $U_{к\text{ВН}}, \Delta P_{к\text{ВН}}$;
- при закороченной обмотке низкого напряжения и питании со стороны обмотки среднего напряжения – $U_{к\text{СН}}, \Delta P_{к\text{СН}}$;
- при закороченной обмотке среднего напряжения и питании со стороны обмотки высшего напряжения – $U_{к\text{ВС}}, \Delta P_{к\text{ВС}}$.

Учитывая условия проведения опытов, можно записать следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} U_{к\text{ВН}} = U_{к\text{В}} + U_{к\text{Н}}; \\ U_{к\text{ВС}} = U_{к\text{В}} + U_{к\text{С}}; \\ U_{к\text{СН}} = U_{к\text{С}} + U_{к\text{НС}}. \end{cases}$$

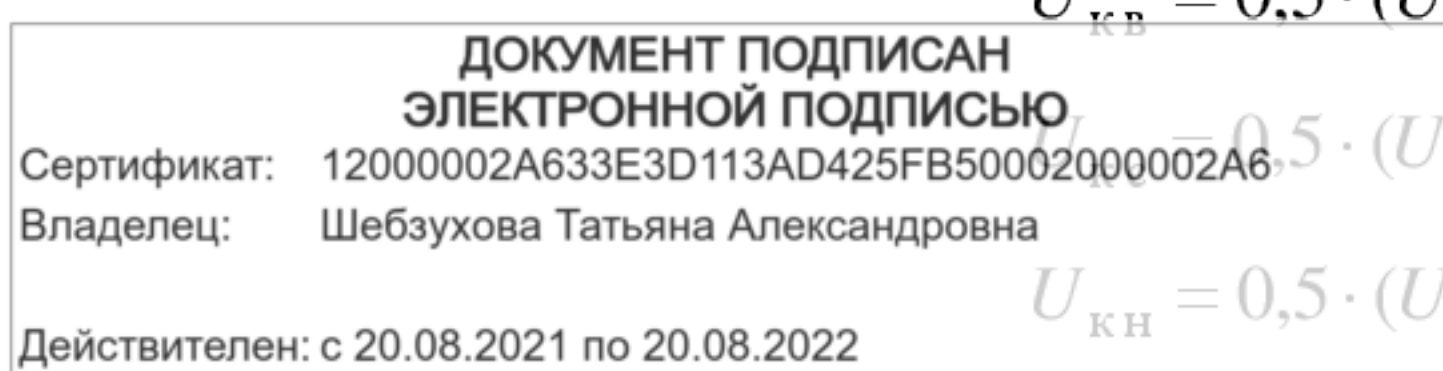
$$\begin{cases} \Delta P_{к\text{ВН}} = \Delta P_{к\text{В}} + \Delta P_{к\text{Н}}; \\ \Delta P_{к\text{ВС}} = \Delta P_{к\text{В}} + \Delta P_{к\text{С}}; \\ \Delta P_{к\text{СН}} = \Delta P_{к\text{С}} + \Delta P_{к\text{НС}}. \end{cases}$$

Решая первую систему уравнений, определяем значение напряжения короткого замыкания каждой обмотки:

$$U_{к\text{В}} = 0,5 \cdot (U_{к\text{ВН}} + U_{к\text{ВС}} - U_{к\text{СН}});$$

$$U_{к\text{С}} = 0,5 \cdot (U_{к\text{ВС}} + U_{к\text{СН}} - U_{к\text{ВН}});$$

$$U_{к\text{Н}} = 0,5 \cdot (U_{к\text{ВН}} + U_{к\text{СН}} - U_{к\text{ВС}}).$$



Индуктивные сопротивления обмоток трансформатора рассчитываются по той же формуле, что и для двухобмоточного трансформатора:

$$X_B = \frac{U_{KB} \cdot U_{BНОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}};$$

$$X_C = \frac{U_{KC} \cdot U_{BНОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}};$$

$$X_H = \frac{U_{KH} \cdot U_{BНОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}.$$

Решая первую систему уравнений, определяем значение потери активной мощности в каждой обмотке:

$$\Delta P_{KB} = 0,5 \cdot (\Delta P_{KBH} + \Delta P_{KBC} - \Delta P_{KCH});$$

$$\Delta P_{KC} = 0,5 \cdot (\Delta P_{KBC} + \Delta P_{KCH} - \Delta P_{KBH});$$

$$\Delta P_{KH} = 0,5 \cdot (\Delta P_{KBH} + \Delta P_{KCH} - \Delta P_{KBC}).$$

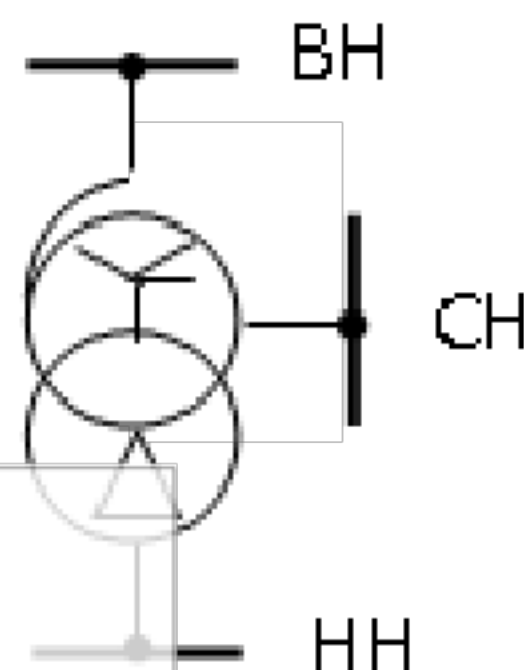
Активные сопротивления обмоток трансформатора рассчитываются по той же формуле, что и для двухобмоточного трансформатора:

$$R_B = \frac{\Delta P_{KB} \cdot U_{BНОМ}^2}{S_{НОМ}^2};$$

$$R_C = \frac{\Delta P_{KC} \cdot U_{BНОМ}^2}{S_{НОМ}^2};$$

$$R_H = \frac{\Delta P_{KH} \cdot U_{BНОМ}^2}{S_{НОМ}^2}.$$

На электрических схемах автотрансформатор изображается следующим образом (рис. 9.5).



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 9.5 – Условное обозначение автотрансформатора

В соответствии с принятой системой обозначений аббревиатура автотрансформатора АТДЦТН-125000/ 220/110/10 расшифровывается: автотрансформатор трехфазный, трехобмоточный с принудительной циркуляцией воздуха и масла и системой регулирования напряжения под нагрузкой. Номинальная мощность – 25000 кВ·А, класс напряжения обмотки высшего напряжения – 220 кВ, среднего напряжения – 110 кВ, низшего напряжения – 10 кВ.

Автотрансформатор отличается от трехобмоточного трансформатора тем, что его обмотки высшего и среднего напряжений, кроме магнитной связи имеют еще электрическую связь (рис. 9.6). Обмотка среднего напряжения является частью обмотки высшего напряжения.

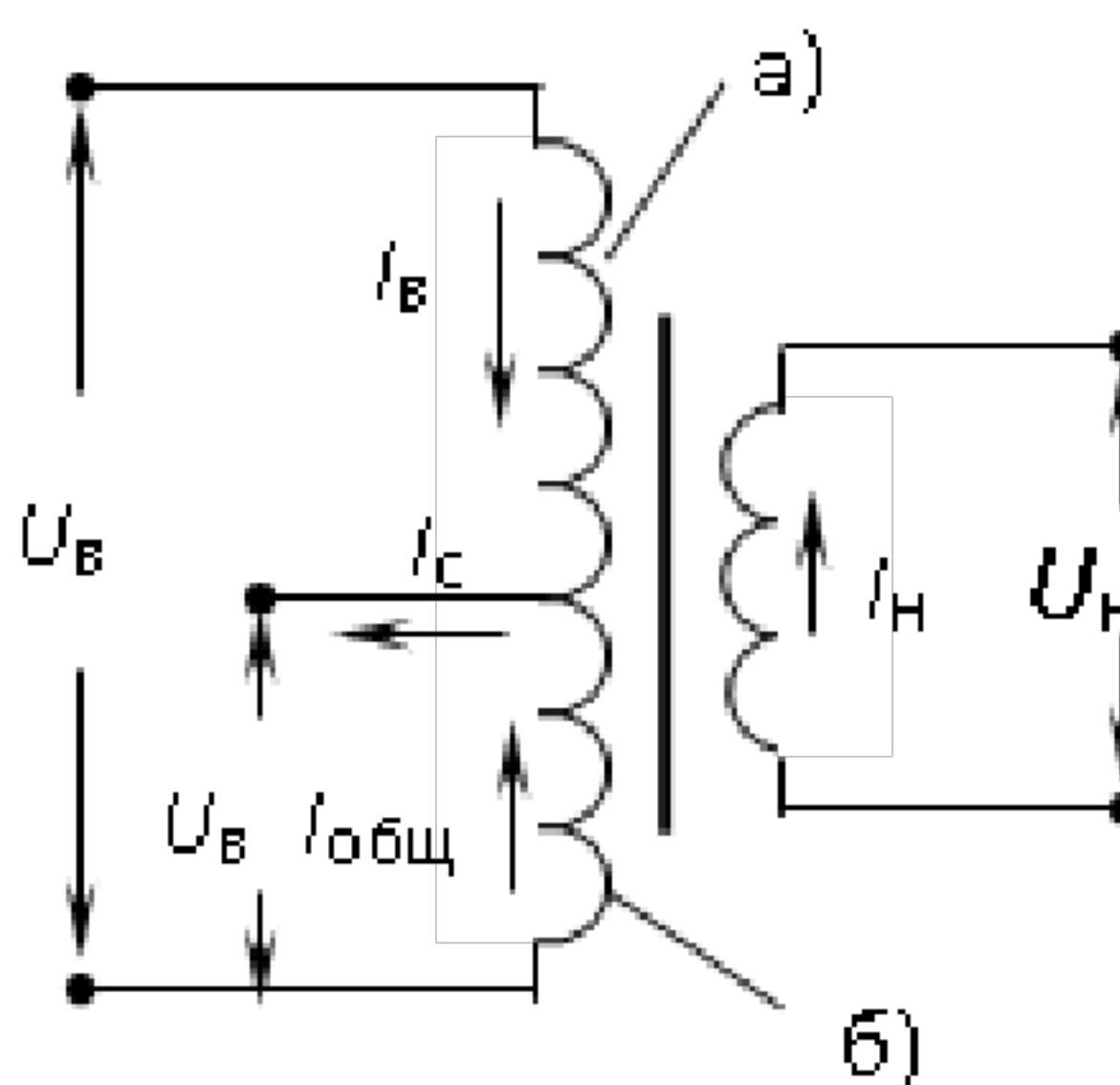


Рисунок 9.6 – Схема соединения обмоток автотрансформатора

Обмотка высшего напряжения состоит из двух частей – последовательной обмотки и общей обмотки.

Полная мощность, которая передается из обмотки высшего напряжения в обмотку среднего напряжения, называется номинальной мощностью авто-

трансформатора. Она рассчитывается как

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВНОМ}} \cdot I_{\text{ВНОМ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{СНОМ}} \cdot I_{\text{СНОМ}}$$

Это выражение можно записать следующим образом:

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВНОМ}} \cdot I_{\text{ВНОМ}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ВНОМ}} \cdot (U_{\text{ВНОМ}} - U_{\text{СНОМ}}) =$$

$$= \underbrace{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ВНОМ}} \cdot (U_{\text{ВНОМ}} - U_{\text{СНОМ}})}_{\text{ТРАНСФОРМАТОРНАЯ МОЩНОСТЬ, ПЕРЕДАВАЕМАЯ МАГНИТНЫМ ПУТЕМ ИЗ ОБМОТКИ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОБМОТКУ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ. НАЗЫВАЕТСЯ ТИПОВОЙ МОЩНОСТЬЮ. РАЗМЕРЫ МАГНИТОПРОВОДА ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ЭТОЙ МОЩНОСТЬЮ.}} + \underbrace{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ВНОМ}} \cdot U_{\text{СНОМ}}}_{\text{ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ПЕРЕДАВАЕМАЯ ЗА СЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ОБМОТОК. ЭТА МОЩНОСТЬ НЕ НАГРУЖАЕТ ОБЩУЮ ОБМОТКУ.}}$$

Типовая мощность меньше номинальной мощности. Выясним во сколько раз. Для этого возьмем отношение типовой мощности к номинальной:

$$\frac{S_{\text{ТИП}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ВНОМ}} \cdot (U_{\text{ВНОМ}} - U_{\text{СНОМ}})}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ВНОМ}} \cdot U_{\text{ВНОМ}}} = \frac{U_{\text{ВНОМ}} - U_{\text{СНОМ}}}{U_{\text{ВНОМ}}} = 1 - \frac{U_{\text{СНОМ}}}{U_{\text{ВНОМ}}} = \alpha$$

Коэффициент α называется коэффициентом выгодности. Выгодность автотрансформатора определяется по отношению к трехобмоточному трансформатору той же мощности.

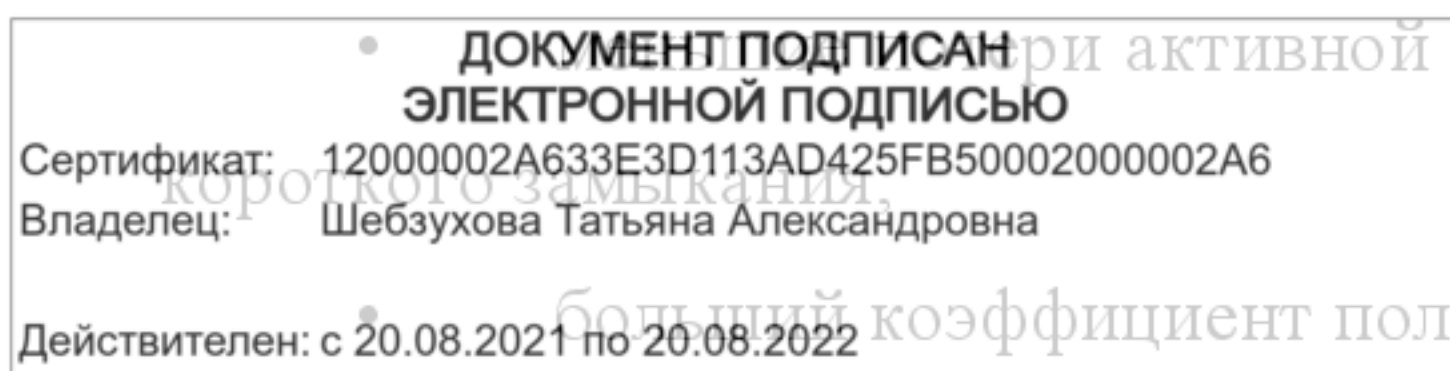
Обмотка низшего напряжения имеет с обмотками высшего и среднего напряжений только магнитную связь. Мощность этой обмотки не может быть больше типовой мощности автотрансформатора. Иначе размеры магнитопровода автотрансформатора будут определяться мощностью обмотки низшего напряжения.

Учитывая изложенное, можно записать соотношение номинальных мощностей обмоток автотрансформатора:

$$100 \% / 100 \% / \alpha \ \%.$$

Преимущества автотрансформатора по сравнению с трехобмоточным трансформатором:

- меньший расход материалов (меди, стали, изоляции);
- меньшие габариты;



большой коэффициент полезного действия; мощности в режимах холостого хода и

- более легкие условия охлаждения.

Недостатки:

- сложность выполнения независимого регулирования напряжения;
- опасность перехода атмосферных перенапряжений из обмотки высшего напряжения в обмотку среднего напряжения и обратно из-за электрической связи обмоток;
- необходимость обязательного глухого заземления нейтрали. Это приводит к тому, что ток однофазного короткого замыкания может быть больше тока трехфазного короткого замыкания. Если же разземлить нейтраль, то изоляцию обмоток нужно рассчитывать на линейное напряжение.

Автотрансформатор имеет такую же схему замещения, что и трехобмоточный трансформатор. Параметры схемы замещения рассчитываются аналогично. При этом следует учитывать, что часть паспортных данных может быть приведена не к номинальной мощности, а к типовой. Обмотка низшего напряжения рассчитывается на типовую мощность. Поэтому при коротком замыкании обмотки низшего напряжения напряжение поднимается до значения, определяющего ток в этой обмотке. В этом случае параметры $\Delta P_{к\text{вн}}$, $\Delta P_{к\text{сн}}$, $U_{к\text{вн}}$ и $U_{к\text{сн}}$ оказываются приведенными к типовой мощности автотрансформатора.

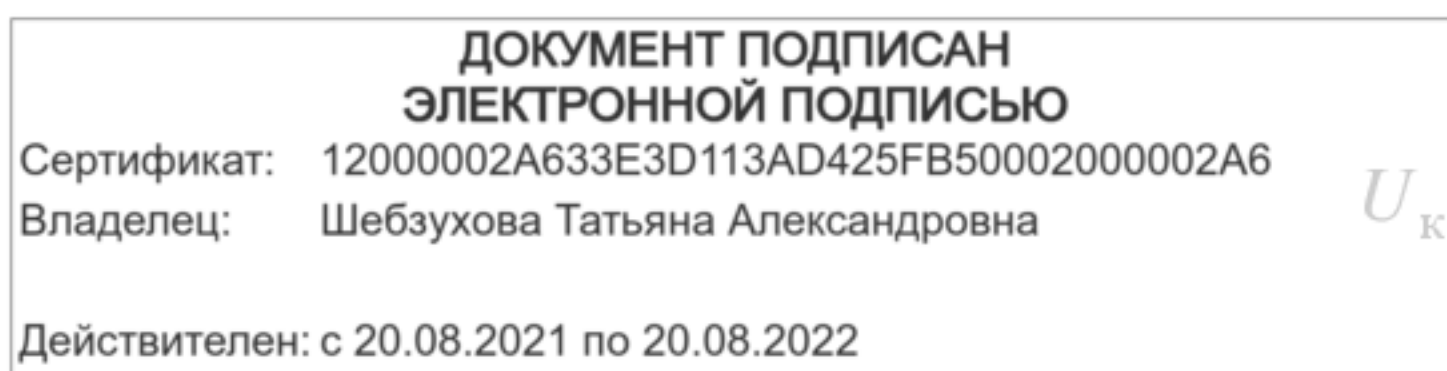
Если в паспортных данных отмечается эта особенность, то указанные параметры следует привести к номинальной мощности по формулам:

$$\Delta P_{к\text{вн}} = \frac{\Delta P_{к\text{вн}}^*}{\alpha^2};$$

$$\Delta P_{к\text{сн}} = \frac{\Delta P_{к\text{сн}}^*}{\alpha^2};$$

$$U_{к\text{вн}} = \frac{U_{к\text{вн}}^*}{\alpha}$$

$$U_{к\text{сн}} = \frac{U_{к\text{сн}}^*}{\alpha}$$



Задание:

Задача №1.

Определить параметры схемы замещения двухобмоточного трансформатора типа ТМ-40/6, приведенные к номинальным напряжениям первичной и вторичной обмоток.

Задача №2.

Определить параметры схемы замещения трехобмоточного трансформатора типа ТДНТ-10000/110, приведенные к стороне высшего напряжения.

Контрольные вопросы:

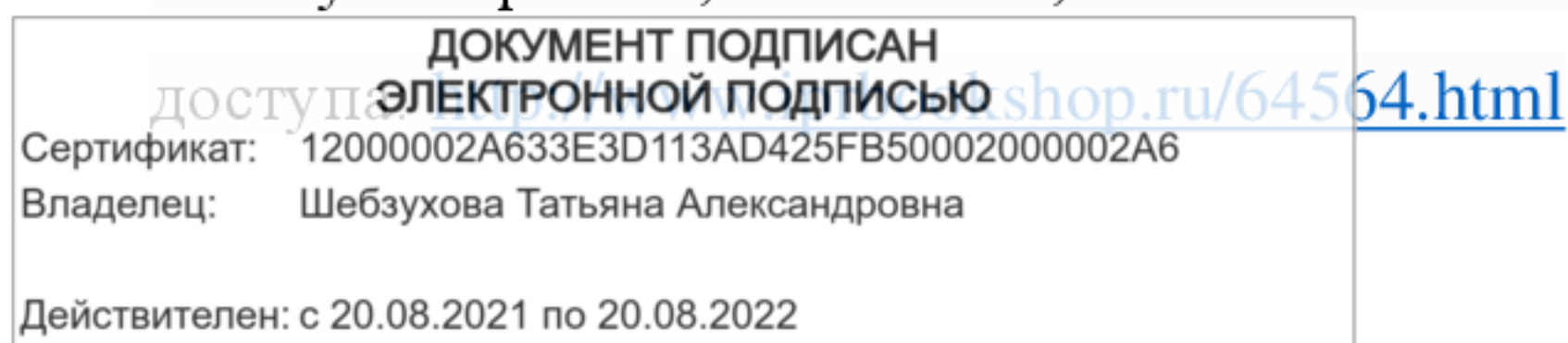
1. Какие схемы замещения применяются для трансформаторов и автотрансформаторов?
2. Как изменяются сопротивления трансформаторов и потери мощности в них с ростом номинального напряжения?
3. Как вычисляются потери мощности в трансформаторах?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.1 Перечень основной литературы:

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



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>

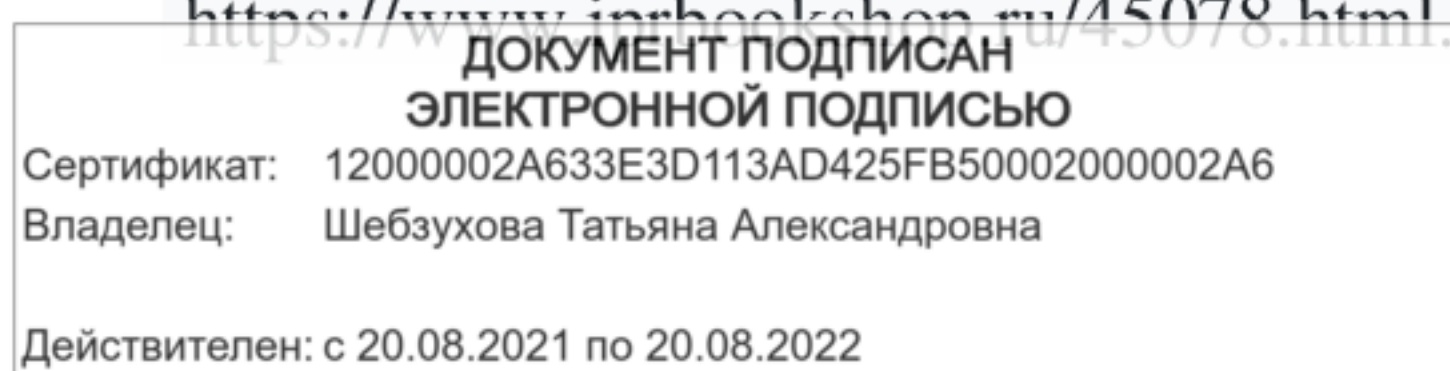
3. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47317.html>

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>

5.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей : учебное пособие / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин ; под редакцией В. Т. Федина. — 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 рекомендации для подготовки к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

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
4. <http://docs.cntd.ru/> Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ
- 5.Профессиональные справочные системы Техэксперт <http://vuz.kodeks.ru/>

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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»
направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Пятигорск
2022

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	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Основы проектирования распределительных сетей» является выполнение расчетно-графической работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 электроснабжения	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 $U_{\text{ном}} = 35$ 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
$\cos \varphi$	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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ										
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6										
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна										
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022										
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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

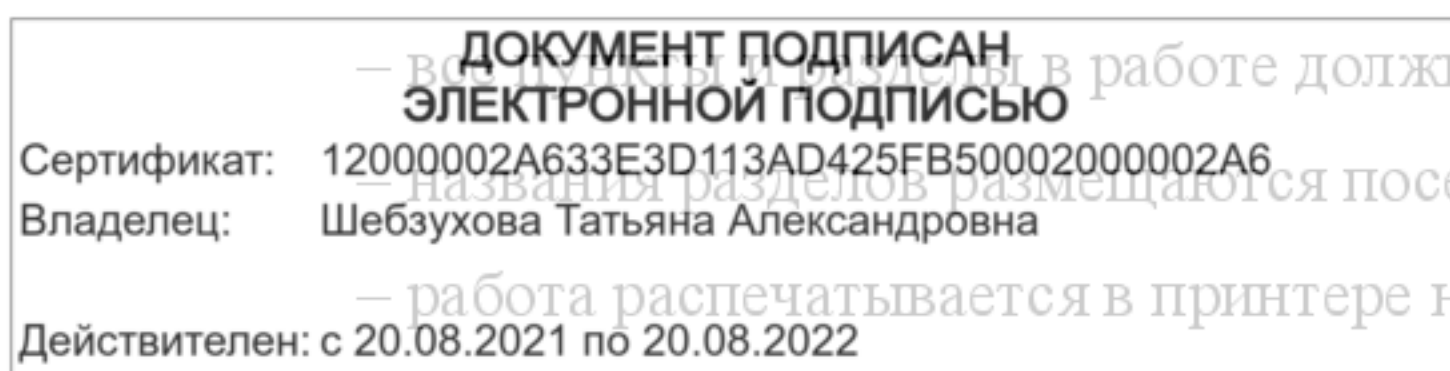
Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- 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 заголовки и подзаголовки в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;

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

– работа распечатывается в принтере на листах А4;



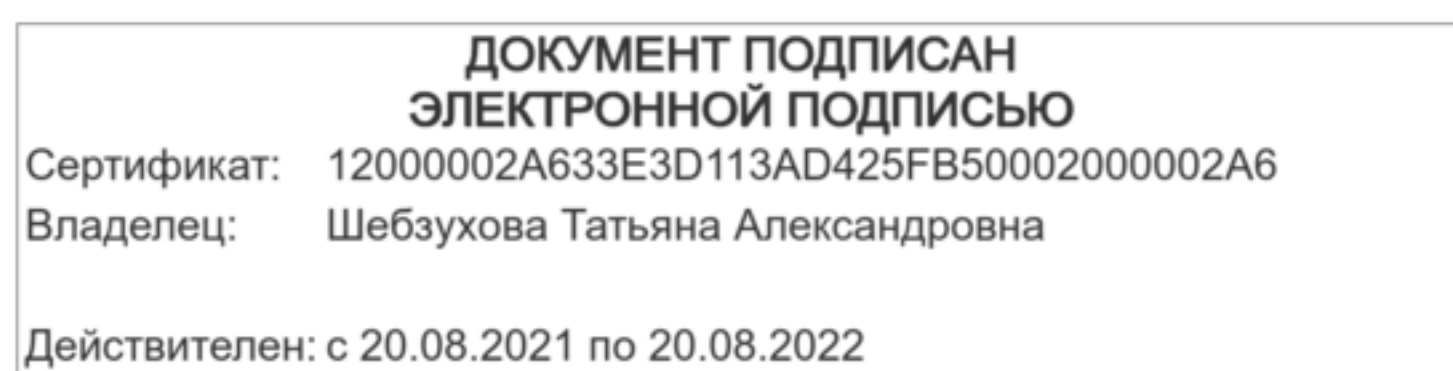
– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

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 $Q_{\max}$:
$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi = P_{\max} \cdot \operatorname{tg} [\arccos(\cos \varphi)];$$
- 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:**

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

- 1) Определим экономически целесообразное сечение:
$$S_{\text{эк}} = I_p / J_n$$

Проводим необходимую проверку проводов выбранного сечения по техническим ограничениям:

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

$$S \geq S_{\min \text{ мех}},$$

где $S_{\min \text{ мех}}$ – 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 номинальном напряжении электрической сети $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$ должно быть не меньше $S_{\text{ст}} = 120/19 \text{ мм}^2$.

Провод прошёл проверку на условие механической прочности.

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

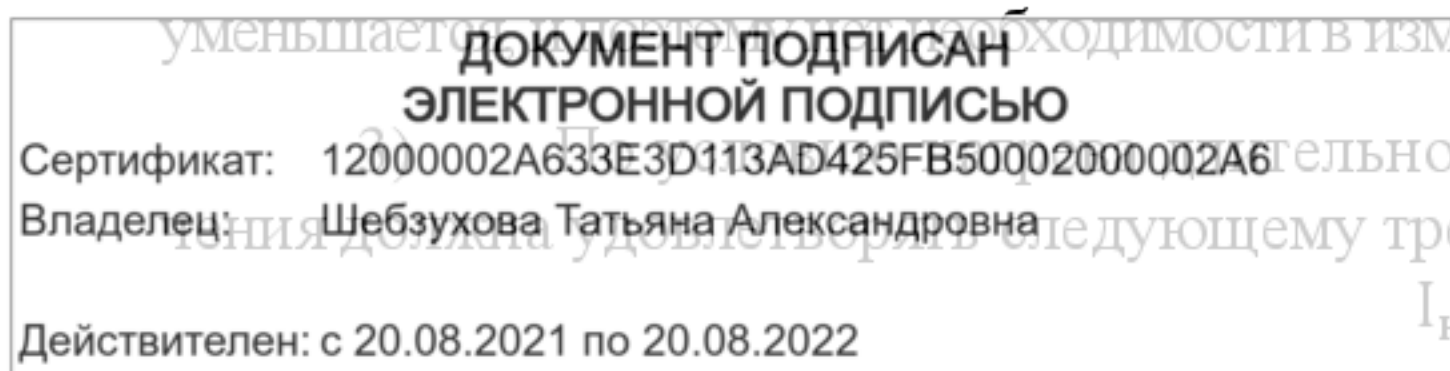
$$S \geq S_{\min \text{ кор}},$$

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

Для ВЛ с номинальным напряжением электрической сети $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$ не производится, т. к. в практических расчетах принимают, что при напряжении $U_{\text{ном}} < 110 \text{ кВ}$ потери активной мощности на корону малы, и следовательно передаваемая мощность практически не уменьшается. Поэтому необходимо проверить, удовлетворяет ли выбранное сечение проводов условию ограничения потерь на корону.

допустимым током площадь выбранного сечения должна удовлетворять следующему требованию:

$$I_{\text{нб}} < I_{\text{доп}},$$



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

Находим наибольший ток в линии:

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

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 электропитания питающихся от ПС потребителей. В практике проектирования на ПС рекомендуется, как правило, установка двух трансформаторов. Принимаем количество трансформаторов $n_T = 2$.

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.:

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

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

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

$$S_{T \text{ ном}} \geq 0,7P_{\text{макс}},$$

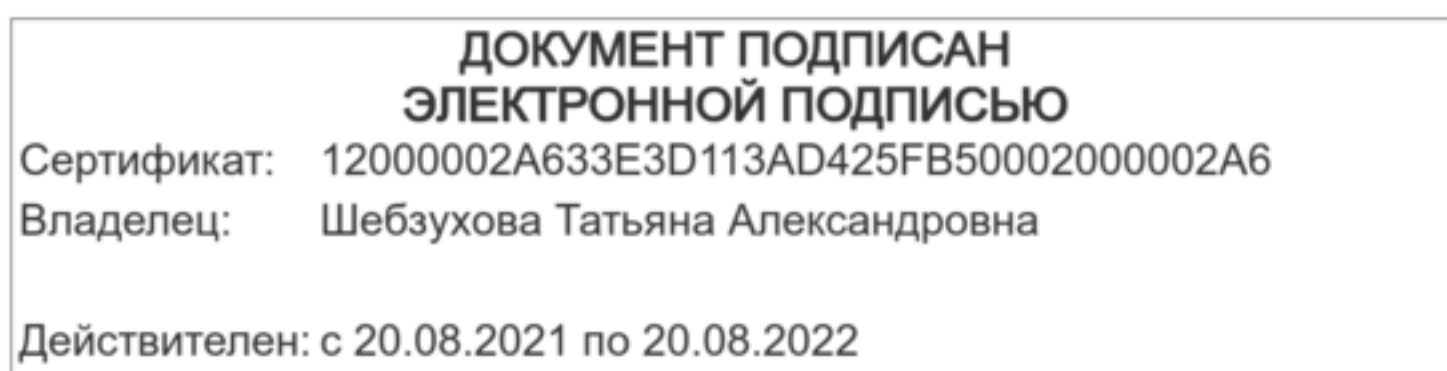
где $0,7P_{\text{макс}}$ – расчетная мощность трансформатора.

$$S_{\text{расч}} = 0,7P_{\text{макс}}$$

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

Выпишем каталожные данные данного трансформатора:

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



2. Расчет электрического режима

2.1. Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров

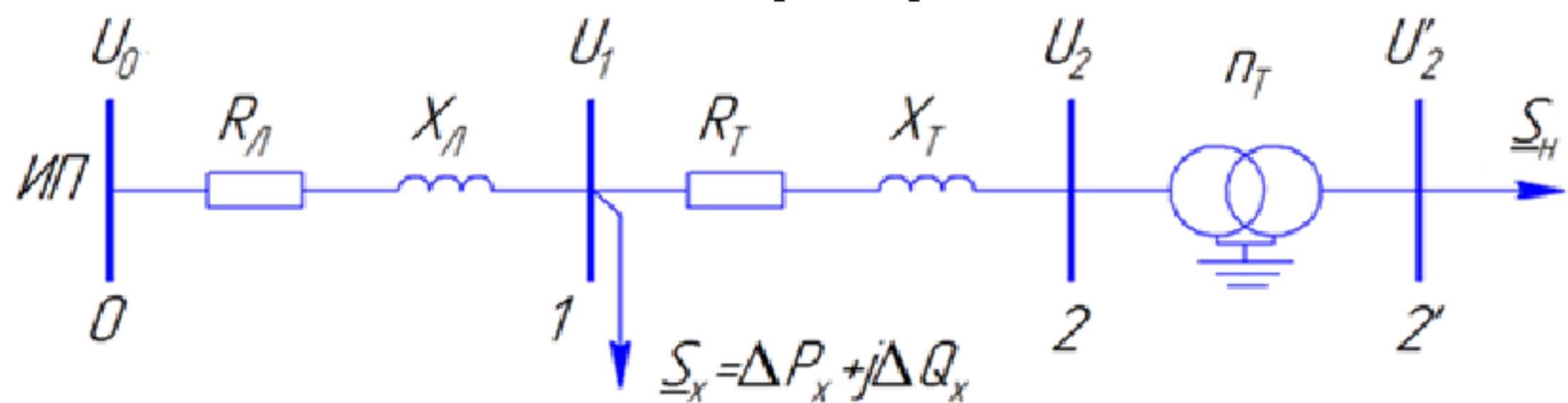


Рисунок 2. – Схема замещения электрической сети

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 величины (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:

$$\underline{S}_{12}^k = \underline{S}_H$$

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

$$\underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^k + \Delta \underline{S}_T = \underline{S}_{12}^k + (\underline{S}_{12}^k / U_{ном})^2 \cdot (R_T + jX_T)/2 \text{ МВА};$$
- 2) Определим поток мощности в конце участка между узлами 0 и 1:

$$\underline{S}_{01}^k = \underline{S}_{12}^H + \Delta \underline{S}_x = \underline{S}_{12}^H + \Delta P_x + j\Delta Q_x \text{ МВА};$$

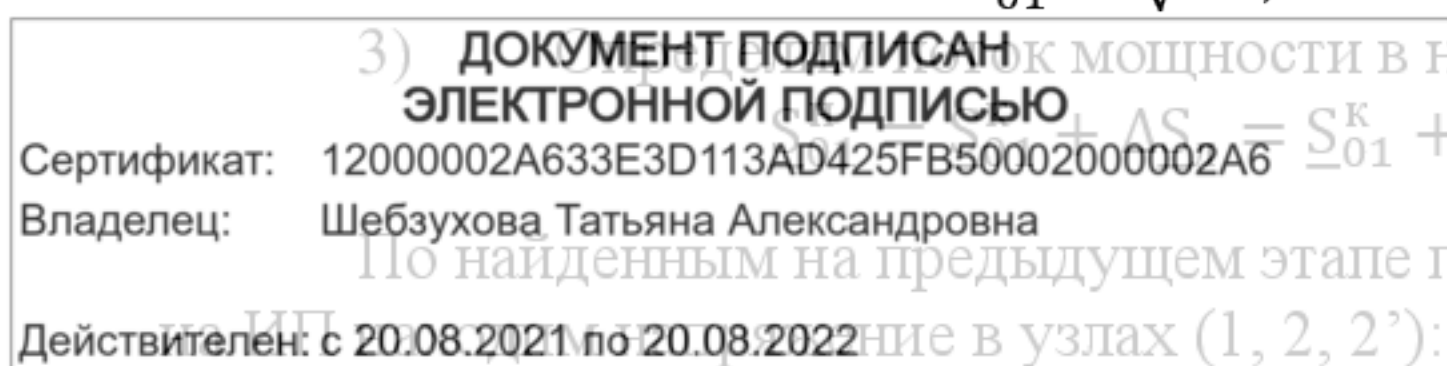
Определим модуль полной мощности:

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

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

$$\underline{S}_{01}^H = \underline{S}_{01}^k + \Delta \underline{S}_0 = \underline{S}_{01}^k + (\underline{S}_{01}^k / U_{ном})^2 \cdot (R_л + jX_л) \text{ МВА};$$

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



- 1) Определим напряжение в узле 1:

$$U_1 = U_0 - \Delta U_L = U_0 - \frac{P_{01}^H \cdot R_L + Q_{01}^H \cdot X_L}{U_0} \text{ кВ};$$

- 2) Определим напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_T = U_1 - \frac{P_{12}^H \cdot R_T + Q_{12}^H \cdot X_T}{2 \cdot U_1} \text{ кВ};$$

- 3) Определим напряжение в узле 2':

$$U_2' = U_2 / n_T = U_2 \cdot w_2 / w_1 \approx U_2 \cdot U_{H \text{ ном}} / U_{B \text{ ном}} \text{ кВ};$$

- 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 $U_{\text{ном}}$.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5. План-график выполнения задания

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

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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:

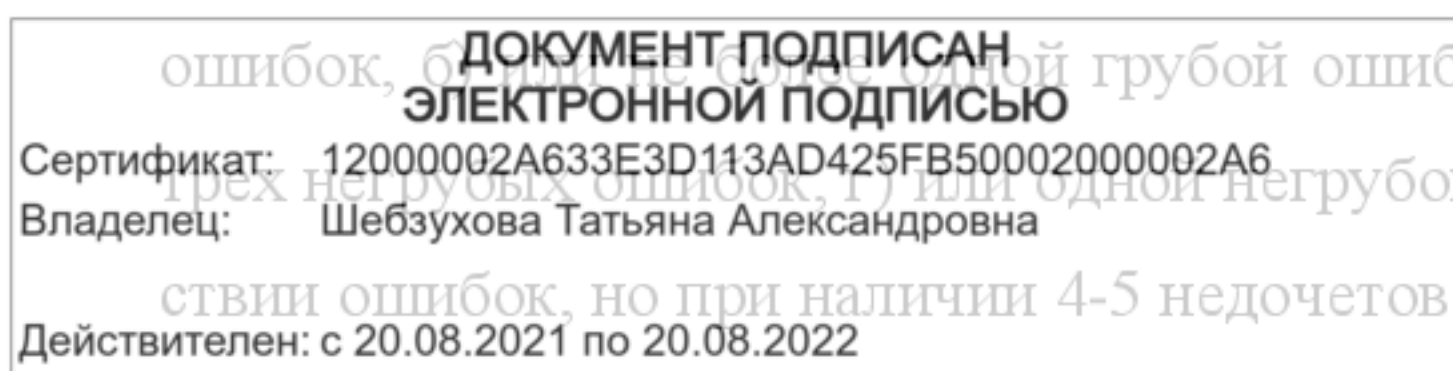
- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого 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



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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.

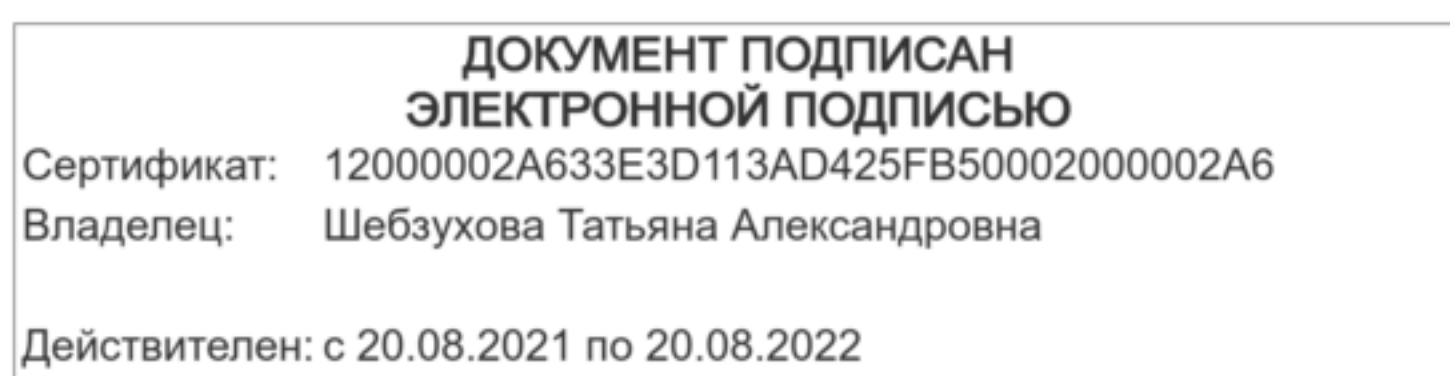
Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

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. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский 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. Федина. — 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.

— Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022
ма IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45078.html>.

8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».
3. Методические рекомендации для выполнения расчетно-графической 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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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 самостоятельной работы
по дисциплине
«Основы проектирования распределительных сетей»
направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Пятигорск
2022

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 контрольной работе
- 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

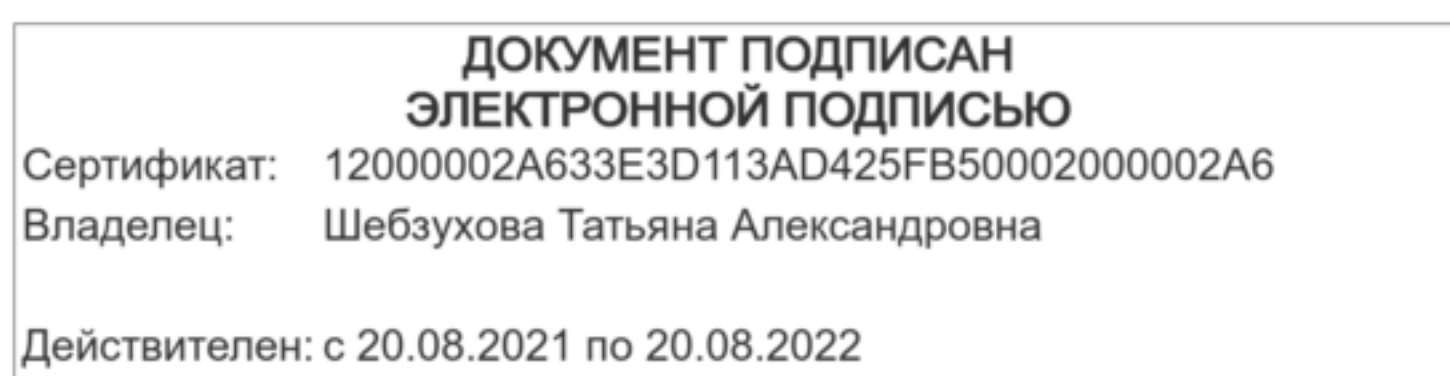
Введение

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;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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.

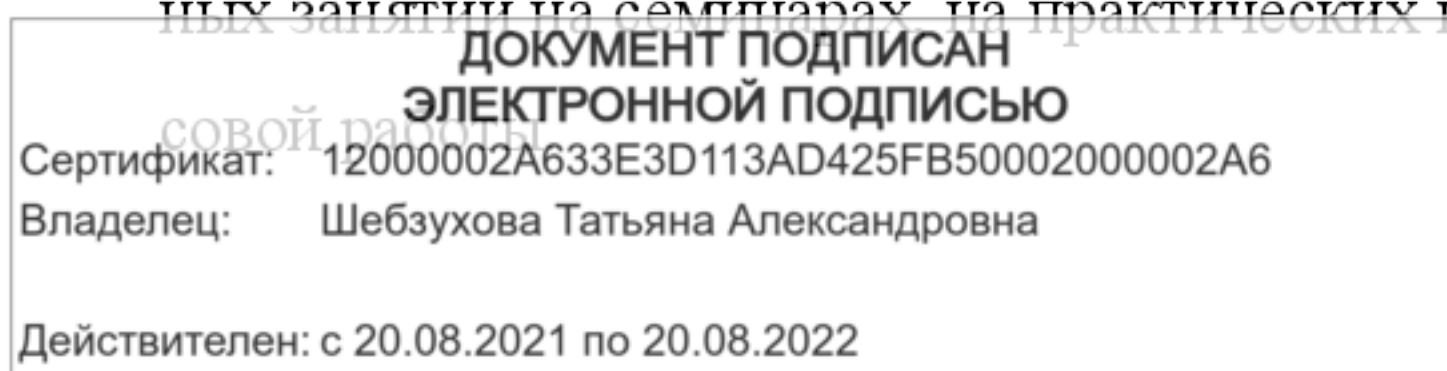
Задачами самостоятельного решения задач являются:

- 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 кур-



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 электроснабжения	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

План-график выполнения самостоятельной работы

Код реализуемой компетенции (индикатора)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки*	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по разделам № 1-5	Собеседование	30,24	3,36	33,6
ИД-2 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ИД-5 _{ПК-1}	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	4,86	0,54	5,4
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	14,85	0,15	15
Итого за 7 семестр			49,95	4,05	54,0

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.	Практическое занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 7	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, выставаемый 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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 понятийного, 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

рекомендованной литературы предполагает

следование нескольким несложным, но весь-

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.

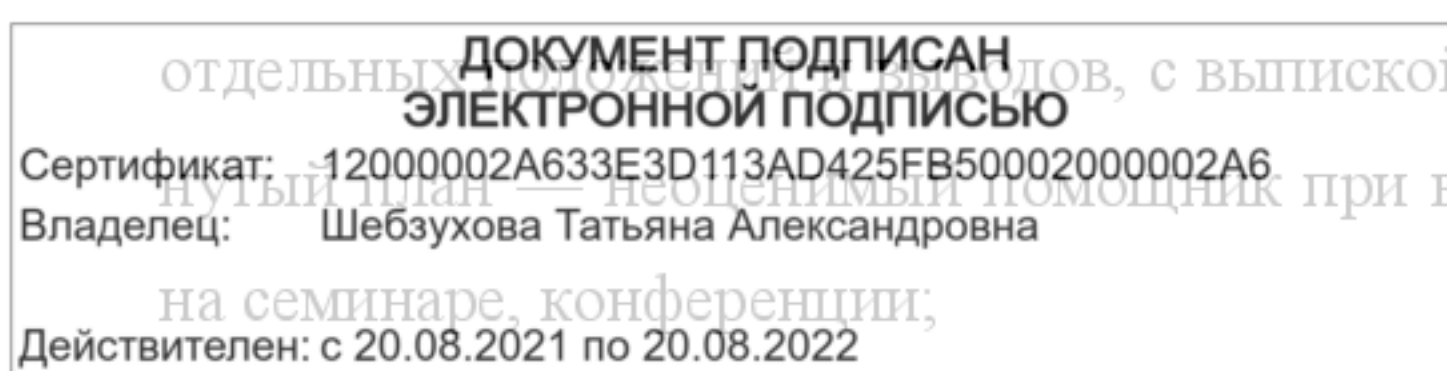
Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником 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, фактов, цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;



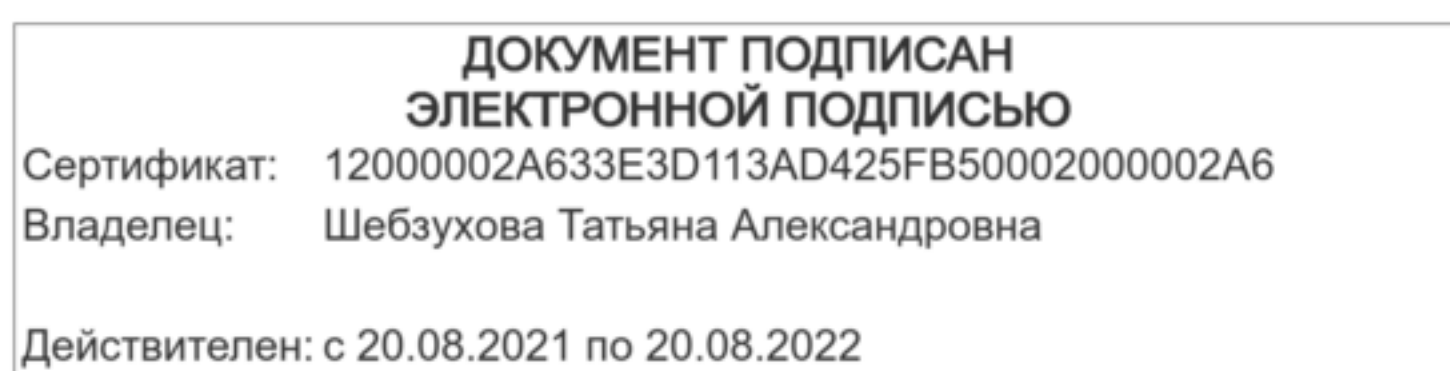
— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

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.



Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе

Расчетно-графической работе – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения РГР заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении РГР 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 электроснабжения	Умеет использовать основы теории передачи и распределения электрической энергии при решении задач проектирования электрических сетей

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский 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.

— Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022
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 рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Основы проектирования распределительных сетей».
3. Методические рекомендации для выполнения расчетно-графической 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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022