

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

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

Эта ЭДС будет создавать уравнительную мощность:

$$\underline{S}_{ур} = P_{ур} + jQ_{ур} = \sqrt{3} U_1 I_{ур}^* = \sqrt{3} U_1 \frac{E}{\sqrt{3} Z_K^*} = \frac{U_1 E}{Z_K^*},$$

Если в контуре создаётся только продольная ЭДС, то:

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

Перечень используемого оборудования:

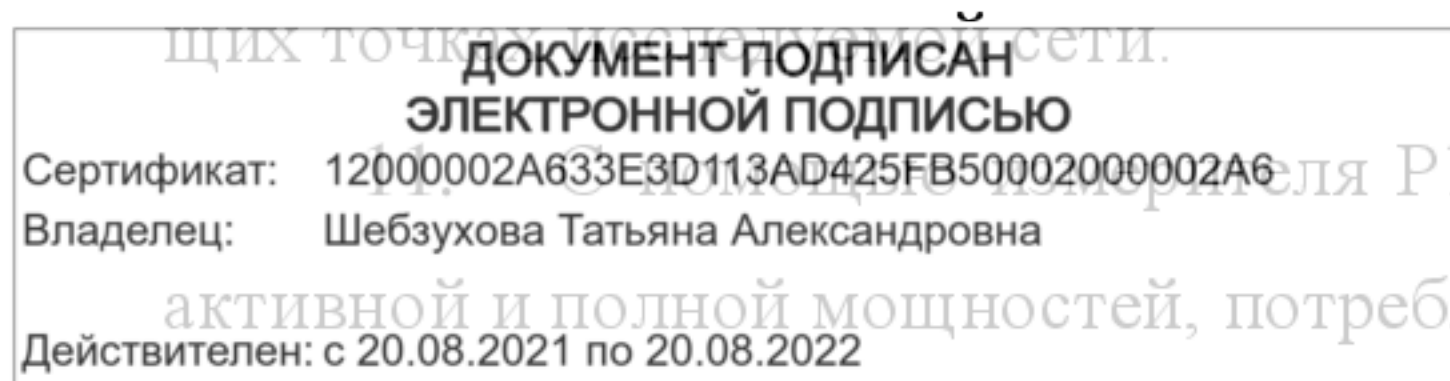
Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
G2	Источник бесперебойного питания	1456	1000 ВА ~ 230 В
G3	Однофазный источник питания	218.5	~ 220 В / 10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220 / 198...242 В
A3	Модель трансформаторной подстанции и нагрузки	3356	~ 220 В / 0...20 Вт / 0...20 ВАр
A7, A8	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A12	Емкостная нагрузка	317.3	~ 220 В / 0...30 ВАр
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 Измеритель параметров однофазной сети		542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Встречное регулирование напряжения

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.7.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок модели A3 соответственно равными, например, 50 Ом; 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересую-



определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.

12. Встречное регулирование напряжения осуществляйте изменением коэффициента трансформации трансформатора А1.

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

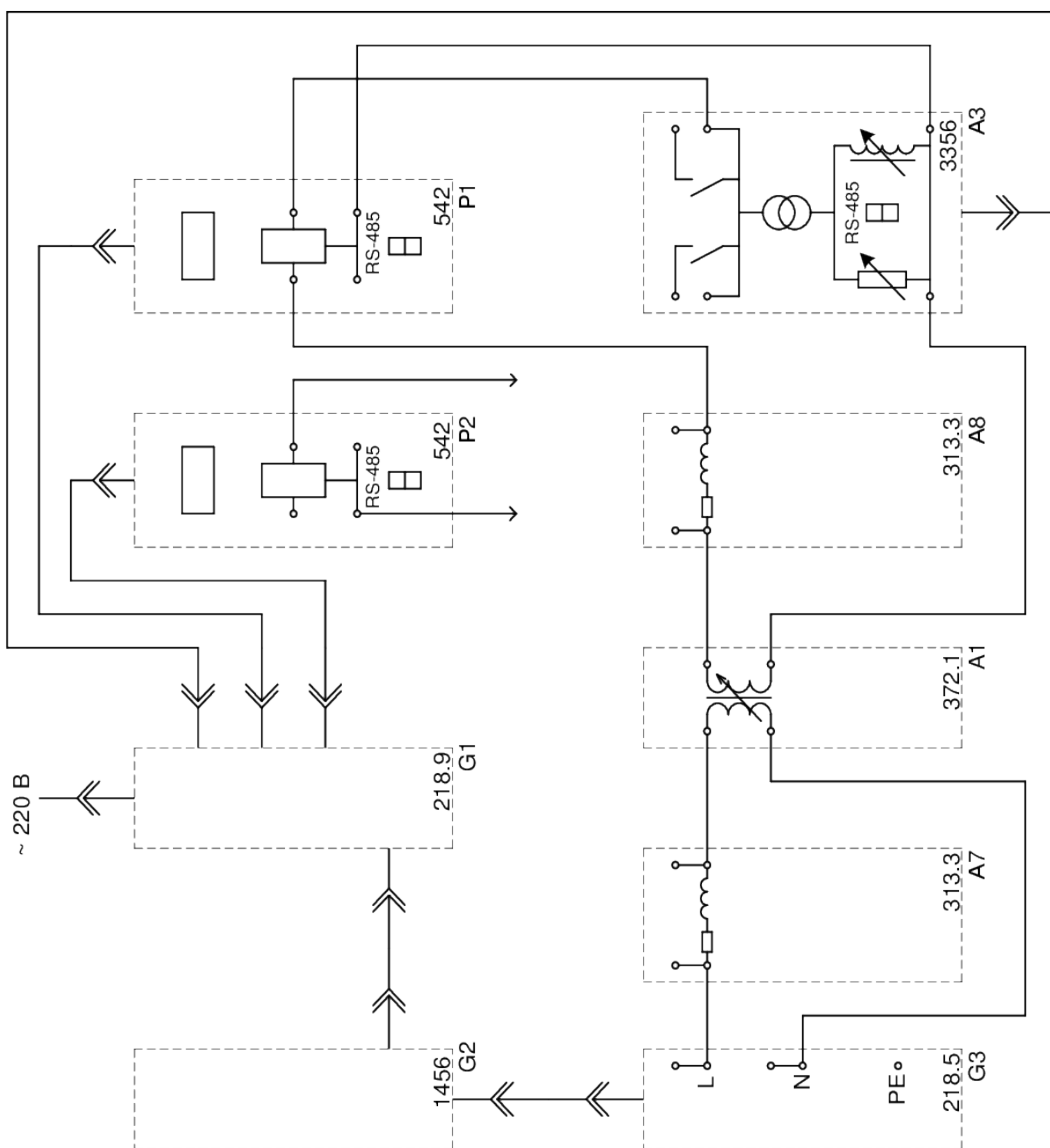
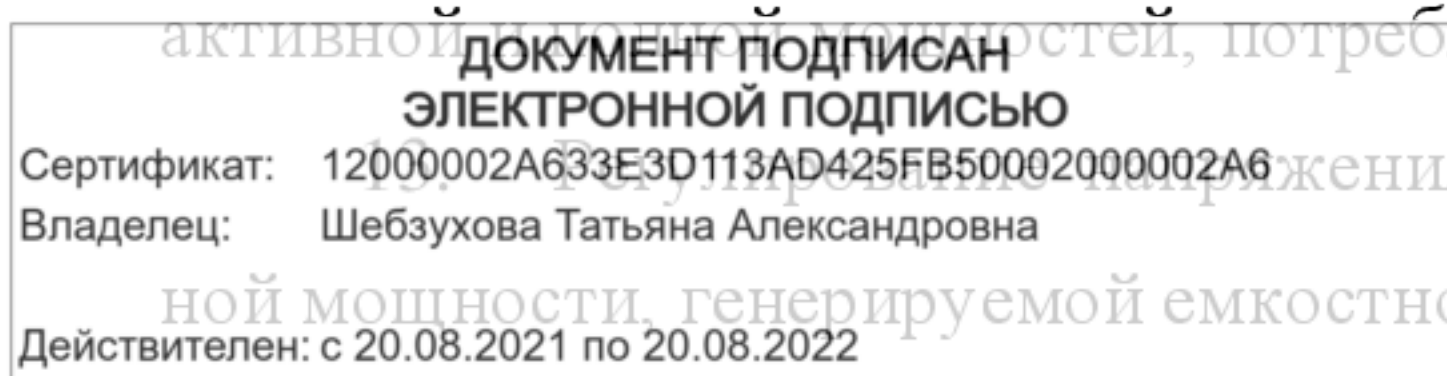


Рисунок 3.7 – Схема для изучения встречного регулирования напряже-

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.8.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок модели A3 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.
6. Переключатель емкостной нагрузки A12 установите в положение «0».
7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.
9. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
10. Включите однофазный источник питания G3.
11. С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
12. С помощью измерителя P1 определяйте величины активной, реактивной и комплексной мощностей, потребляемых нагрузкой.



осуществляйте изменением реактивной мощности, генерируемой емкостной нагрузкой A12.

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

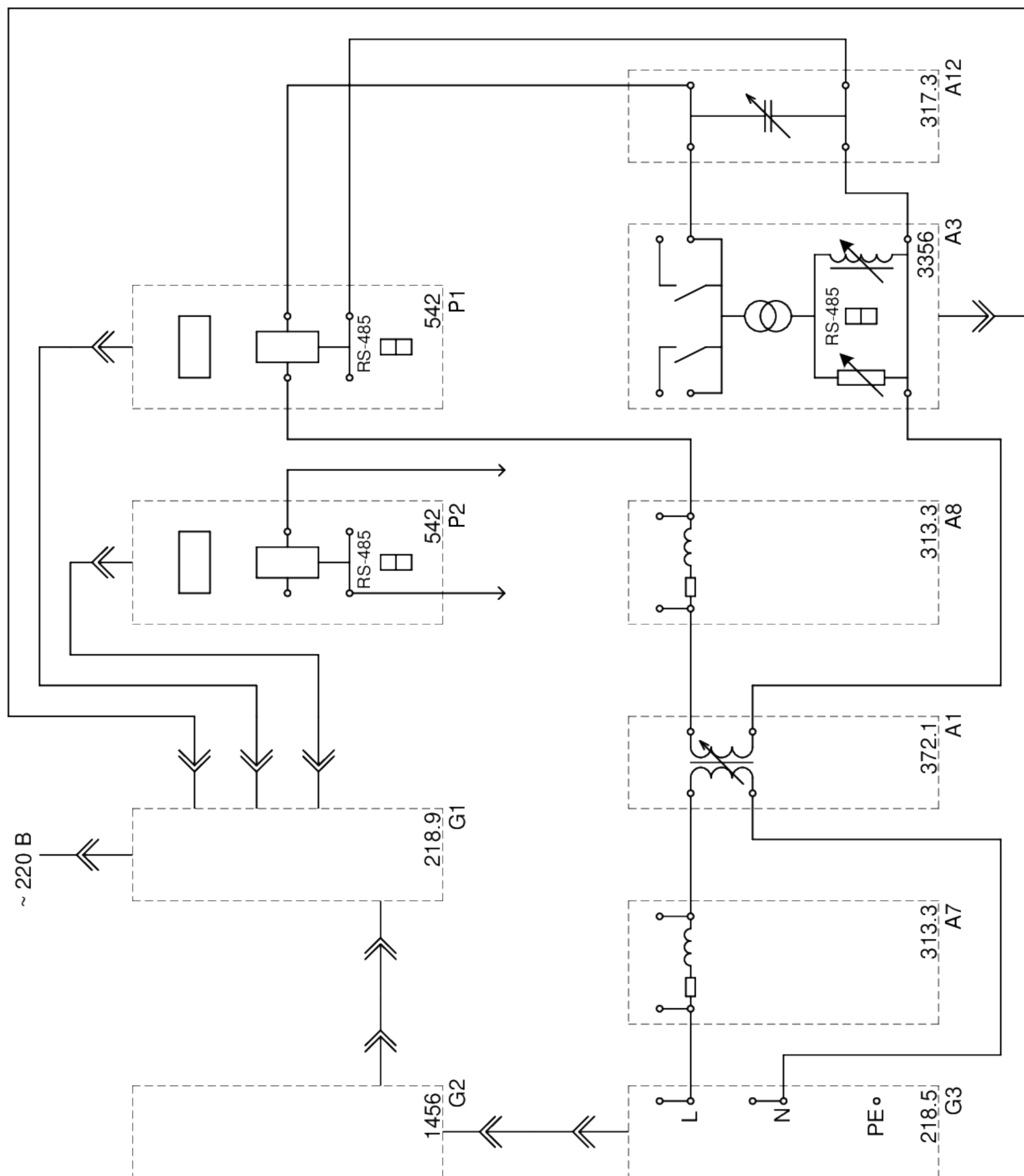


Рисунок 3.8 – Схема для изучения регулирования напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности.

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

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

1. Какая последовательность вычислений применяется при расчетах разомкнутых сетей?
2. Какие преобразования используют при упрощении схем замещения электрических сетей?
3. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

Лабораторная работа №4

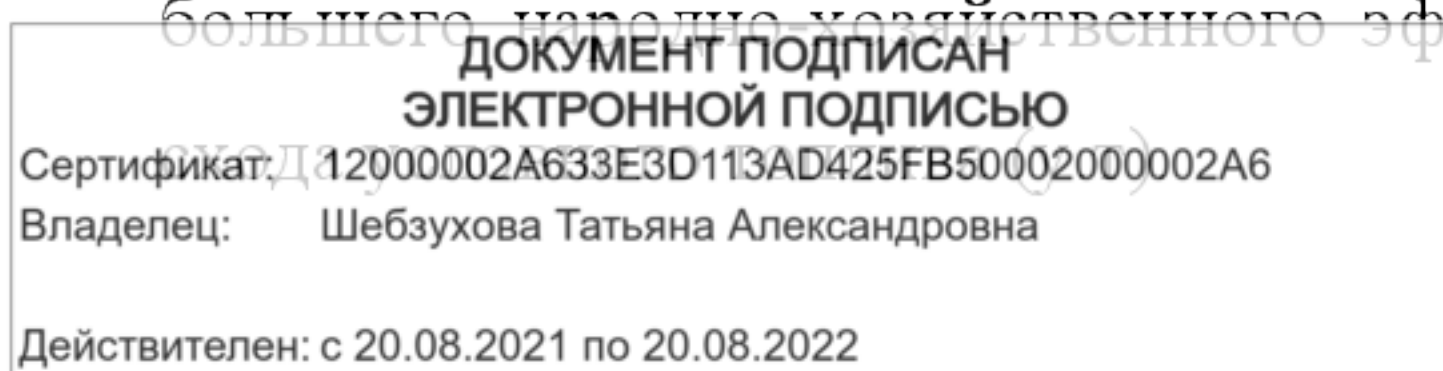
Оптимизация режима местной распределительной электрической сети

Цель: Приобрести навыки оптимального управления нормальными режимами в ЭС

Основы теории:

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

Оптимизация режимов соответствует требованиям достижения наибольшего надежного хозяйственного эффекта по критерию минимального ра-



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

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

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

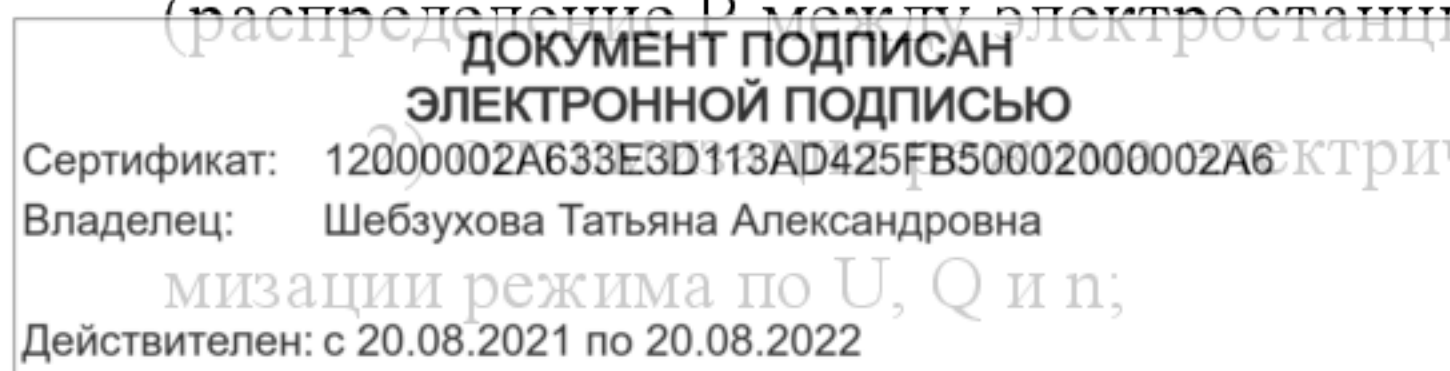
В качестве (минимизируем) целевой функции принимаются издержки за интервал времени между двумя, управляющими воздействиями, либо (при равенстве этих интервалов) издержки в единицу времени.

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

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

Три вида задач оптимизации режимов:

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



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

3) более общая задача комплексной оптимизации режима ЭС.

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

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

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

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

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

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
G2	Источник бесперебойного питания	1456	1000 ВА ~ 230 В
G3	Однофазный источник питания	218.5	~ 220 В / 10 А
A1, A2	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220 / 198...242 В
A3...A6	Модель трансформаторной подстанции и нагрузки	3356	~ 220 В / 0...20 Вт / 0...20 ВАр
	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

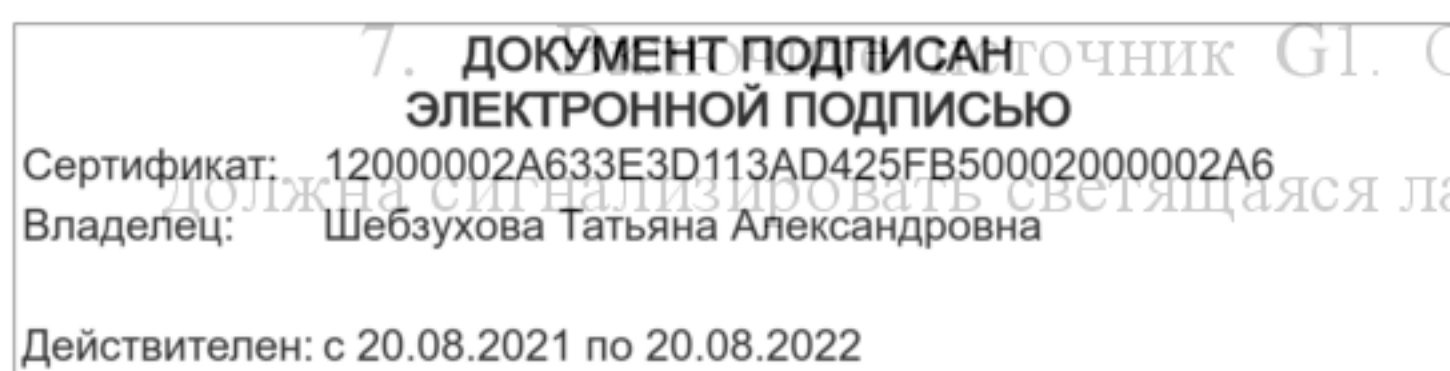
A14	Удлинитель переносной четырех- местный	-	~ 220 В / 16 А
A16	Преобразователь интерфейсов USB / RS-485	3305	ОВЕН AC4
A17	Нетбук	1420	-
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис.4.1.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A11 линий электропередачи равными, например, 50 Ом; 0,09 Гн.
6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3...A6 равными, например, 20 Вт и 10 ВАр.



7. Проверьте наличие напряжения на его выходе лампы. Должна сигнализировать светящаяся лампочка.

8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P_1 , P_2 и моделей $A_3 \dots A_6$.

9. Включите источник бесперебойного питания G_2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

10. Включите однофазный источник питания G_3 .

11. С помощью измерителей P_1 и P_2 измерьте активные мощности P_1 и P_2 , поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы A_1 и A_2 первого и второго центров питания.

12. С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций $A_3 \dots A_6$ измерьте соответствующие активные мощности $P_3 \dots P_6$, потребляемые нагрузками этих подстанций.

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

$$\Delta P = (P_1 + P_2) - (P_3 + P_4 + P_5 + P_6).$$

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

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

15. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G_3 , источник бесперебойного питания G_2 , выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P_1 , P_2 и моделей $A_3 \dots A_6$, однофазный источник питания G_1 .

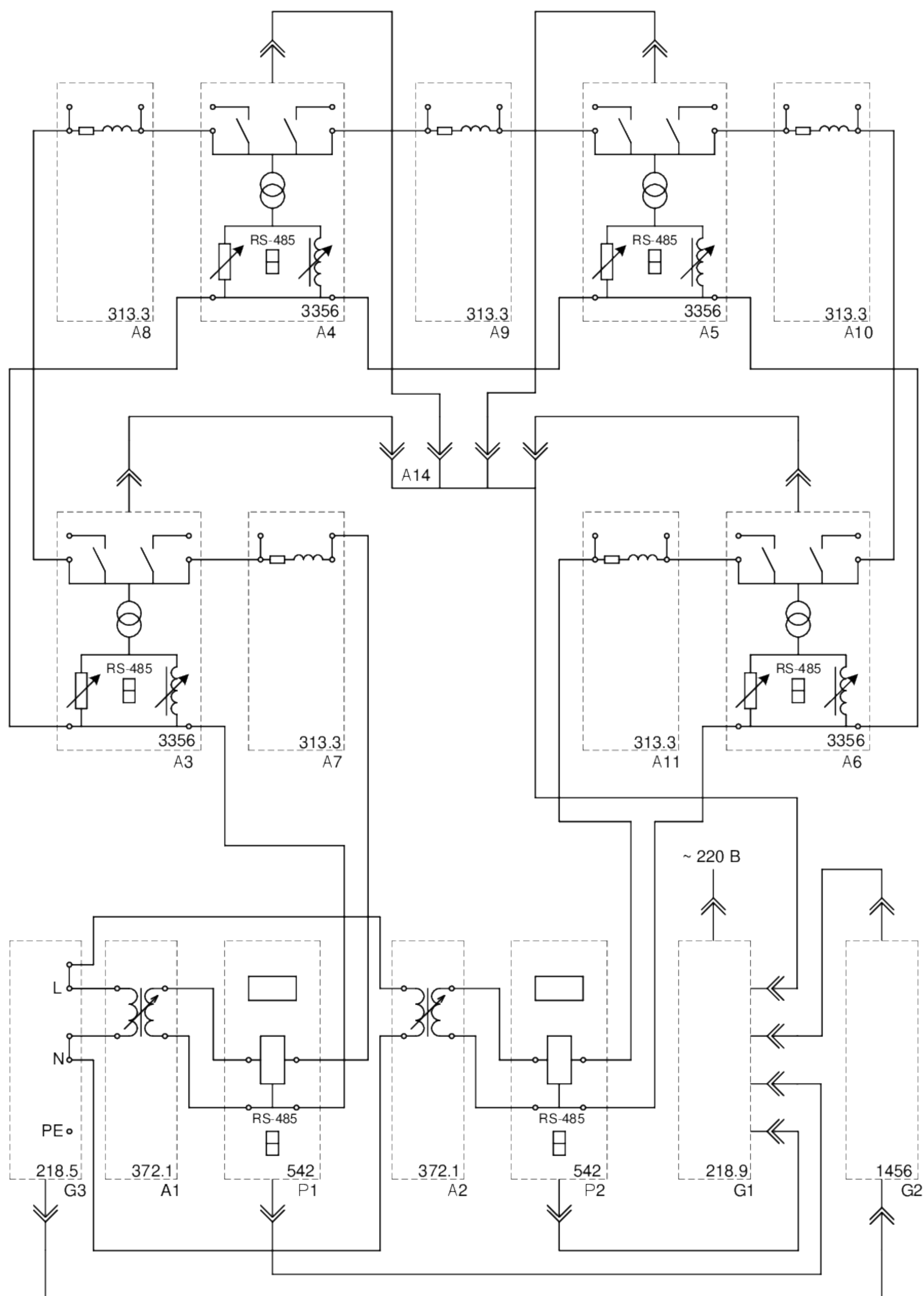


Рисунок 4.1 – Схема для определения точки нормального (оптимально-го) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети.

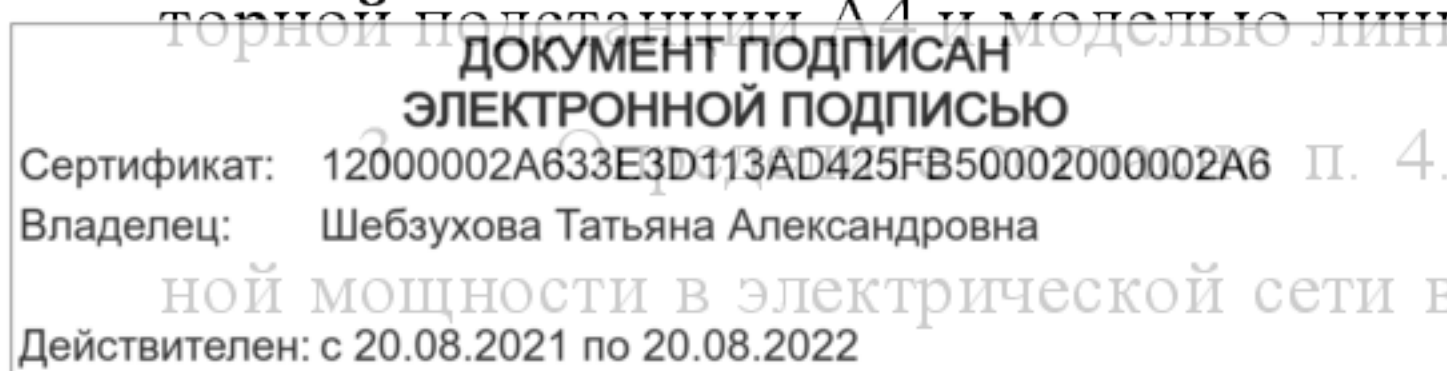
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

1. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равных 1,0, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1 .
2. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при разных коэффициентах трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равных 1,0 и 0,9, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_2 .
3. Сравните потери активной мощности ΔP^*_1 и ΔP^*_2 , определенные при различных напряжениях на шинах центров питания и сделайте вывод о влиянии разницы этих напряжений на потерю мощности в электрической сети.

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

1. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А3 и моделью линии электропередачи А7.
2. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_2 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А4 и моделью линии электропередачи А8.



п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах)

ΔP^*_3 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А4 и моделью линии электропередачи А9.

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

5. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_5 при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А6 и моделью линии электропередачи А11.

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

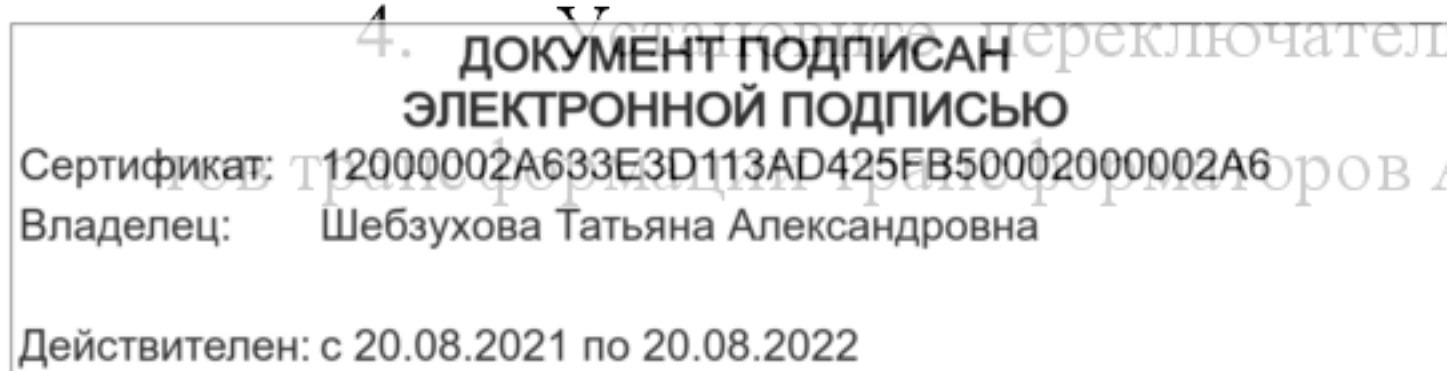
Часть 4. Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности

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

2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).

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

4. Установите переключателями желаемые значения коэффициен-



тов трансформаторов А1 и А2, например, равными 1,0.

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

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

7. Выполните разрыв (разрез) в электрической сети между моделью подстанции A4 и моделью линии электропередачи A9, принимая его нормальным (оптимальным) в предшествующем режиме работы сети.

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

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

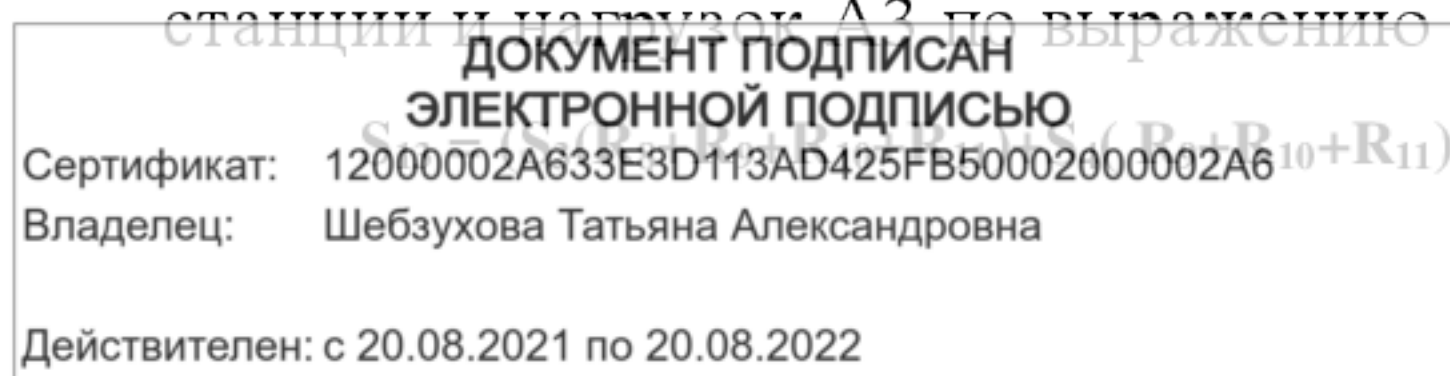
10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).

11. Включите однофазный источник питания G3.

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

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

14. Вычислите поток полной мощности от первого центра питания (трансформатора A1) по модели линии электропередачи A7 к модели подстанции и нагрузок A2 по выражению



$$S_5(R_{10}+R_{11})+S_6R_{11}) / (R_7+R_8+R_9+R_{10}+R_{11})$$

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

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

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

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

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

$$S_{45} = S_{34} - S_4$$

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

$$S_{56} = S_{45} - S_5$$

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

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

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

22. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1 при разрыве (разрезе) электрической сети в точке нормального (оптимального) разрыва (разреза).

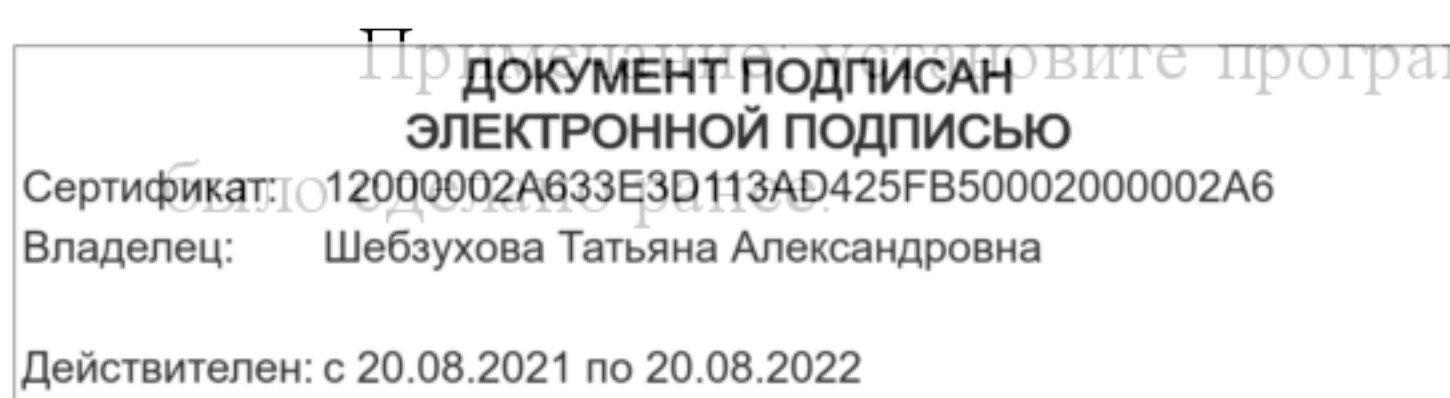
Часть 5. Работа местной распределительной электрической сети,

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

режиме автоматического выбора

точки нормального разрыва (разреза) по критерию минимума потери активной мощности

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис.4.1.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A11 линий электропередачи соответственно равными, например, $R_7 = 50 \text{ Ом}$ и $L_7 = 0,03 \text{ Гн}$, $R_8 = 50 \text{ Ом}$ и $L_8 = 0,03 \text{ Гн}$, $R_9 = 50 \text{ Ом}$ и $L_9 = 0,03 \text{ Гн}$, $R_{10} = 100 \text{ Ом}$ и $L_{10} = 0,06 \text{ Гн}$, $R_{11} = 100 \text{ Ом}$ и $L_{11} = 0,06 \text{ Гн}$.
6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3...A6 соответственно равными, например, 10 Вт и 8 Вар, 10 Вт и 8 Вар, 20 Вт и 16 Вар, 20 Вт и 16 Вар.
7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6.
9. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
10. Включите однофазный источник питания G3.



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

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

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

14. Переведите программу в автоматический режим работы соответствующим переключателем.

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

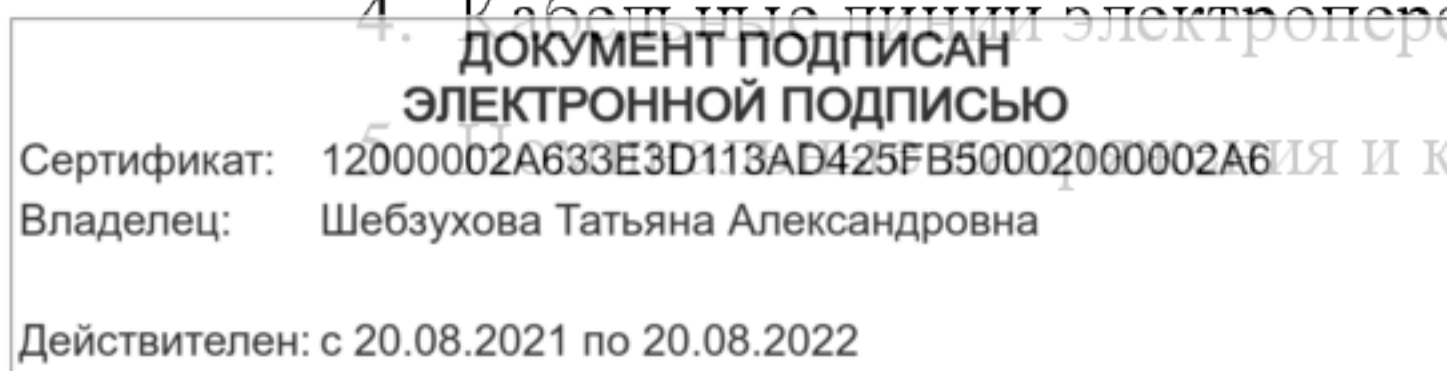
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

1. Характеристика системы распределения электрической энергии
2. Активная проводимость ВЛ
3. Схемы замещения линий электропередач
4. Кабели и линии электропередачи



Лабораторная работа №5

Оптимизация режима районной распределительной электрической сети

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

Основы теории:

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

– потери активной мощности

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

– потери реактивной мощности

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

– зарядная мощность

$$Q_c = U^2 B;$$

– потеря напряжения

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

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

R и X – активное и реактивное сопротивления элемента сети;

U – напряжение;

B – ёмкостная проводимость линии.

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

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
G2	Источник бесперебойного питания	1456	1000 ВА ~ 230 В
G3	Однофазный источник питания	218.5	~ 220 В / 10 А
A1, A2	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220 / 198...242 В
A3, A4	Модель трансформаторной подстанции и нагрузки	3356	~ 220 В / 0...20 Вт / 0...20 ВАр
A7...A9	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A12, A13	Ёмкостная нагрузка	317.3	~ 220 В / 0...30 ВАр
A14	Удлинитель переносной четырех-местный	-	~ 220 В / 16 А
A15	Коммутатор измерителя мощностей	349	5 положений
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

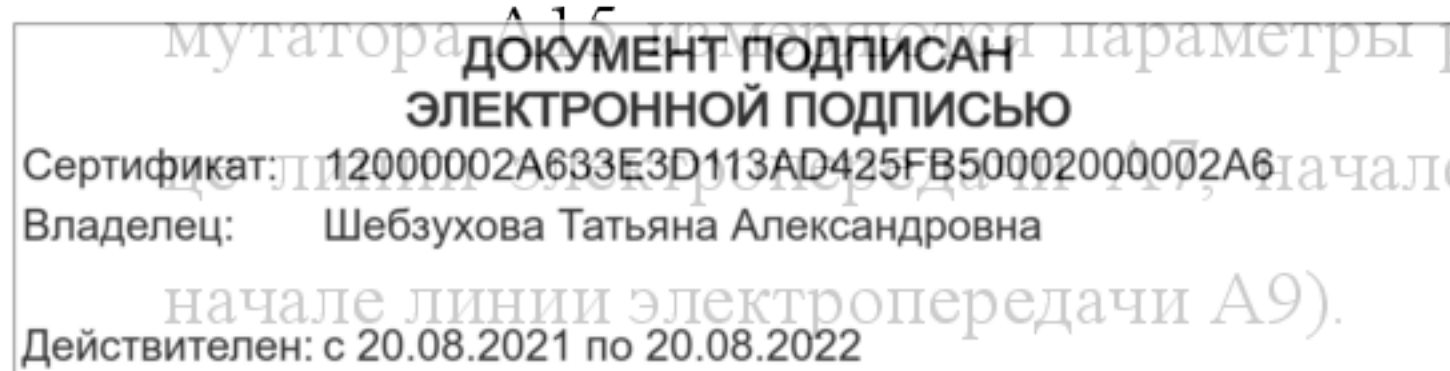
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.1.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A9 линий электропередачи и нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 20 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измерять параметры режима соответственно в начале и конце линии электропередачи A8, начале линии электропередачи A9).



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

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

13. Потерю активной (реактивной) мощности ΔP (ΔQ) в электрической сети определяйте как разницу между суммой активных (реактивных) мощностей, поступающих в сеть от источника питания через трансформаторы А1 и А2 и суммой активных (реактивных) мощностей, потребляемых нагрузками моделей А3 и А4.

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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

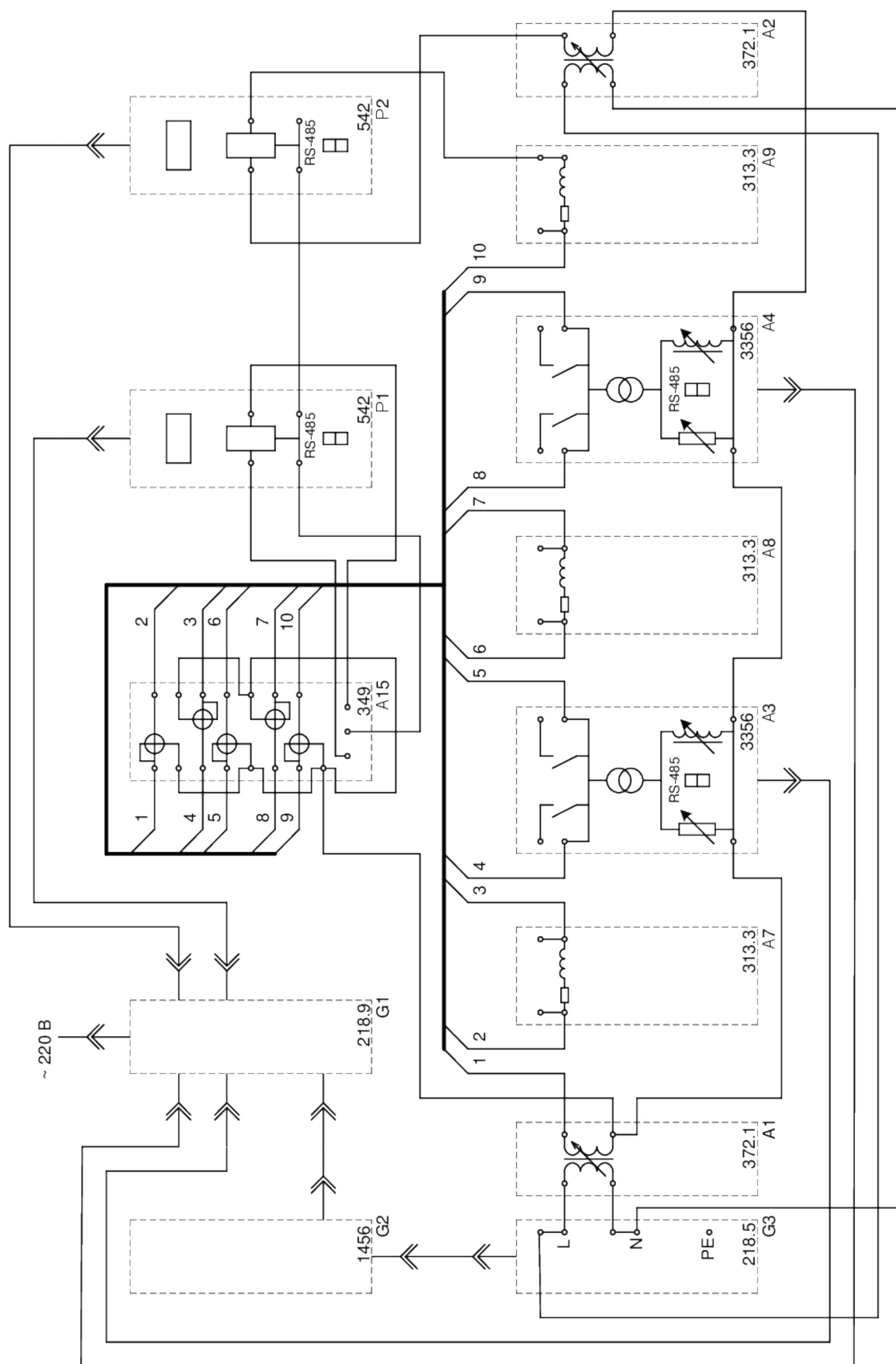
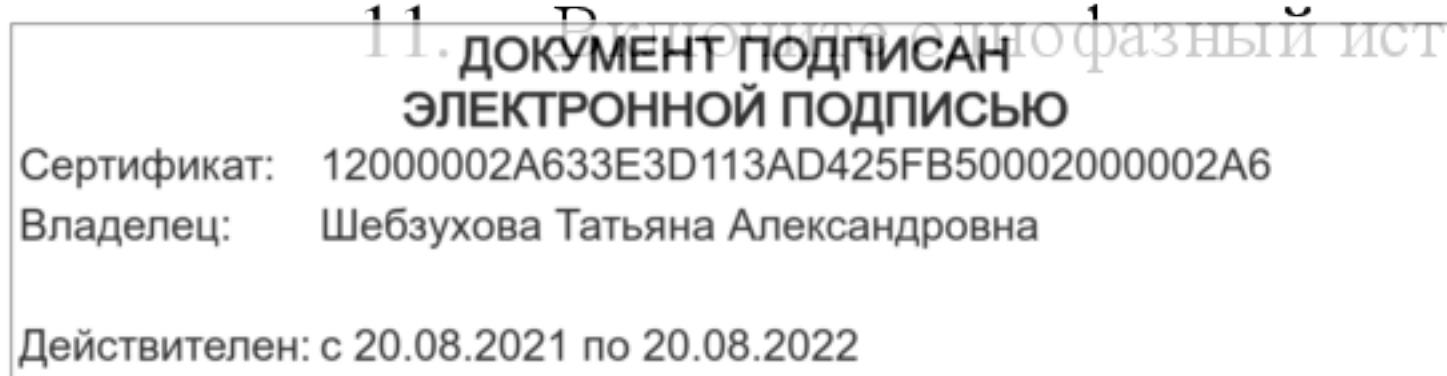


Рисунок 5.1 – Схема для измерения потоков распределения и определения потерь в замкнутой (кольцевой) распределительной электрической сети.

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

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.2.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A9 линий электропередачи равными, например, 50 Ом и 0,15 Гн.
6. Установите переключатели емкостных нагрузок A12 и A13 в крайнее против часовой стрелки положение.
7. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 15 Вт, 10 ВАр и 20 Вт, 15 ВАр.
8. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
9. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
11. Включите однофазный источник питания G3.



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

Таблица 5.2.1

Q_{12} , ВАр										
ΔP , Вт										

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

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

Таблица 5.2.2

Q_{12} , ВАр										
ΔP , Вт										

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

16. Определите оптимальные мощности компенсирующих конденсаторов, как мощности емкостных нагрузок A12 и A13 из таблиц 5.2.1 и 5.2.2, при которых потеря мощности ΔP минимальна.

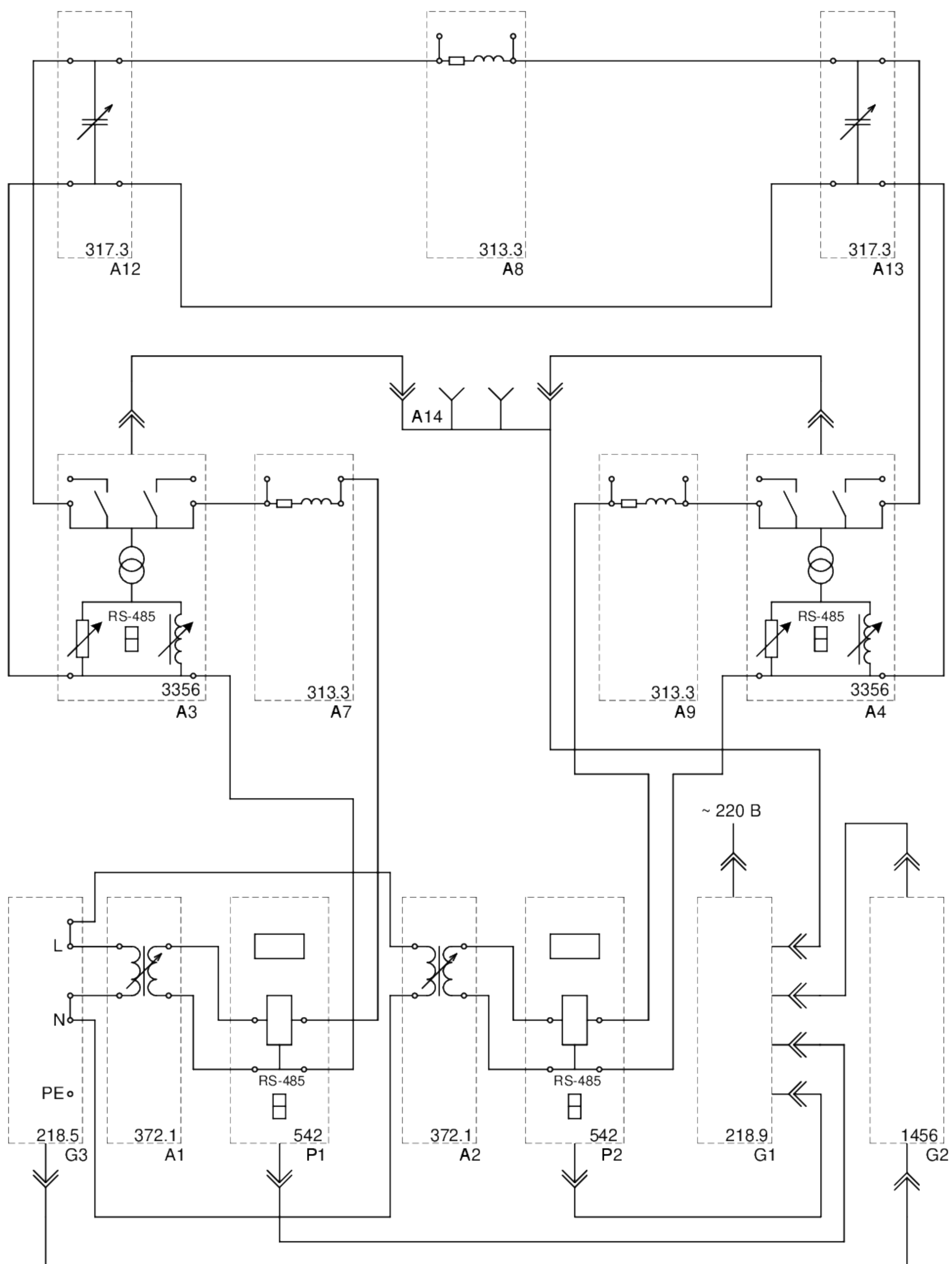


Рисунок 5.2 – Схема для определения оптимальной мощности компенсирующей (кольцевой) районной распределительной электрической сети.

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

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

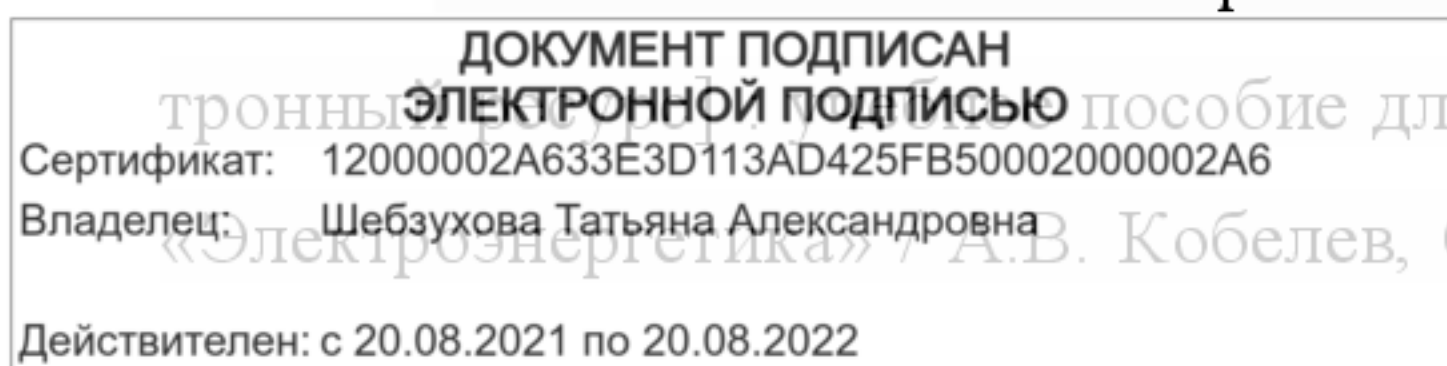
1. Что понимается под компенсирующим устройством? Какие бывают виды компенсирующих устройств?
2. Для чего устанавливают компенсирующие устройства в электрической сети?
3. Как влияет установка компенсирующих устройств на потери мощности и напряжения в узлах сети? Почему?
4. Чем объясняется, что мощность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

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

5.1.1 Перечень основной литературы:

5. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Элек-



тронное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Элек-

трон. 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>

6. 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>

7. 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>

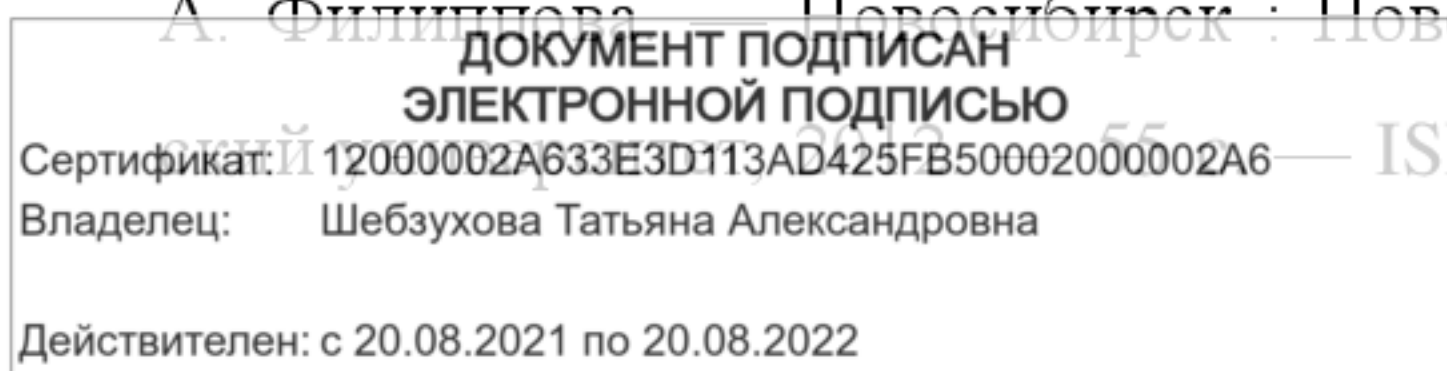
8. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/35574.html>

5.1.2. Перечень дополнительной литературы:

3. 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>

4. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т.

А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный техниче-



ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : элек-

тронный // 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
3. <http://e.lanbooks.com> - Электронно-библиотечная система Лань
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	

Указание по технике безопасности:

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

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

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

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

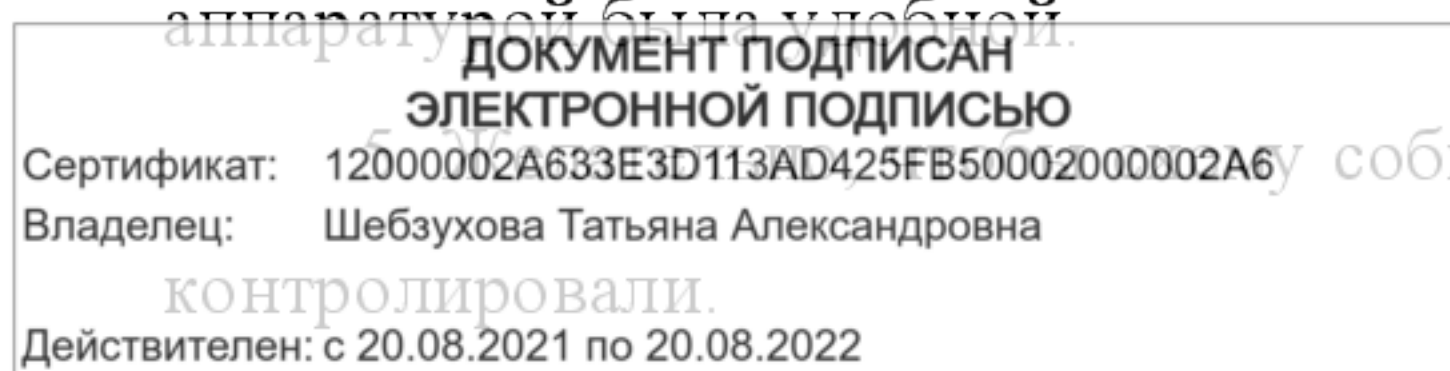
Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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



собирает один из членов бригады, а другие

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

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

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

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

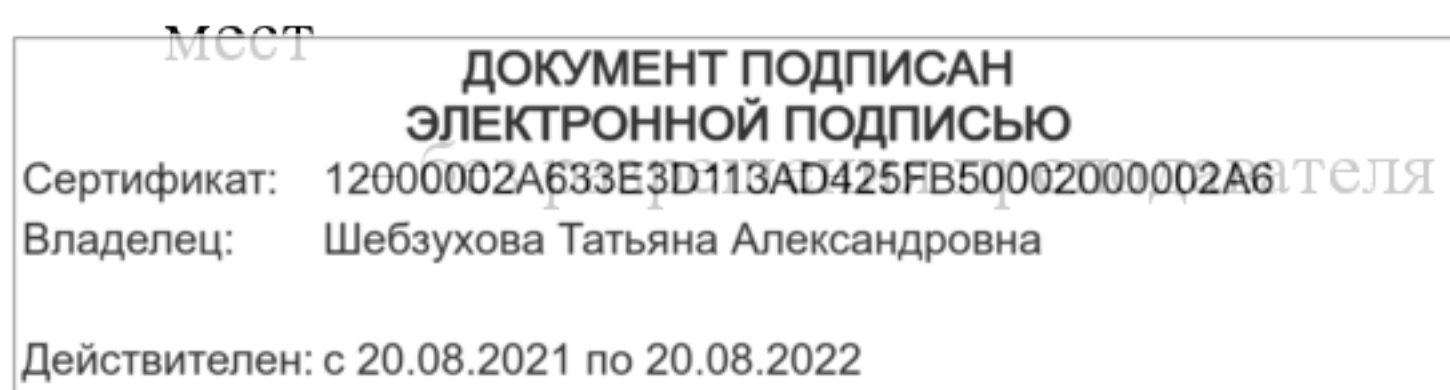
10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

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

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

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих



преподавателя или лаборанта;

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

– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

**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 контрольной работы
по дисциплине «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск

2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Контрольная работа состоит из ответов на два теоретических вопроса по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети» и решения задачи.

Вариант задания выбирается по последней цифре зачетной книжки студента.

Оформление контрольной работы должно соответствовать утверждённой форме.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ

1. Активное погонное сопротивление:

$$r_0 = \frac{\rho}{F}, \text{ Ом/км},$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$;

F – сечение фазного провода (жилы), мм^2 .

Для технического алюминия в зависимости от его марки можно принять

$$\rho = 29,5 - 31,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км},$$

для меди – $\rho = 18,0 - 19,0 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$.

2. Индуктивное погонное сопротивление фазы воздушной линии:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}} + 0,0157, \text{ Ом/км},$$

где $r_{\text{пр}}$ – радиус провода, см;

$D_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между фазами А, В и С, см.

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{\text{AB}} \cdot D_{\text{BC}} \cdot D_{\text{CA}}};$$

$D_{\text{AB}}, D_{\text{BC}}, D_{\text{CA}}$ – расстояние между проводами соответственно фаз А, В, С.

3. Потери мощности на корону:

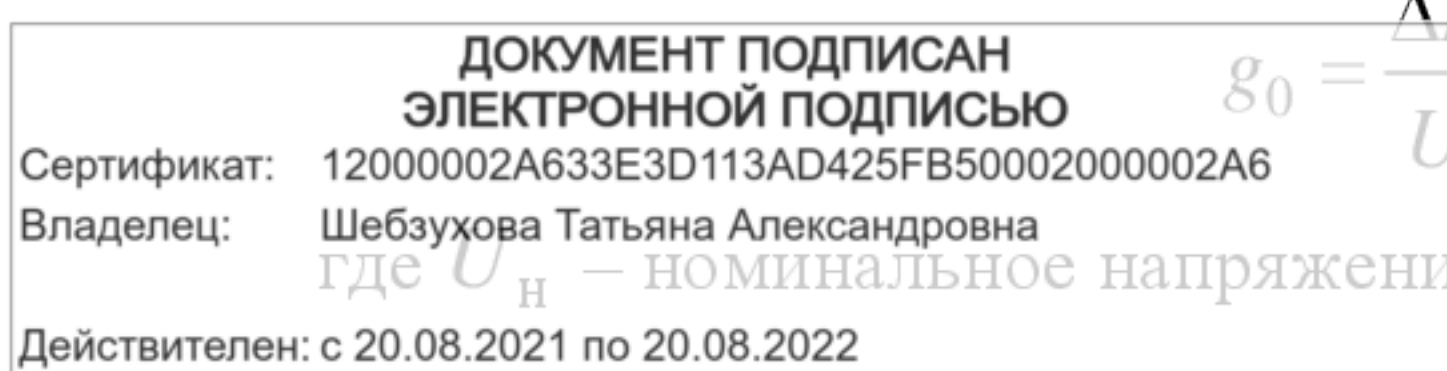
$$\Delta P_{\text{к}} = \Delta P_{\text{к0}} \cdot l,$$

где $\Delta P_{\text{к0}}$ – удельные среднегодовые потери мощности на корону, кВт/км .

4. Удельная активная проводимость линии:

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{к0}}}{U_{\text{н}}^2}, \text{ См/км},$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение ЛЭП в кВ.



5. Удельная емкостная проводимость линии:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}} \cdot 10^{-6}, \text{ См/км}.$$

6. Зарядная мощность линии:

$$Q_c = b_0 \cdot l \cdot U_{\text{н}}^2, \text{ Мвар}.$$

7. Активное сопротивление двухобмоточного трансформатора:

$$R_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} U_{\text{вн}}^2}{S_{\text{н}}^2} \cdot 10^{-3}, \text{ Ом},$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ – потери мощности короткого замыкания, кВт:

$U_{\text{вн}}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора, кВ;

$S_{\text{н}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

8. Индуктивное сопротивление двухобмоточного трансформатора:

$$X_{\text{т}} = \frac{U_{\text{к}} \% U_{\text{вн}}^2}{100 S_{\text{н}}}, \text{ Ом},$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания, %.

9. Потери короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора:

$$\Delta P_{\text{кв}} = 0,5(\Delta P_{\text{кв-с}} + \Delta P_{\text{кв-н}} - \Delta P_{\text{кс-н}});$$

$$\Delta P_{\text{кс}} = 0,5(\Delta P_{\text{кв-с}} + \Delta P_{\text{кс-н}} - \Delta P_{\text{кв-н}});$$

$$\Delta P_{\text{кн}} = 0,5(\Delta P_{\text{кв-н}} + \Delta P_{\text{кс-н}} - \Delta P_{\text{кв-с}}),$$

где $\Delta P_{\text{кв-с}}$, $\Delta P_{\text{кв-н}}$, $\Delta P_{\text{кс-н}}$ – потери короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора, кВт.

10. Напряжение короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора:

$$U_{\text{кв}} = 0,5(U_{\text{кв-с}} + U_{\text{кв-н}} - U_{\text{кс-н}});$$

$$U_{\text{кс}} = 0,5(U_{\text{кв-с}} + U_{\text{кс-н}} - U_{\text{кв-н}});$$

$$U_{\text{кн}} = 0,5(U_{\text{кв-н}} + U_{\text{кс-н}} - U_{\text{кв-с}}),$$

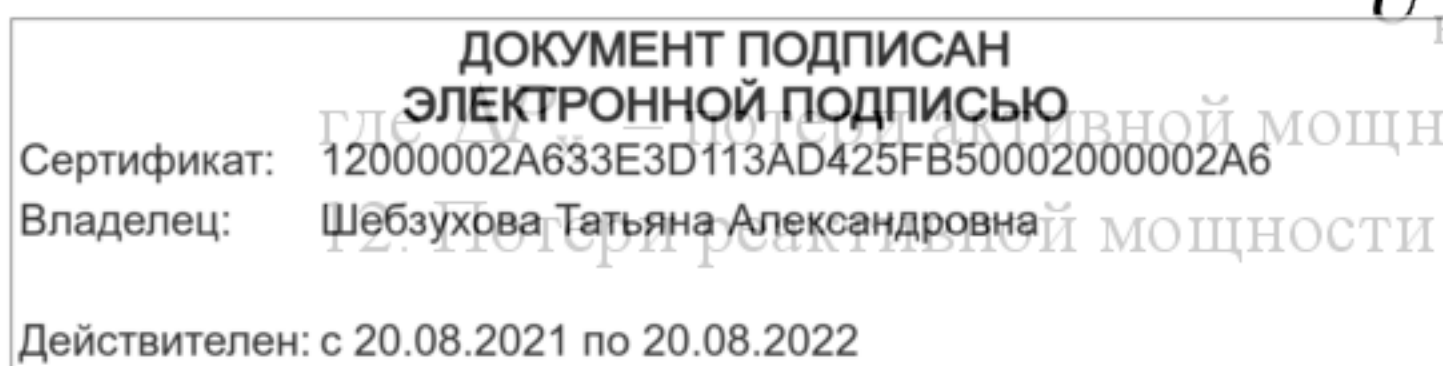
где $U_{\text{кв-с}}$, $U_{\text{кв-н}}$, $U_{\text{кс-н}}$ – напряжения короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора.

11. Активная проводимость трансформатора:

$$G_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{х}}}{U_{\text{вн}}^2} \cdot 10^{-3}, \text{ См},$$

где $\Delta P_{\text{х}}$ – потери активной мощности холостого хода, кВт.

12. Потери реактивной мощности холостого хода в трансформаторе:



$$\Delta Q_x = \frac{I_x \% \cdot S_H}{100}, \text{ квар},$$

где I_x – ток холостого хода %;

S_H – номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

13. Реактивная проводимость трансформатора:

$$B_T = \frac{\Delta Q_x}{U_{BH}^2} \cdot 10^{-3}, \text{ См.}$$

14. Нагрузочные потери активной мощности:

$$\Delta P_H = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = 3I^2 R,$$

где R – активное сопротивление, Ом;

P, Q – активная и реактивная мощности.

15. Нагрузочные потери реактивной мощности:

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

где X – индуктивное сопротивление, Ом.

16. Падение напряжения:

$$\Delta \underline{U} = \Delta U + j\delta U = \frac{PR + QX}{U} + j \frac{PX - QR}{U},$$

где ΔU – продольная составляющая падения напряжения;

δU – поперечная составляющая падения напряжения.

17. Нагрузочные потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_{HT} = \Delta P_K \left(\frac{S}{S_H} \right)^2.$$

18. Нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторе:

$$\Delta Q_{HT} = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_H}.$$

19. Время использования наибольшей полной мощности:

$$T_{H6} = \frac{\sum S_j \cdot \Delta t_j}{S_{H6}},$$

где S_j – мощность нагрузки в j -ом режиме;

Δt_j – продолжительность j -го режима;

S_{H6} – мощность в режиме наибольших нагрузок.

20. Время использование наибольшей активной мощности:

$$T_{H6a} = \frac{\sum P_j \cdot \Delta t_j}{P_{H6}}.$$

21. Потери электроэнергии холостого хода (годовые):

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

$$\Delta W_x = \Delta P_x \cdot 8760.$$

22. Потери электроэнергии по методу графического интегрирования:

$$\Delta W_H = \sum \Delta P_j \cdot \Delta t_j.$$

23. Потери электроэнергии по методу среднеквадратичной мощности:

$$\Delta W_H = \frac{S_{\text{ср.кв}}^2}{U_H^2} R \cdot 8760.$$

24. Среднеквадратичная мощность:

$$S_{\text{ср.кв}} \approx \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \cdot \Delta t_j}{8760}}; S_{\text{ср.кв}} = S_{\text{нб}} (0,12 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4}).$$

25. Потери электроэнергии по методу наибольших потерь:

$$\Delta W_H = \frac{S_{\text{нб}}^2}{U^2} R \cdot \tau.$$

26. Время наибольших потерь:

$$\tau = (0,124 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760,$$

где $T_{\text{нб}}$ – в часах.

27. Энергия:

$$W = P_{\text{нб}} T_{\text{нба}}.$$

28. Мощность на головных участках в линии с двухсторонним питанием:

$$\underline{S}_A = \frac{U_A - U_B}{Z_{AB}} U_H + \frac{\sum \underline{S}_i Z_{iB}}{Z_{AB}};$$

$$\underline{S}_B = \frac{U_B - U_A}{Z_{AB}} U_H + \frac{\sum \underline{S}_i Z_{iB}}{Z_{AB}}.$$

29. Мощность на головном участке в однородной линии с двухсторонним питанием:

$$\underline{S}_A = \frac{\sum \underline{S}_i l_{iB}}{l_{AB}}.$$

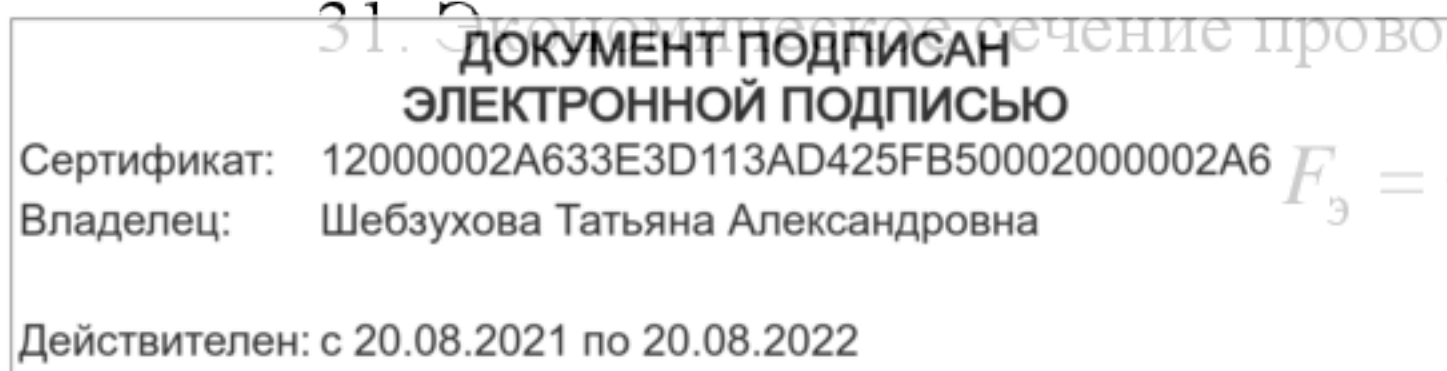
30. Экономическое номинальное напряжение линии:

$$U_{\text{нэ}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P}}}, \text{ кВ},$$

где P – в МВт, l – в км.

31. Экономическое сечение проводников фазы:

$$F_3 = \frac{I_{\text{нб}}}{J_{\text{эк}}}, \text{ мм}^2,$$



где $J_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм^2 .

32. Ток:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}.$$

33. Средневзвешенное время использования наибольшей нагрузки:

$$T_{\text{нб ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{нб}} T_{\text{нб}}}{\sum P_{\text{нб}}}.$$

34. Расчетное сечение линий, соответствующее допустимой потере напряжения:

при постоянном сечении вдоль линии

$$F_{\text{расч}} = \frac{\rho \sum_{i=1}^n P_{i\text{л}} l_{i\text{л}}}{\Delta U_{\text{а доп}} U_{\text{н}}};$$

при одинаковой плотности тока на всех участках линии

$$F_{i\text{л}} = \frac{I_{i\text{л}}}{J_{\Delta U}}; J_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{\text{а доп}}}{\sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^n l_{i\text{л}} \cos \varphi_{i\text{л}}};$$

при минимальном расходе проводникового материала

$$F_{i\text{л}} = k_p \sqrt{P_{i\text{л}}}; k_p = \frac{\rho \sum_{i=1}^n l_{i\text{л}} \sqrt{P_{i\text{л}}}}{\Delta U_{\text{а доп}} U_{\text{н}}},$$

где $\Delta U_{\text{а доп}}$ – допустимая потеря напряжения в активном сопротивлении линии;

$F_{i\text{л}}$ – сечение провода на i -ом участке линии;

$I_{i\text{л}}$ – ток i -го участка;

$P_{i\text{л}}$ – активная мощность i -го участка линии.

Задания для выполнения контрольной работы

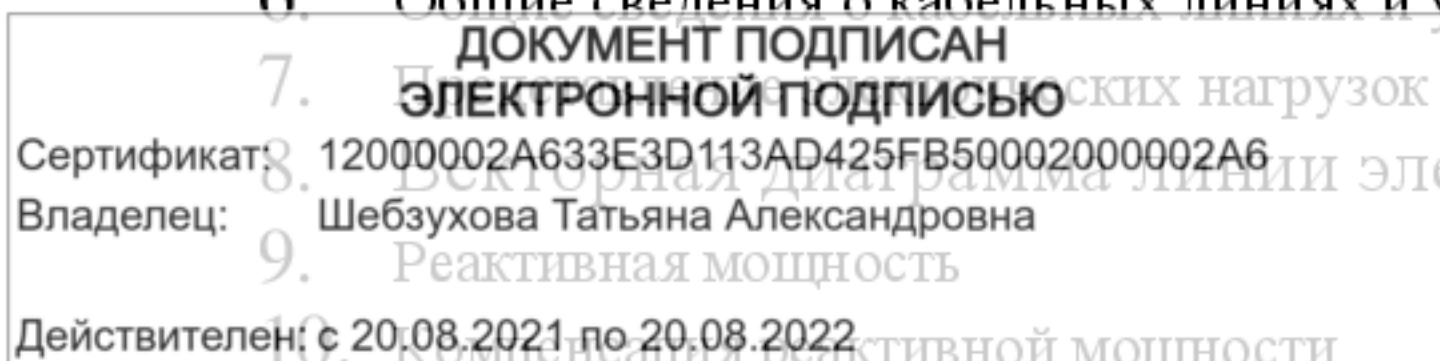
1. Общая характеристика электрических систем и сетей
2. Понижающие и преобразовательные подстанции
3. Передача энергии переменным током на большие расстояния
4. Передача энергии постоянным током на большие расстояния
5. Основные элементы и общая характеристика воздушных линий
6. Общие сведения о кабельных линиях и условиях их работы

7. Расчеты потерь в электрических нагрузках в расчетных схемах

8. Векторная диаграмма линии электропередачи

9. Реактивная мощность

10. Компенсация реактивной мощности



Задание 2

1. Схемы замещения и параметры элементов электрических сетей
2. Параметры и схемы замещения трансформаторов и автотрансформаторов
3. Потери мощности и энергии в элементах электрической сети. Методы расчета. Мероприятия по снижению
4. Векторные диаграммы ЛЭП 35-110 кВ с одной или несколькими нагрузками.
5. Методы преобразования сетей.
6. Баланс мощностей в системе. Статические характеристики нагрузки. Регулирование частоты в системе
7. Показатели качества электрической энергии
8. Общие сведения о кабельных линиях и условиях их работы
9. Представление электрических нагрузок в расчетных схемах
10. Векторная диаграмма линии электропередачи

Указания к выполнению контрольной работы

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

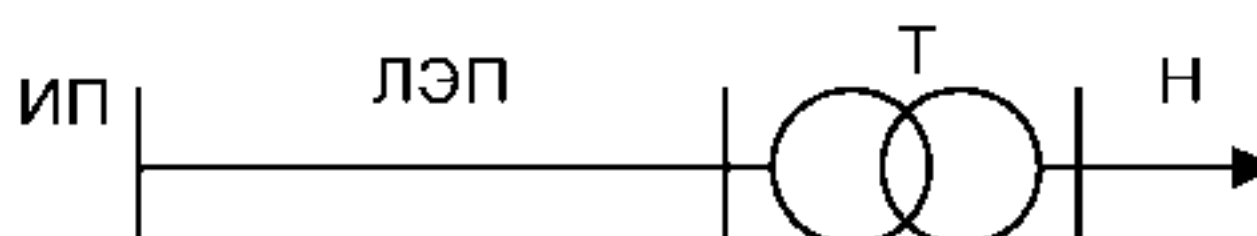


Рис. 1. Схема электрической сети

Исходные данные для расчёта.

Номинальное напряжение электрической сети $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$; номинальное напряжение электроприёмника $U_{\text{п}} = 10 \text{ кВ}$

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

электроприёмники отнесены ко второй катего-

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

Таблица 1

<i>Напряжение источника питания, кВ</i>										
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

<i>Активная мощность электроприёмника, МВт</i>										
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

<i>Коэффициент мощности</i>										
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

<i>Число часов использования наибольшей нагрузки, час</i>										
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

<i>Длина линии электропередач (ЛЭП), км</i>										
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 в соответствии с приведённым ниже алгоритмом.

1. Выбор параметров элементов электрической сети.
 - 1.1. Выбор и проверка сечения проводов линии электропередачи.
 - 1.2. Выбор трансформаторов на подстанции.
 - 1.3. Составление схемы замещения электрической сети и определение её параметров.

Методические указания

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Предварительный расчёт мощности нагрузки

По известным значениям P_{max} и $\cos \varphi$ определяем модуль полной мощности

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

и реактивную мощность

$$Q_{\max} = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\max}^2}.$$

Комплексное значение полной мощности нагрузки в максимальном режиме определяется

выражением $\underline{S}_{\max} = P_{\max} + jQ_{\max}.$

Выбор числа цепей и сечения проводов линий

Число цепей ЛЭП $n_{\text{ц}}$ выбирается в зависимости от величины нагрузки и категории потребителей по надёжности электроснабжения.

Для потребителей первой и второй категории выбираются две цепи ЛЭП.

При выборе сечений проводов используется **метод экономической плотности тока**. Значения экономической плотности тока $j_{\text{эк}}$ приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм, при числе часов использования максимума нагруз-		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные алюминиевые провода	1,3	1,1	1,0

Выбор сечений проводов воздушных линий (ВЛ) по *экономической плотности тока* выполняется следующим образом.

Ток линии в нормальном режиме

$$I_{(5)} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ц}}}.$$

По табл. 6 определяется экономическая плотность тока $j_{\text{эк}}$.

Экономическое сечение проводов фазы проектируемой линии

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{эк}}}.$$

Полученное сечение $F_{\text{эк}}$ округляется до ближайшего стандартного сечения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица 7

Допустимые длительные токи и мощности для неизолированных сталеалюминиевых проводов марок АС, АСК, АСКП, АСКС при температуре воздуха +25 °С

Номинальное сечение, мм ²	Ток, А	
	вне помещений	внутри помещений
35/6,2	175	135
50/8	210	165
70/11	265	210
95/16	330	260
120/19	390	313
120/27	375	-
150/19	450	365
150/24	450	365
150/34	450	-
185/24	520	430
185/29	510	425
185/43	515	-
240/32	605	505
240/39	610	505
240/56	610	-
300/39	710	600
300/48	690	585
300/66	680	-
330/27	730	-
400/22	830	713
400/51	825	705
400/64	860	-
500/27	960	830
500/64	945	815
600/72	1050	920
700/86	1180	1040

Примечание: Обозначение марок проводов ВЛ: проволока: медная (М), алюминиевая марки АТ (А), алюминиевая марки АТп (Ап); стальной сердечник (С); алюминиевый сплав марки АВЕ термообработанный (АЖ), то же нетермообработанный (АН); стальной сердечник изолирован пленкой (К), межпроводочное пространство провода заполнено смазкой (КП), межпроводочное пространство сердечника заполнено смазкой (КС)

Сечения проводов, выбранных по экономическому критерию, проверяются на соответствие ряду технических требований. Окончательный выбор сечения можно сделать только после проверки выполнения этих требований.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Прочность. Сечение провода, выбранное по экономическому критерию, должно соответствовать условию

$$F \geq F_{\text{min мех}}.$$

Минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности $F_{\text{min мех}}$ приведены в табл. 8.

Таблица 8

Минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности

Характеристика ВЛ	Сечение сталеалюминиевых проводов, мм ²
ВЛ без пересечений в районах по гололёду:	
до II	35/6,2
в III-1У	50/8
в V и более	70/11
ВЛ, сооружаемые на двухцепных или многоцепных опорах:	
до 20 кВ	70/11
35 кВ и выше	120/19

Проверка по условиям короны. Проверка сечений проводов по условиям короны выполняется для ВЛ 110 кВ и выше. Выбранное сечение должно соответствовать условию

$$F \geq F_{\text{min кор}}.$$

Минимально допустимые диаметры проводов ВЛ по условиям короны $F_{\text{min кор}}$ приведены в табл. 9.

Таблица 9

Минимально допустимые диаметры проводов ВЛ по условиям короны

Напряжение ВЛ, кВ	Фаза с одиночными проводами
110	11,4 (АС 70/11)
150	15,2 (АС 120/19)
220	21,6 (АС 240/32) 24,0 (АС 300/39)

Проверка по допустимой токовой нагрузке (по нагреву). Сечение провода, выбранное по экономическому критерию, должно быть проверено по условию

$$I_{\text{нб}} < I_{\text{доп}}.$$

где $I_{\text{доп}}$ - допустимый длительный ток для проводника, определяемый по справочнику для выбранного сечения; $I_{\text{нб}}$ - наибольшее значение тока в длительных режимах, под которыми обычно подразумеваются послеаварийные и ремонтные режимы электрической сети.

В двухцепной линии наибольший ток будет протекать при отключении одной из цепей:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$I_{\text{нб}} = \frac{S_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} (n_{\text{л}} - 1)}.$$

Проверка по допустимой потере напряжения. Проверке по потерям напряжения подлежат воздушные линии 35 кВ и выше не подлежат, так как повышение уровня напряжения путём уве-

личения сечения проводов по сравнению с применением на понижающих подстанциях трансформаторов с РПН экономически не оправдано.

Выбор количества и мощности трансформаторов на понижающей подстанции

Для потребителей первой и второй категорий на подстанциях предусматривается установка не менее двух трансформаторов.

В современной практике проектирования при определении расчётной мощности трансформаторов на понижающих подстанциях с установкой двух трансформаторов ($n_T=2$) применяется эмпи-

рическая формула $S_{T\text{расч}} = 0,7 P_{\text{max}}$.

По расчётной мощности трансформатора из справочника выбирается ближайший больший по номинальной мощности понижающий трансформатор.

Составление схемы замещения электропередачи и определение её параметров

Для расчётов режимов электрических сетей 35 кВ и ниже можно использовать упрощённую схему замещения ЛЭП, не содержащую поперечных элементов зарядных мощностей. Тогда схема замещения электрической сети (рис. 1) будет иметь вид схемы на рис. 2.

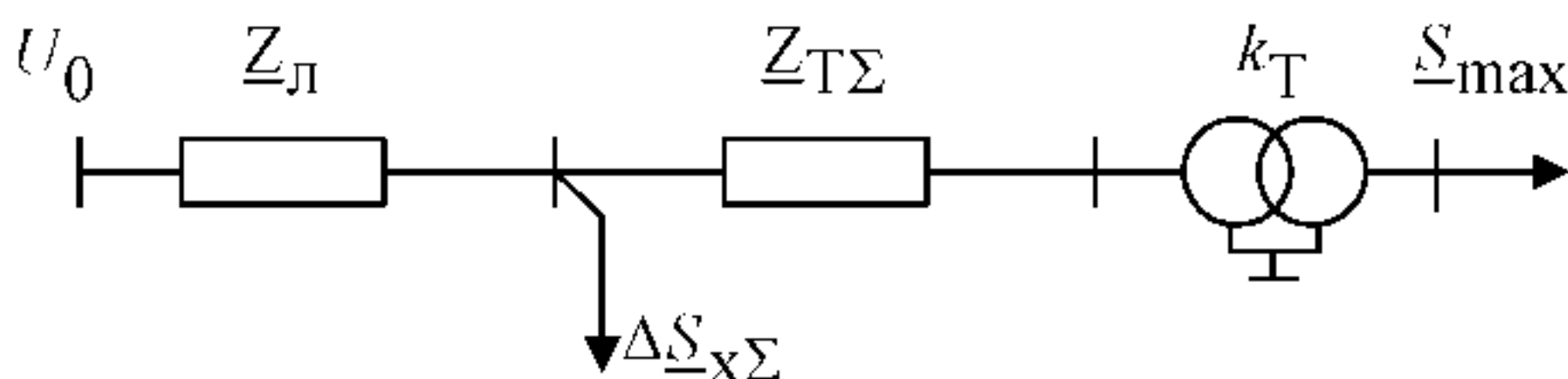


Рис. 2. Схема замещения электрической сети

Определяются параметры схемы замещения. Сопротивление линии

$$Z_{\text{л}} = \frac{L(r_0 + jx_0)}{n_{\text{л}}},$$

где r_0 и x_0 - погонные соответственно активное и реактивное сопротивления проводов ЛЭП, Ом/км.

Суммарное сопротивление трансформаторов на подстанции

$$Z_{T\Sigma} = r_{T\Sigma} + jx_{T\Sigma} = \frac{r_T + jx_T}{n_T}$$

где r_T и x_T - активное и реактивное сопротивление обмоток трансформатора; суммарные потери хо-

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\Delta S_{X\Sigma} = n_T (\Delta P_X + j\Delta Q_X).$$

где ΔP_x и ΔQ_x - активные и реактивные потери холостого хода трансформатора.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы:

9. 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>

10. 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>

11. 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>

12. 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:

5. 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>

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

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям.	
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6	
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна	
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.	
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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
3. <http://e.lanbooks.com> - Электронно-библиотечная система Лань
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 курсового проекта
по дисциплине «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск

2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

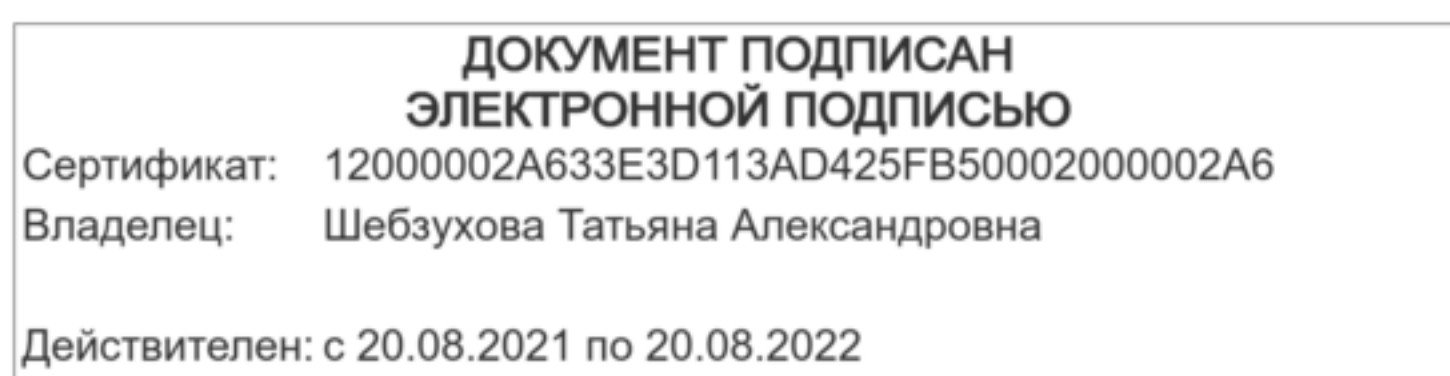
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции	
2.	Задание на курсовое проектирование	
3.	Структура курсового проекта	
3.1	Расчет напряжения электрической сети	
3.2	Выбор и проверка сечений ВЛ	
3.3	Выбор трансформаторов	
3.4	Анализ и обоснование схем электрической сети и понизитель- ных подстанций	
3.5	Технико-экономическое сравнение вариантов электрической сети. Обоснование оптимального варианта	
3.6	Приведение нагрузок узлов к стороне высшего напряжения	
3.7	Расчет установившегося режима электрической сети	
3.8	Расчет напряжений на вторичной обмотке трансформаторов	
3.9	Регулирование напряжения	
3.10	Оценка экономической эффективности электрической сети	
3.11	Расчет конструктивной части ВЛ	
4	Общие требования к написанию и оформлению проекта	
5	Последовательность выполнения задания	
6	Критерии оценивания проекта	
7	Порядок защиты работы	
	Список используемой литературы	
	Приложения	

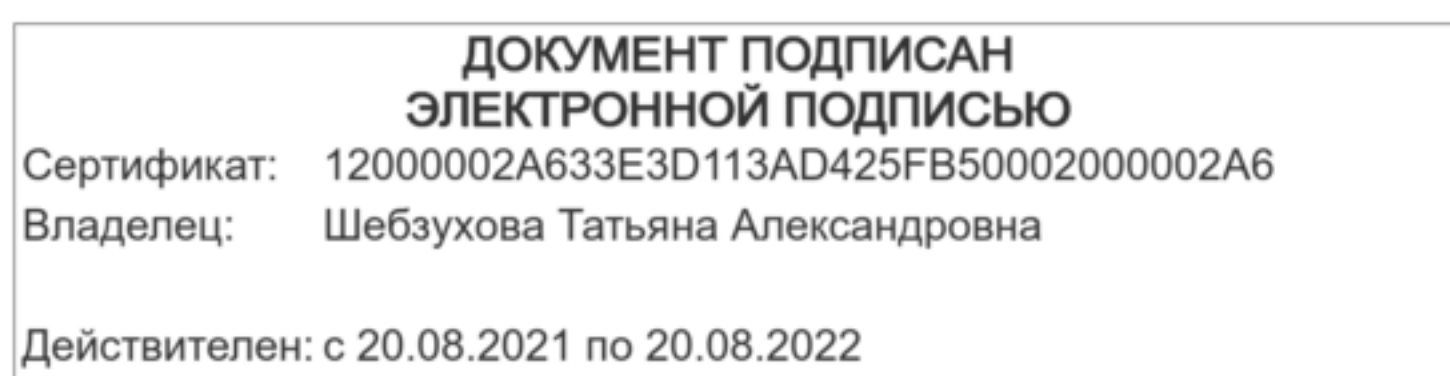


Введение

Курсовое проектирование является одним из важных и перспективных видов учебного процесса, позволяя проявить индивидуальный творческий подход к решению поставленной задачи. В методическом указании рассмотрено проектирование замкнутой районной электрической сети кольцевого типа в одноцепном исполнении для электроснабжения трех узлов нагрузки от центра питания.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» и предназначены для студентов направления подготовки бакалавриата 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

В данном методическом указании освещены основные вопросы, связанные с проектированием электрических сетей: выбор рационального варианта схемы сети и параметров ее элементов (линий электропередачи и понижающих подстанций) для электроснабжения трех пунктов потребления электроэнергии; анализ характерных установившихся режимов работы спроектированной сети; определение основных технико-экономических показателей спроектированной сети.



Цель, задачи и реализуемые компетенции

Целью работы является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в результате изучения дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» и смежных с ней, а также получение навыков технико-экономических расчетов.

Системой курсовых работ (проектов) студент подготавливается к выполнению выпускной квалификационной работы.

В процессе выполнения курсового проекта студентом должны решаться следующие *задачи*:

- приобретение новых теоретических знаний в соответствии с темой работы и заданием руководителя;
- умение систематизировать, обобщать и логично излагать концепции, альтернативные точки зрения по исследуемой проблеме;
- развитие учебно-исследовательских и методических навыков, необходимых для системного научного анализа изучаемого явления;
- совершенствование профессиональной подготовки.

Задачами проектирования электроэнергетических систем является разработка и технико-экономическое обоснование решений по формированию целесообразного комплекса электрических станций, линий электропередачи и понижающих подстанций, обеспечивающих требуемый уровень надежности электроснабжения всех потребителей рассматриваемого района качественной электроэнергией с наименьшими затратами.

В результате освоения дисциплины у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ИД-1 ПК-1 Способен участвовать в проектных расчетах систем	ИД-2 ПК-1 Выбирает типовые проектные решения систем	Знает схемы и основное оборудование электрических систем

троснабжения	электроснабжения	ских 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
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов	ИД-1 _{ПК-2} Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения	Умеет обосновывать технические решения при разработке схем распределения и передачи электрической энергии. Владеет навыками расчета параметров электрооборудования систем электроснабжения
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения	Знает технические и экономические расчеты, современные аналитические методы комплексного инженерного анализа. Владеет навыками технико-экономических расчетов режимов работы систем электроснабжения.

Задание на курсовое проектирование

Тематика курсовых проектов должна быть актуальной, отвечать учебным задачам дисциплины, а также потребностям науки и практики. Актуальность тематики курсовых проектов обусловлена научностью, современно-

студентами навыков самостоятельной

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Темы курсовых проектов должны быть комплексными, т.е. содержать ряд взаимосвязанных между собой проблем и опираться на фактический материал профильных предприятий и учреждений, а также на итоги учебной и производственной практики студентов, на научные работы членов кафедры, студенческих научных кружков и проблемных групп; использовать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки, актуальные прикладные аспекты.

№ вар.	P_{1H}	P_{2H}	P_{3H}	Q_{1H}	Q_{2H}	Q_{3H}	$T, \text{ час}$	$L_1, \text{ км}$	$L_2, \text{ км}$	$L_3, \text{ км}$	$L_4, \text{ км}$	γ_p	$\Theta_{\min} \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Theta_{\max} \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Theta_{\text{ср}} \text{ } ^\circ\text{C}$

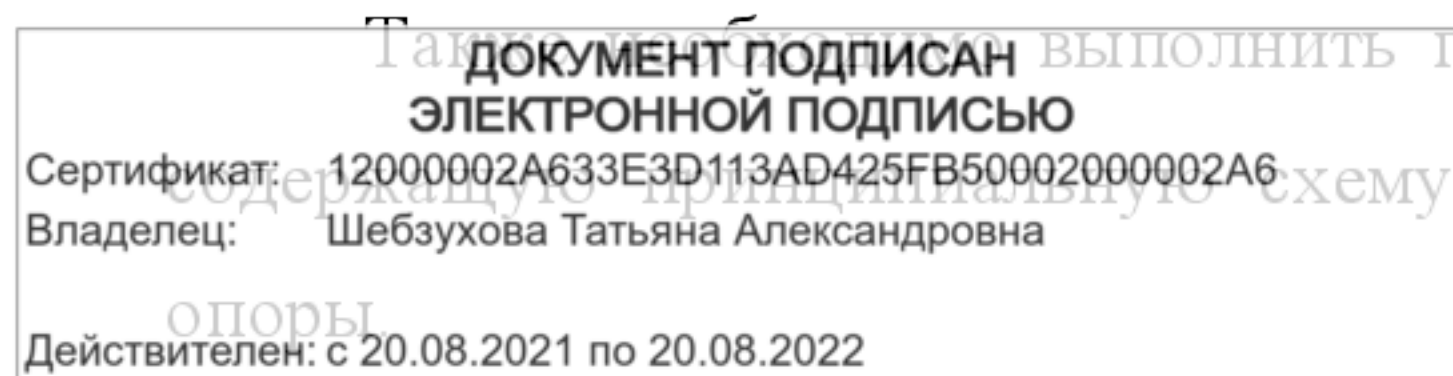
Основные содержательные и процессуальные аспекты, необходимые для выполнения проекта, оформляются кафедрой в заданиях по курсовому проектированию. В заданиях необходимо четко сформулировать тему проекта и требования, определяющие ее объем, содержание, а также исходные данные.

В общих чертах задания к каждому разделу курсовой работы можно представить следующим образом:

В данном курсовом проекте требуется спроектировать замкнутую районную электрическую сеть кольцевого типа в одноцепном исполнении для электроснабжения трех узлов нагрузки S_{H1} , S_{H2} и S_{H3} от центра питания (ЦП). Данные для проектирования электрической сети приведены ниже в таблице.

В ходе выполнения курсового проекта необходимо выбрать номинальное напряжение электрической сети, провода высоковольтных линий, тип трансформаторов на узловых подстанциях сети.

Произвести расчет установившегося режима электрической сети и оценку экономической эффективности электрической сети, а также выполнить расчёт конструктивной части ВЛ.



графическую часть курсового проекта, чертёж промежуточной одноцепной

Структура выполнения курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из введения, теоретической части, эмпирической (практической, расчетно-графической) части, заключения, списка литературы и приложения.

Структура курсового проекта состоит из следующих обязательных элементов:

1. *Титульный лист* оформляется в соответствии с *Приложением 5*.
2. *Задание на курсовой проект* Приложение 4
3. *Содержание*
4. *Введение*
5. *Часть 1* – Теоретическая

Теоретическая часть должна содержать анализ состояния изучаемой проблемы на основе обзора научной, научно-информационной, справочной литературы. Представленный материал должен быть логически связан с целью исследования. В параграфах теоретической части необходимо отражать отдельные компоненты проблемы и завершать их выводами.

6. *Часть 2* – Проектная
 - Расчет напряжения электрической сети
 - Выбор и проверка сечений ВЛ
 - Выбор трансформаторов
 - Анализ и обоснование схем электрической сети и понизительных подстанций
 - Технико-экономическое сравнение вариантов электрической сети. Обоснование оптимального варианта
 - Приведение нагрузок узлов к стороне высшего напряжения
 - Расчет установившегося режима электрической сети

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

– Регулирование напряжения на вторичной обмотке трансформаторов

- Оценка экономической эффективности электрической сети
- Расчет конструктивной части ВЛ

Графическая часть выполняется на 2-х листах формата А1 в соответствии с требованиями ГОСТа и ЕСКД:

- Чертёж промежуточной одноцепной опоры
- Однолинейная электрическая схема сети

Список использованных источников и литературы

Список использованных источников и литературы должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТа к оформлению библиографии

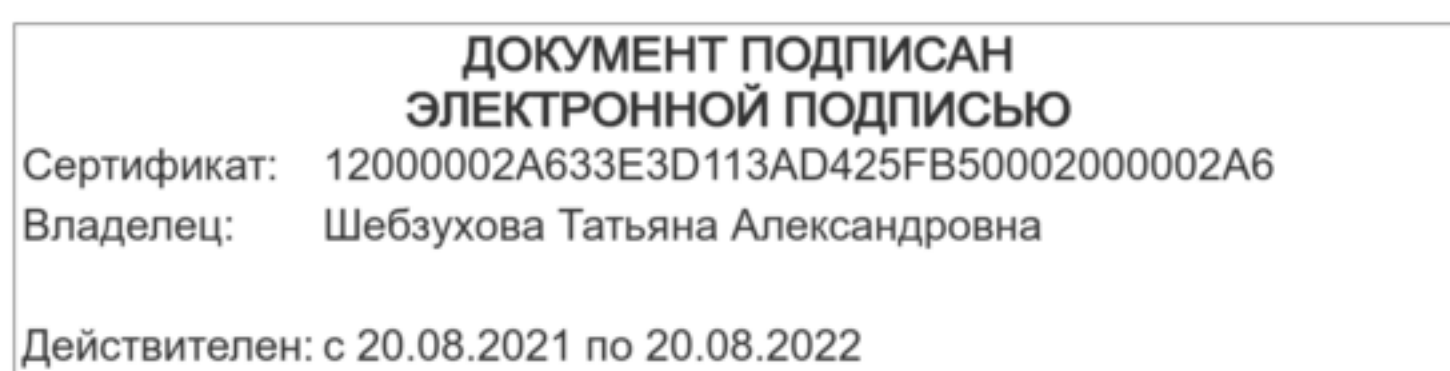
Приложения

Приложение содержит весь фактический материал экспериментальных исследований (схемы, чертежи).

Каждое приложение надо начинать с новой страницы. Приложения имеют общую с остальной частью работы сквозную нумерацию страниц.

Заголовок «Приложение» пишется в верхнем правом углу. Все приложения нумеруются, например: Приложение 2. Если приложение одно, то его не нумеруют.

Если Приложение имеет заголовок, который пишется посередине с прописной буквы отдельной строкой.



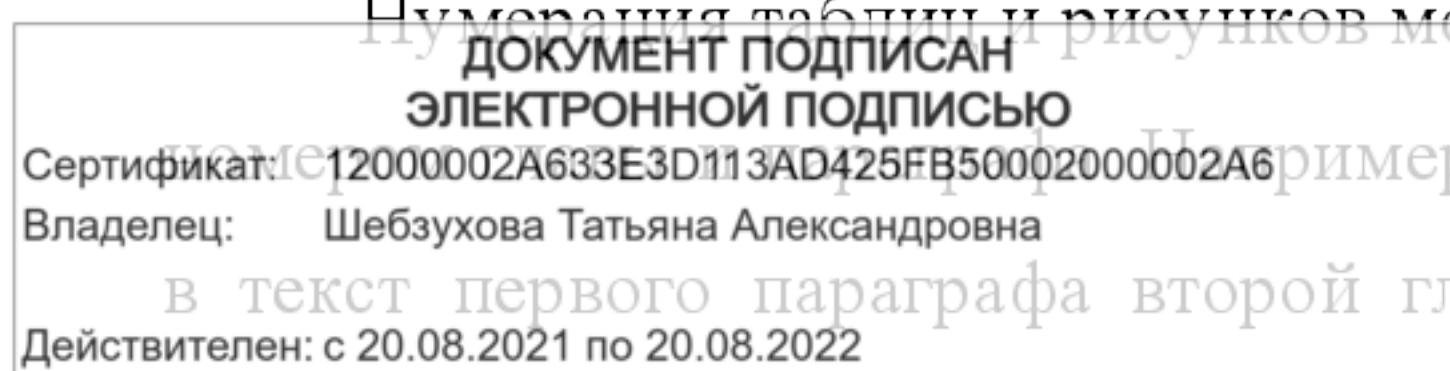
Общие требования к написанию и оформлению проекта

Курсовой проект рекомендуется представлять в объеме 30-40 листов. Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А-4). Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков четкими, без ореола и затенения. Шрифт Times New Roman, кегель 14. Названия глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом. Лист с текстом должен иметь поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу 20 мм.

Нумерация страниц текста делается в правом нижнем углу листа. Проставлять номер страницы необходимо со страницы, где печатается «Введение», на которой ставится цифра «4». После этого нумеруются все страницы, включая приложения.

Между названием главы и названием параграфа этой главы ставится пробел равный двум интервалам, а название параграфа не должно отделяться от текста этого параграфа пробелом. Названия параграфов отделяются от текста предыдущего параграфа пробелом, равным двум интервалам. Каждая глава, а также введение, выводы, приложения и список использованной литературы начинаются с новой страницы. Главы имеют порядковые номера в пределах всей работы, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1, 2, 3), после которых ставится точка. Слово «параграф» или значок параграфа в названии не ставятся. Параграфы имеют порядковые номера в пределах глав, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1.1. и 1.2.). Заголовки глав и параграфов в тексте работы должны располагаться по центру, точку в конце названия главы и параграфа не ставят. Не допускается переносить часть слова в заголовке.

Нумерация таблиц и рисунков может быть сквозной или соотноситься с номером главы, к которой относятся. Например, если таблица или рисунок включены в текст первого параграфа второй главы, нумерация следующая: Таблица



2.1.1., рис. 2.1.1. Последняя цифра означает порядковый номер таблицы (или рисунка) в данном параграфе. Таблица помещается в качестве следующей страницы после первого упоминания о ней в тексте (см. рис. 2.1.1).

Образец оформления формулы и уравнения

$$S = ab, \quad (2.1.1)$$

где S – площадь прямоугольника, м²;

a и b – длины сторон прямоугольника, м.

Образец оформления таблиц

Таблица 2.1.1

Историко-культурные объекты региона

Вид памятника	Федерально- го значения	Местного значения	Вновь выяв- лено	Всего
Архитектурные	15	328	812	1155
Археологии	3	144	183	330
Истории	9	220	66	295
Искусства	1	49	6	66
Садово-парковые	-	17	-	17
Итого	28	758	1067	1853

При переносе таблицы на другую страницу ее графы должны быть выделены отдельной строкой и пронумерованы. Над продолжением пишут «Продолжение таблицы ...», «Окончание таблицы ...». Нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую первую часть таблицы, не проводят.

Например:

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

Таблица 2.1.1

Количество туристов проживающих в гостинице «Нева» в мае

456		566		
567		678		

Окончание таблицы 2.1.1

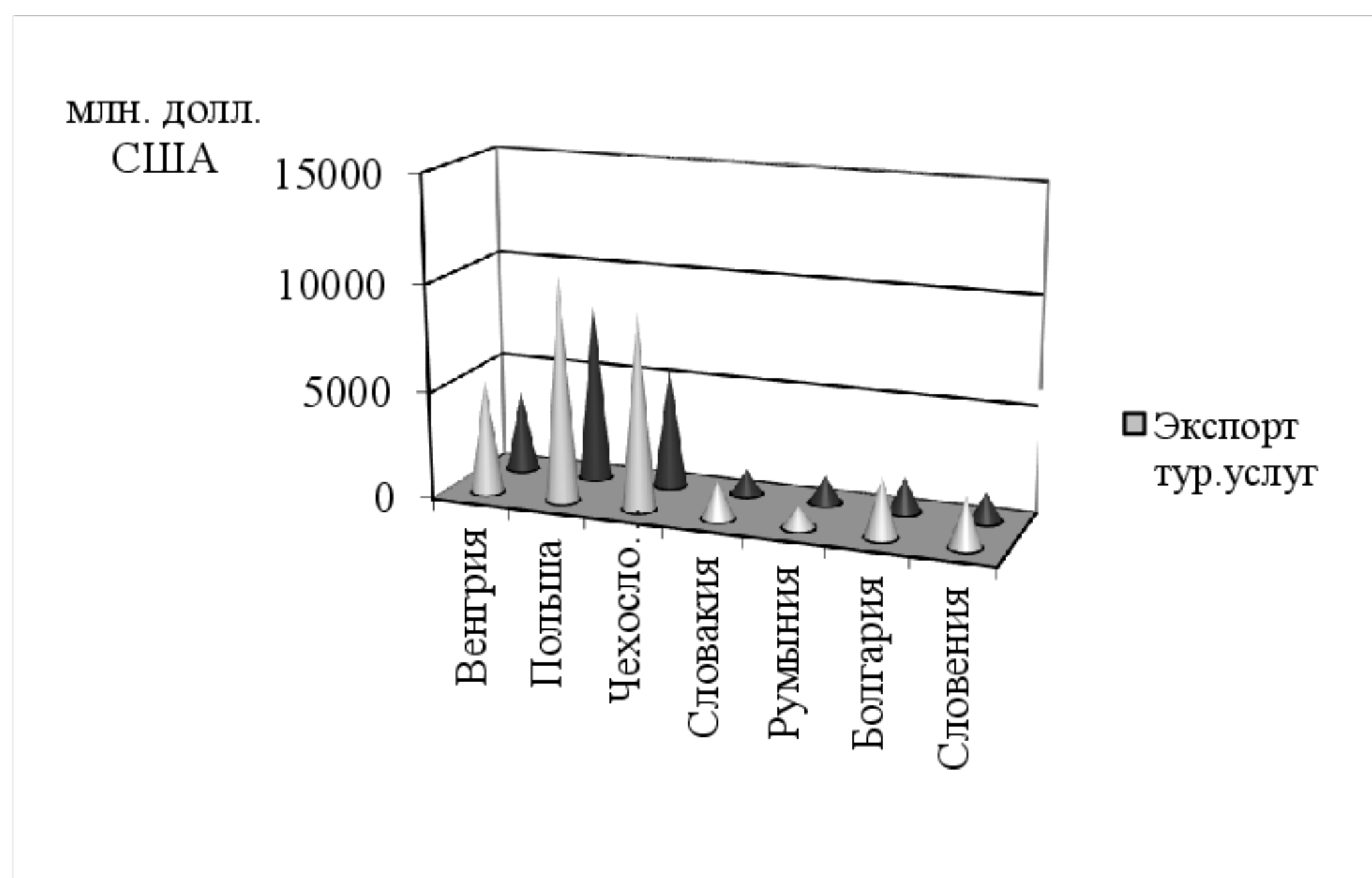
Образец оформления рисунков

Рис. 2.1.1 Экспорт и импорт туристических услуг в 2014, млн.руб.

Оформление ссылок

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

нужно писать порядковый номер источника в списке использованных источников. Порядковый номер источника

заключается в квадратную скобку. Если ссылаетесь на конкретную страницу данного источника, то эта страница тоже указывается. Например: [9], [9, с. 123].

Сноски оформляются внизу страницы, на которой расположен текст примечания. Для этого в конце текста примечания ставится звездочка (*) или цифра (¹), которая обозначает порядковый номер примечания. Например:

¹Федоров Г.М. Социально-экономическое развитие Калининградской области: учебное пособие. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2016. С. 25.

Если на одной и той же странице цитируется одна и та же книга, во второй сноске можно не повторять полностью ее название;

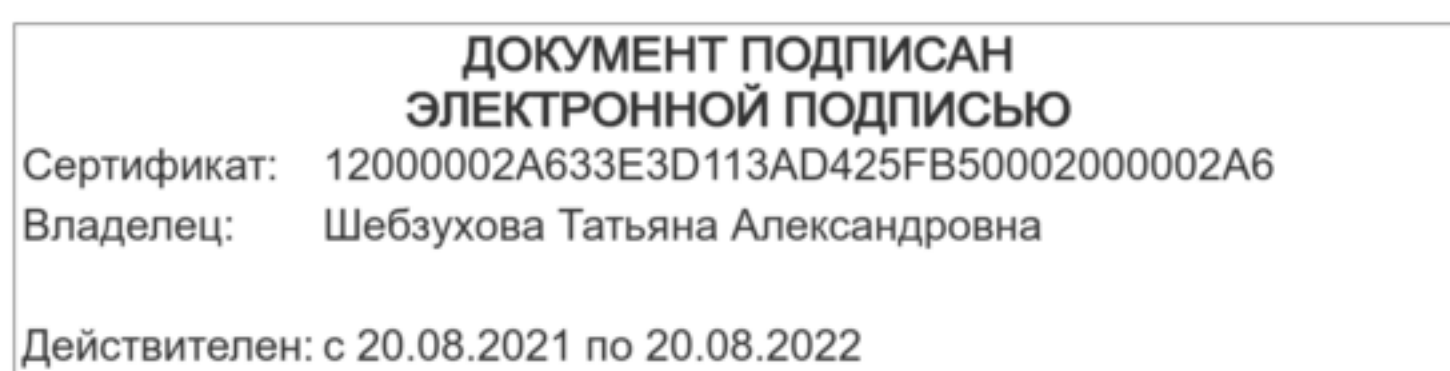
¹ Там же. С. 34.

Если та же книга цитируется на других страницах курсовой работы, то указывается ее автор, а вместо названия пишется «Указ. соч.». Например:

¹Федоров Г.М. Указ. соч. С. 5.

Графическая часть проекта выполняется на компьютере на стандартном листе чертежной бумага формата А1 и должна содержать:

- принципиальная электрическая схема проектируемой сети (А1);
- промежуточная одноцепная опора (А1);



Последовательность выполнения задания

Руководство курсовыми проектами начинается с выдачи задания студентам. В этот период необходимым условием, обеспечивающим эффективность дальнейшего руководства, является индивидуальная беседа руководителя со студентом по заданию. В ходе беседы руководитель должен выяснить степень подготовленности студента к выполнению данного задания, рекомендовать необходимую литературу и информировать о порядке выполнения задания.

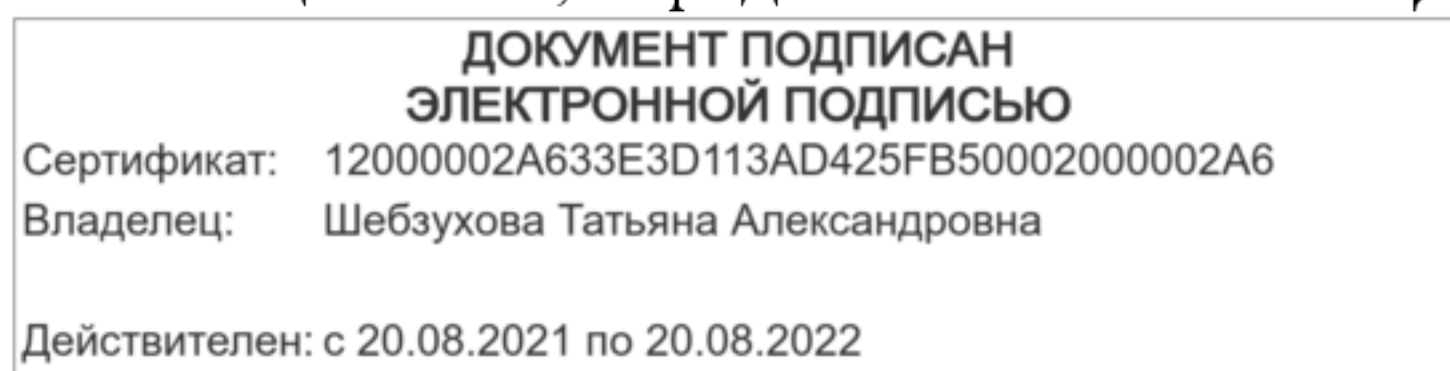
Одной из важных форм руководства является предварительный просмотр выполненного курсового проекта. После проверки руководителем выполнения одного этапа работы студенту (в случае положительного заключения) разрешается перейти к следующему этапу.

В целом последовательность выполнения курсового проекта можно представить в виде следующих этапов работы:

- первый этап (1-2 неделя) - составление плана работы и календарного плана работы на весь период;
- второй этап (3-4 неделя) - систематическая работа над литературой: сбор и анализ материала по рассматриваемой теме;
- на третьем этапе (5-16 недели) – работа над основной частью курсового проекта, которая содержит теоретическую и проектную части;
- на четвертом этапе (17-18 недели) – оформление и предоставление проекта на кафедру.

Расчет напряжения электрической сети

Номинальное напряжение линии определяется ее длиной и активной мощностью, передаваемой по линии. Длины линий известны.



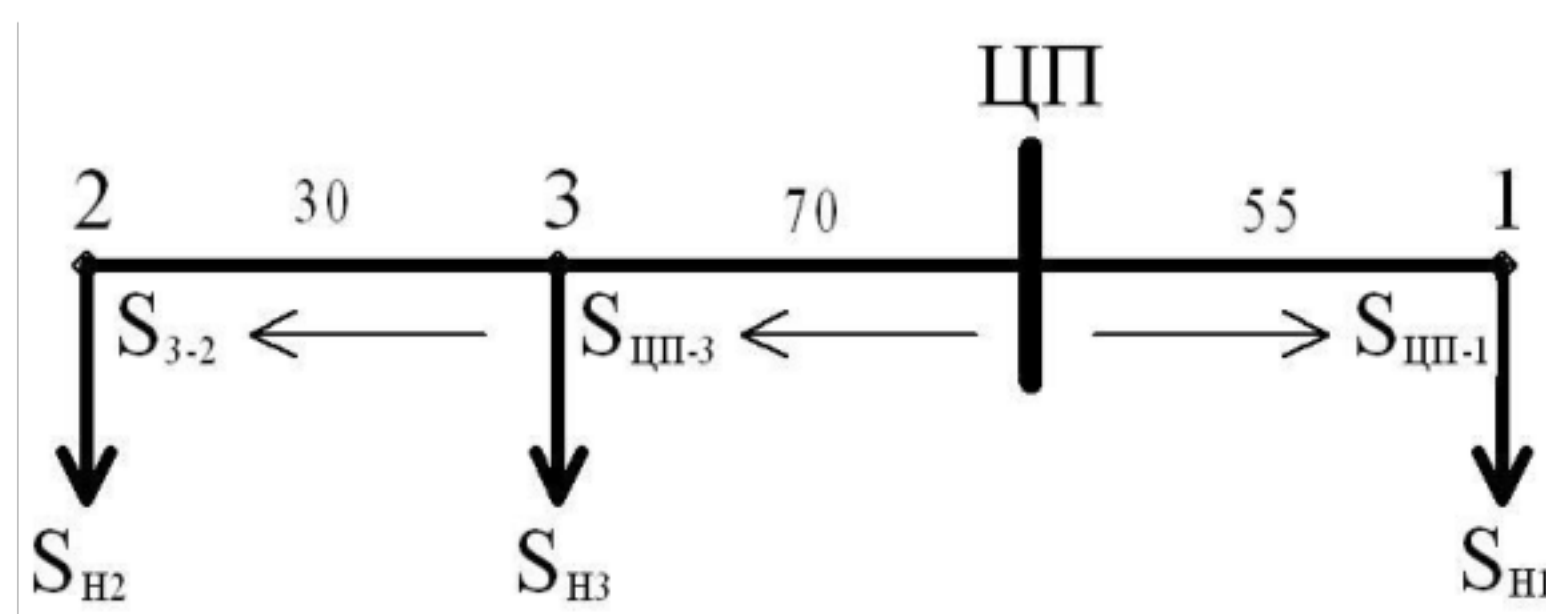


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема разомкнутой сети

Мощности, протекающие по участкам сети составляют:

$$S_{ЦП-1} = S_{H1};$$

$$S_{3-2} = S_{H2};$$

$$S_{ЦП-3} = S_{H3} + S_{H2}.$$

Приведем расчет замкнутой электрической сети (рис. 2.2). Определим предварительное потокораспределение в сети. Представим кольцевую схему сетью с двухсторонним питанием от источников А и В и зададимся произвольно направлениями мощностей в линиях (рис. 2.1).

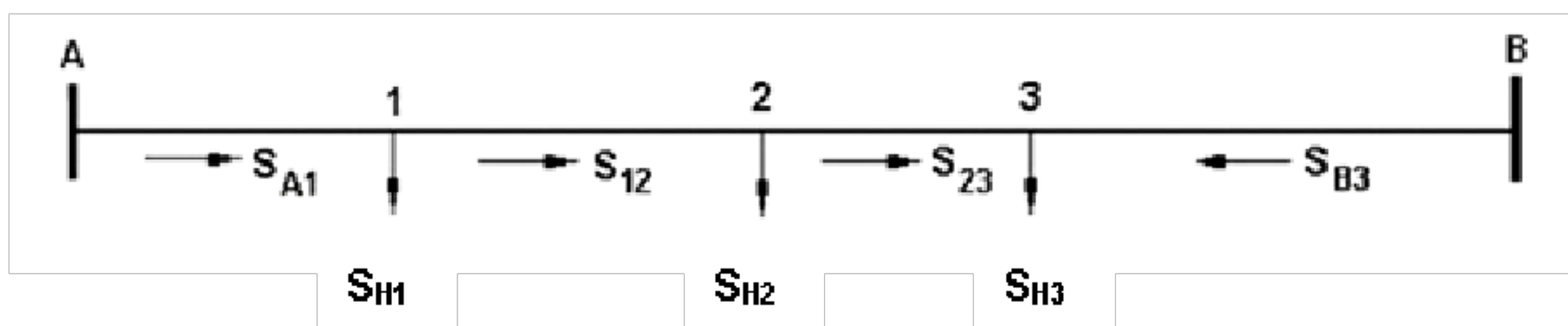
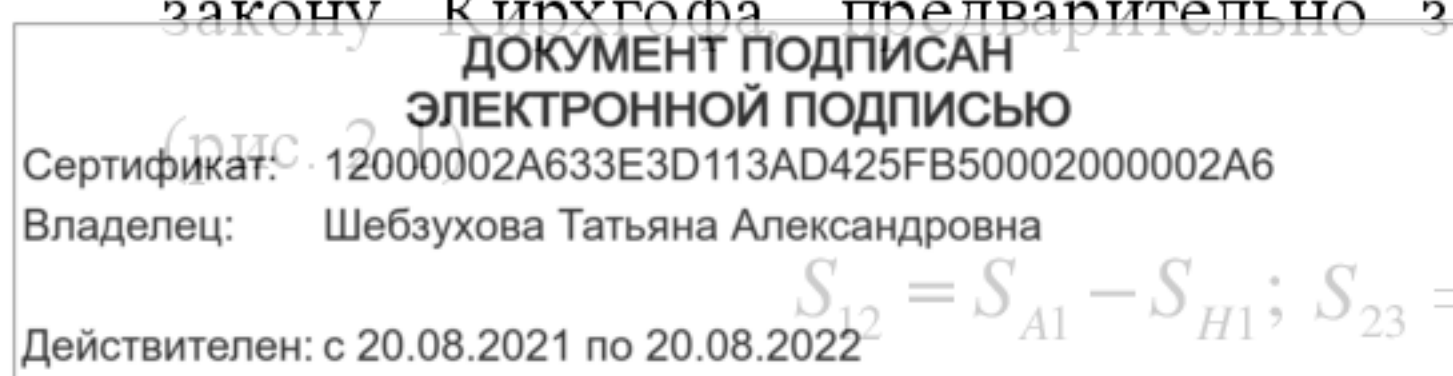


Рисунок 2.2 – Представление принципиальной схемы сети кольцевого типа сетью с двухсторонним питанием

Мощность, протекающая по головному участку А1, составляет:

$$S_{A1} = \sum_{i=1}^3 P_i L_{iB} / L_{AB} + j \sum_{i=1}^3 Q_i L_{iB} / L_{AB}$$

Мощности остальных участков электрической сети найдем по первому закону Кирхгофа, предварительно задавшись направлениями мощностей



$$S_{12} = S_{A1} - S_{H1}; S_{23} = S_{12} - S_{H2}; S_{B3} = S_{23} + S_{H3}.$$

Для выбора напряжения электрической сети воспользуемся формулой Залесского, Стилла и Илларионова Напряжение участка сети А1 составляет:

– формула Залесского

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

– формула Стилла

$$U_{номА1} = 4,34 \sqrt{L + 0,016P}$$

– формула Илларионова

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

Аналогично рассчитываются напряжения для других участков сети. Данные сводятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Участок сети	По формуле Залесского	По формуле Стилла	По формуле Илларионова
$U_{цп-1}, кВ$			
$U_{3-2}, кВ$			
$U_{цп-3}, кВ$			

Далее, согласно вычисленным значениям напряжения участков проектируемой сети следует принять номинальное напряжение из ряда 110, 220 кВ.

Выбор и проверка сечений ВЛ

Выбор сечений проводов ВЛ выполним по экономической плотности тока $j_э$. Для этого определим полную мощность и ток, протекающие по каждой линии в нормальном режиме работы сети.

Полная мощность и ток линии в линии А1 составляют

$$S_{A1} = \sqrt{P_{A1}^2 + Q_{A1}^2}$$
$$I_{A1} = S_{A1} \cdot 10^3 / \sqrt{3} U_{ном}$$

Соответственно мощность для других линий электрической сети будет определяться аналогично.

В соответствии с *приложением П1 табл. П1.1* и T_{max} выбирается экономическая плотность тока J_H . Экономические сечения каждой ВЛ составляют:

$$F_{A1} = I_{A1} / j_H$$

Полученные сечения округляем до ближайших стандартных сечений из ряда 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 330, 400, 500 и принимаем для ВЛ сталеалюминевые провода соответствующих марок.

Выполним проверку выбранных сечений по техническим ограничениям приложение П1 табл. П1.2 и П1.3.

Согласно приложению П1 табл. П1.4 определяются допустимые длительные токи для выбранных сечений проводов

Для проверки выбранных сечений по допустимому нагреву рассмотрим два расчетных режима:

- аварийное отключение головного участка А1;
- аварийное отключение головного участка В3.

При отключении участка А1 полные мощности и токи, протекающие по

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

$$S_{B3} = S_{H1} + S_{H2} + S_{H3}; S_{32} = S_{H1} + S_{H2}; S_{21} = S_{H1}$$

$$I_{B3} = S_{A3} 10^3 / \sqrt{3} U_{НОМ} \text{ должен быть } < I_d;$$

$$I_{32} < I_d; I_{21} < I_d.$$

При отключении головного участка ВЗ полные мощности и токи, протекающие по оставшимся в работе линиям, составляют

$$S_{A1} = S_{H1} + S_{H2} + S_{H3}; S_{12} = S_{H2} + S_{H3}; S_{23} = S_{H3}$$

$$I_{A1} < I_d; I_{12} < I_d; I_{23} < I_{\text{д}}.$$

Все выбранные сечения должны удовлетворять условию допустимого нагрева длительным током. Параметры ВЛ с проводами выбранных сечений заносятся в табл. 3.1. как для разомкнутой, так и для замкнутой сети

Таблица 3.1

Линия	Провод	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$, См	L , км	R , Ом	x , Ом	$B \cdot 10^{-6}$, См	Q_c , Мвар

Выбор сечений ВЛ производим по нормальному режиму работы сети, а проверяем их по аварийному. Выбранные сечения проходят по допустимому току. Полученные сечения округляем до ближайших стандартных сечений и принимаем для ВЛ сталеалюминевые провода соответствующих марок.

Выполним проверку выбранных сечений по техническим ограничениям. В зависимости от района по гололеду проверяется условие механической прочности. Для района по гололеду II категории минимально допустимое сечение проводов на опорах $F_{\min} = 35 \text{ мм}^2$ [6]. Для высоковольтных линий напряжением 110 кВ минимально допустимое сечение проводов $F_{\min} = 70 \text{ мм}^2$ [6]. Все выбранные провода проходят по данному условию.

Параметры r_0 , x_0 , и b_0 приняты в соответствии со справочными данными П1 табл. П1.5 и П1.6. Параметры R , X , B и Q_c рассчитаны по выражениям

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$R = r_0 L; X = x_0 L;$

$B = b_0 L; Q_c = U_{НОМ}^2 B.$

Выбор трансформаторов

В соответствии с исходными данными в состав нагрузок S_{H1} , S_{H2} , S_{H3} входят потребители всех категорий по надежности электроснабжения. Поэтому на каждой подстанции принимаются к установке 2 трансформатора. Мощность трансформаторов на подстанциях выбирается по аварийному режиму (один трансформатор отключен, другой берет всю нагрузку) с учетом допустимой перегрузки $k_{\Sigma} = 1,5$ для трансформаторов средней мощности

$$S_{\text{т ном}} \geq S_{\text{H}} / 1,5.$$

Тип трансформаторов выбирается из приложения П2 табл. П2.1-П2.6. В таблицу 4.1 заносятся все параметры трансформатора.

Таблица 4.1

Трансформатор	$S_{\text{Т ном}},$ кВА	$U_{\text{ВН}},$ кВ	$U_{\text{НН}},$ кВ	$\Delta P_x,$ кВт	$\Delta P_k,$ кВт	$u_k,$ %	$I_x,$ %	$\Delta Q_x,$ квар	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом

Параметры $S_{\text{Т ном}}, U_{\text{ВН}}, U_{\text{НН}}, \Delta P_x, \Delta P_k, u_k,$ и I_x приняты в соответствии со справочными данными. Остальные параметры трансформаторов рассчитаны по следующим выражениям:

$$R_T = \Delta P_k U_{\text{ВН}}^2 10^3 / S_{\text{Т ном}}^2,$$

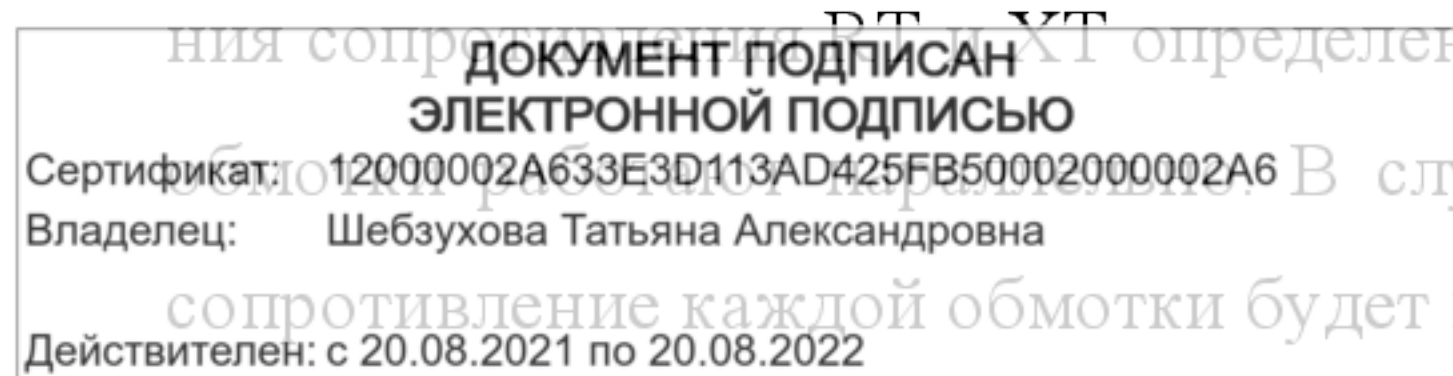
$$X_T = u_k \% U_{\text{ВН}}^2 10^3 / 100 S_{\text{Т ном}},$$

$$\Delta Q_x = I_x \% S_{\text{Т ном}}.$$

Примечание.

Для трансформатора с расщепленными обмотками низшего напряже-

ния сопротивление R_T и X_T определены для случая, когда эти расщепленные обмотки работают параллельно. В случае раздельной работы этих обмоток сопротивление каждой обмотки будет в 2 раза больше.



$$R'_T = R''_T = 2R_T, \quad X''_T = X'_T = 2X_T.$$

После выбора номинального напряжения сети, сечений проводов воздушных линий и трансформаторов на подстанциях принципиальная схема электрической сети должна иметь вид (пример), показанный на рис. 4.1

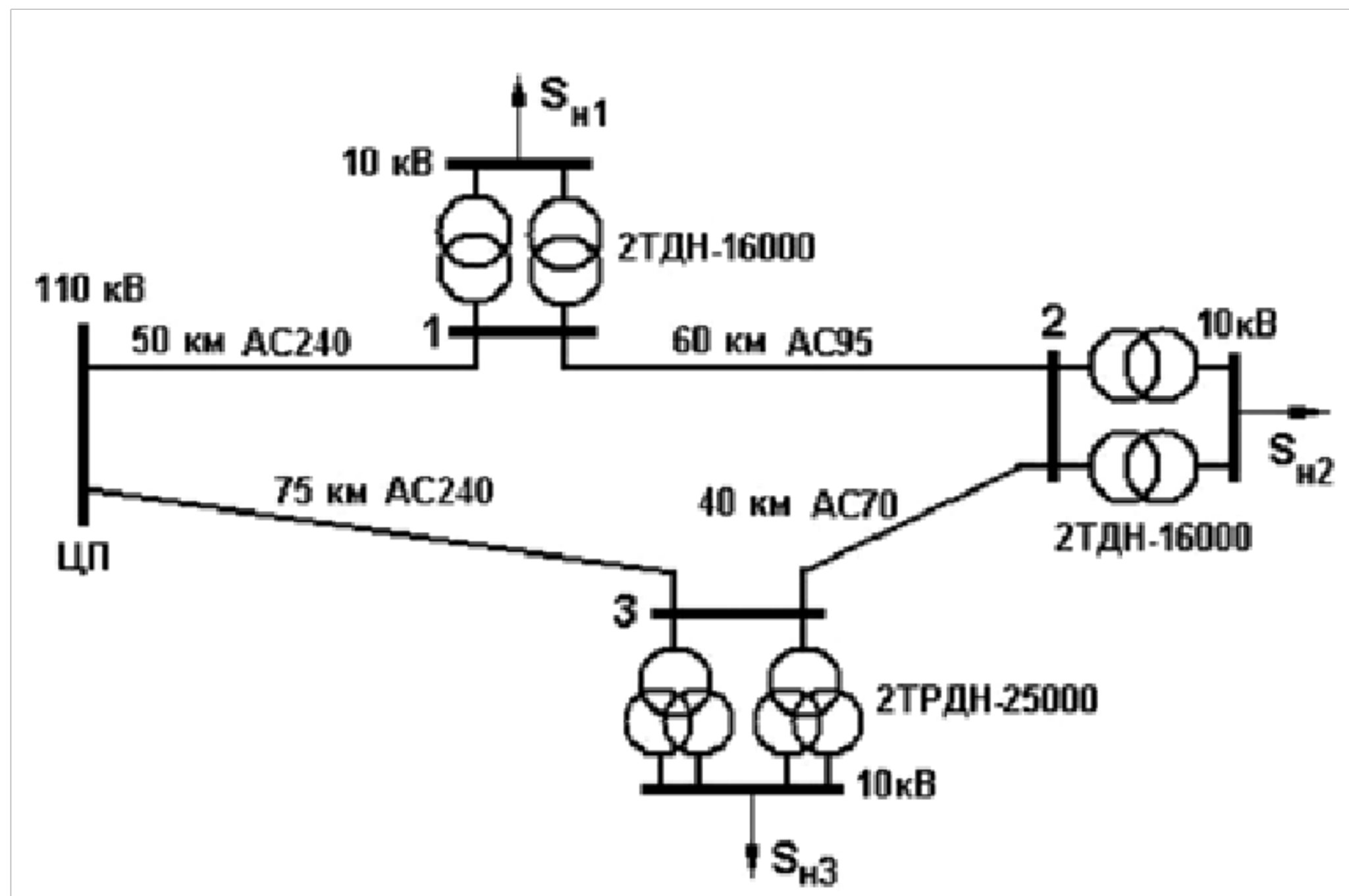


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема электрической сети

Для выбора трансформаторов на понизительных подстанциях достаточно одного расчета не зависимо от того разомкнутая или замкнутая конфигурация сети, так как мощности узлов нагрузок $S_{н1}$, $S_{н2}$, $S_{н3}$ остаются неизменными, так же как и напряжение сети.

Анализ и обоснование схем электрической сети и понижительных подстанций. Разомкнутая электрическая сеть

Расчет производится по укрупненным показателям стоимости сети [8].

Порядок расчета схемы разомкнутой сети представлен ниже (рисунок 6.1)

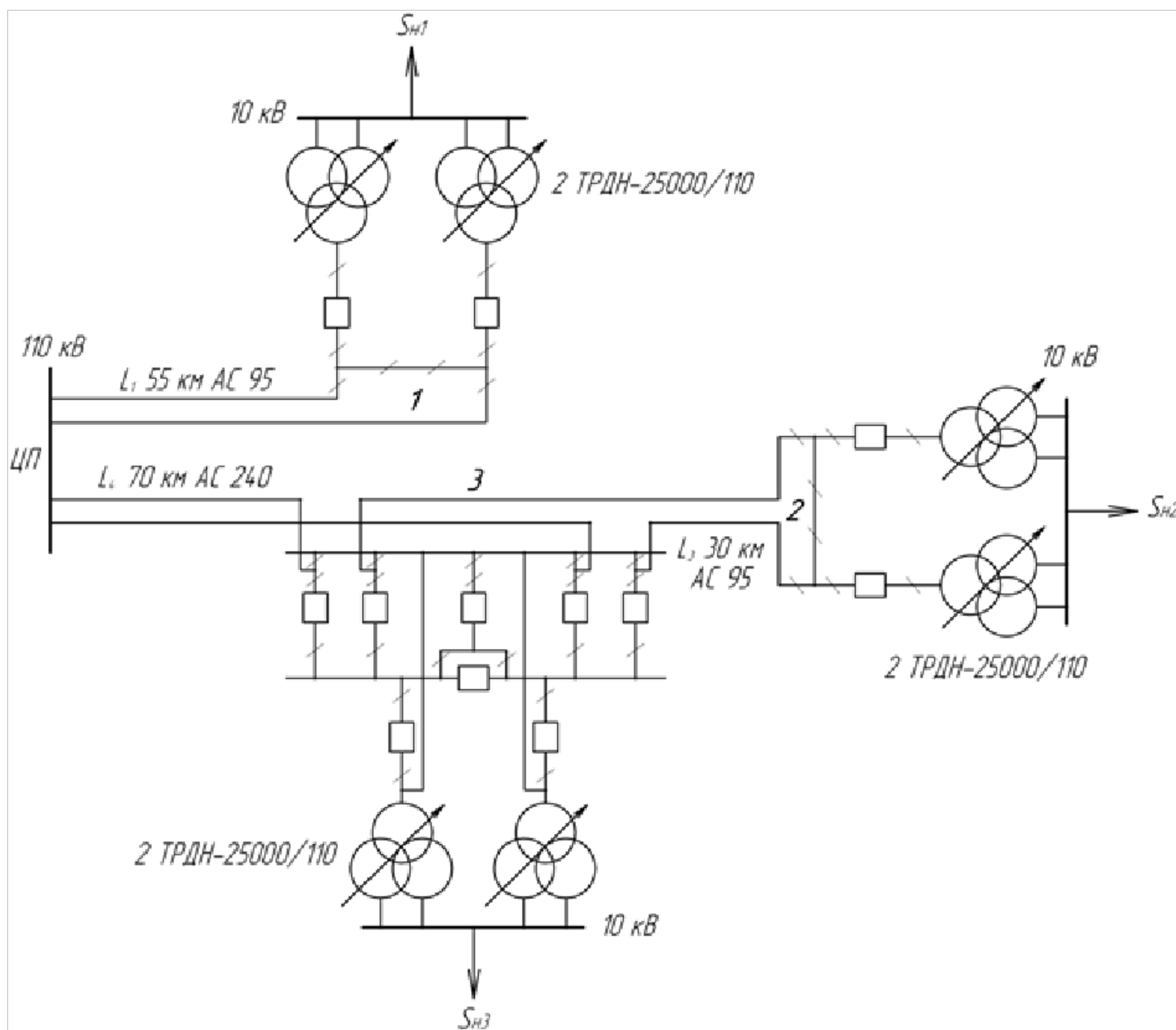


Рисунок 6.1 – Пример принципиальной схемы разомкнутой сети

Стоимость ЛЭП на железобетонных опорах:

$$K_{л} = \Pi \cdot L_i \cdot n, \text{ руб.};$$

где Π_0 - укрупненный показатель стоимости опор,

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

n - число цепей линии.

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Общая стоимость ЛЭП:

$$K_{\text{Л}} = \sum_{i=1}^n K_{i\text{Л}}$$

Стоимость ячеек масляных выключателей:

$$K_{\text{яч.}} = \Pi_{\text{я}} \cdot n, \text{ руб.}$$

где $\Pi_{\text{я}}$ - укрупненный показатель стоимости ячейки,

n - число ячеек.

Стоимость силовых трансформаторов:

$$K_{\text{тр.}} = \Pi_{\text{тр.}} \cdot n, \text{ руб.}$$

Постоянная часть затрат:

$$K_{\text{пост.}} = \Pi_{\text{пост.}} \cdot n, \text{ руб.}$$

Стоимость понизительных подстанций:

$$K_{\text{подст.}} = K_{\text{яч.}} + K_{\text{тр.}} + K_{\text{пост.}}$$

Стоимость сети:

$$K_{\text{с}} = K_{\text{Л}} + K_{\text{подст.}},$$

Потери в линиях, кВт:

$$\Delta P_{\text{max Л1}} = \frac{S_{\text{ЦП-1}}^2}{U^2} \cdot R_{\text{Л1}}$$

$$\Delta P_{\text{max Л3}} = \frac{S_{3-2}^2}{U^2} \cdot R_{\text{Л3}}$$

$$\Delta P_{\text{max Л4}} = \frac{S_{\text{ЦП-1}}^2}{U^2} \cdot R_{\text{Л4}}$$

Общие потери в линиях:

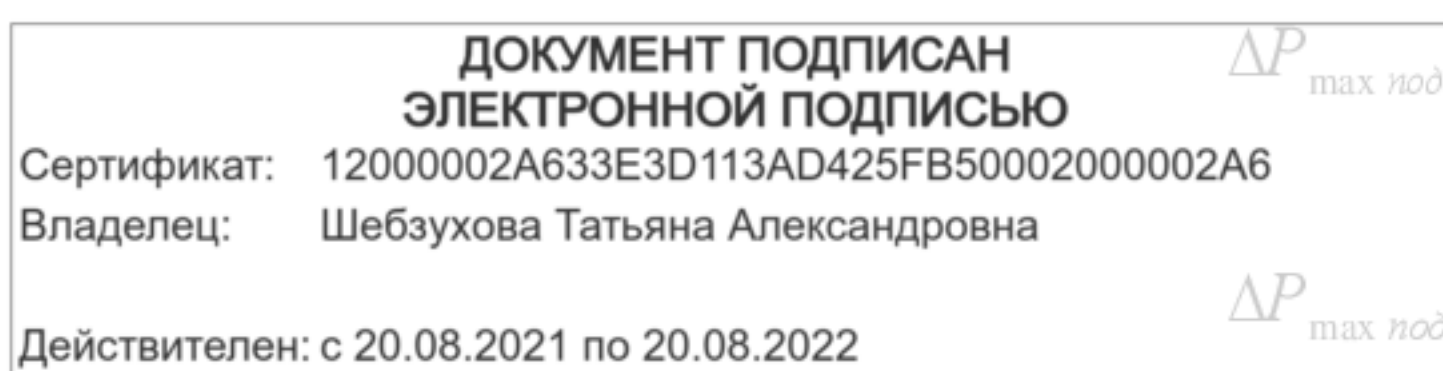
$$\sum \Delta P_{\text{max Л}} = \Delta P_{\text{max Л1}} + \Delta P_{\text{max Л3}} + \Delta P_{\text{max Л4}}, \text{ кВт.}$$

Потери на подстанциях, кВт:

$$\Delta P_{\text{max подст.1}} = \frac{S_1^2}{U^2} \cdot R_T / 2,$$

$$\Delta P_{\text{max подст.2}} = \frac{S_2^2}{U^2} \cdot R_T / 2,$$

$$\Delta P_{\text{max подст.3}} = \frac{S_3^2}{U^2} \cdot R_T / 2,$$



Общие потери на подстанциях:

$$\sum \Delta P_{\max \text{ подст.}} = \Delta P_{\max \text{ подст.1}} + \Delta P_{\max \text{ подст.2}} + \Delta P_{\max \text{ подст.3}}, \text{ кВт.}$$

Время наибольших потерь:

$$\tau = (0,124 + T_{\max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \text{ ч}$$

Общие потери в сети:

$$\sum \Delta P_{\max} = \sum \Delta P_{\max \text{ Л}} + \sum \Delta P_{\max \text{ подст.}} + \sum \Delta P_{\text{х.х}}, \text{ кВт.}$$

Переменные потери:

$$\Delta W' = \tau \cdot \sum \Delta P_{\max}, \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Постоянные потери:

$$\Delta W'' = \sum \Delta P_{\text{х.х}} \cdot T, \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$I_{\Delta W} = C' \cdot \Delta W' + C'' \cdot \Delta W'', \text{ руб.}$$

где $C' = 3,1 \text{ руб./кВтч}$, $C'' = 1,5 \text{ руб./кВтч}$.

Эксплуатационные затраты:

$$I_{\text{з}} = \frac{a_{\text{Л}} \cdot K_{\text{Л}}}{100} + \frac{a_{\text{подст}} \cdot K_{\text{подст.}}}{100} + I_{\Delta W}, \text{ руб.}$$

где $a_{\text{Л}}$ - доля затрат на эксплуатацию линии, 2,6-2,8 %

$a_{\text{подст}}$ - доля затрат на эксплуатацию подстанции = 9,2-9,6 %

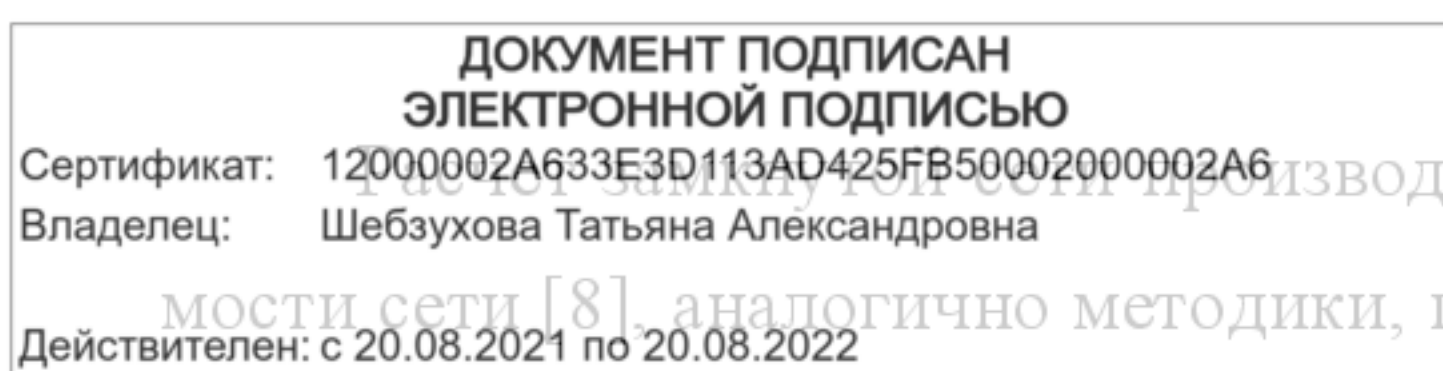
Общие затраты, руб.:

$$Z_{\text{общ.}} = K_{\text{эс}} + I_{\text{з}},$$

Приведенные затраты, руб.:

$$Z_{\text{пр.}} = P_{\text{н}} \cdot Z_{\text{общ.}},$$

Замкнутая электрическая сеть



Где $P_{\text{н}}$ - коэффициент загрузки сети, производим по укрупненным показателям стоимости сети [8], аналогично методике, представленной выше.

Пример принципиальной схемы замкнутой сети имеет вид, показанный на рисунке 6.2.

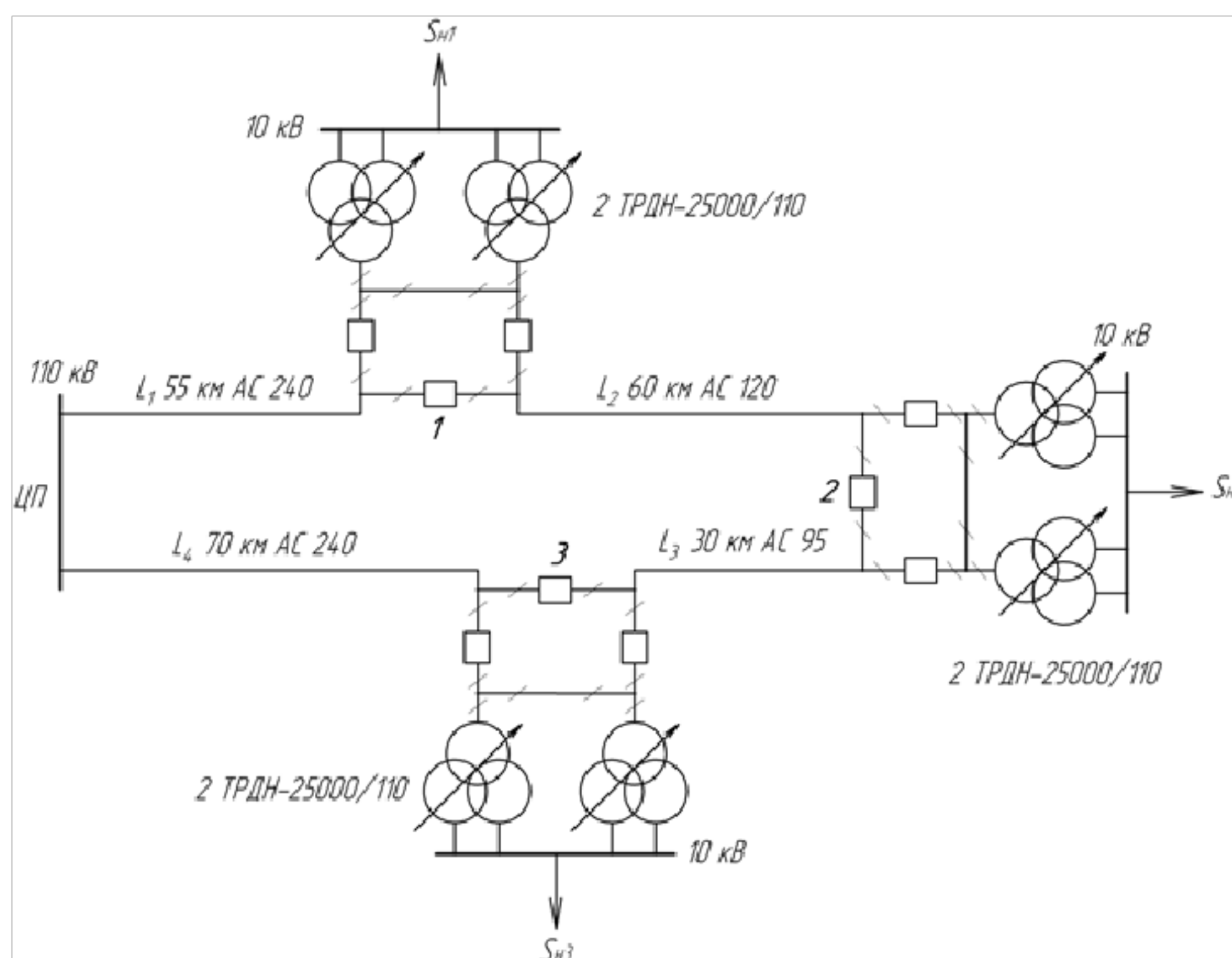


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема замкнутой электрической цепи

Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов электрических сетей в (руб.) сведётся в таблицу 6.1.

Таблица 1.6

Вариант	$K_{л.}$	$K_{яч.}$	$K_{тр.}$	$K_{пост.}$	$K_{подст.}$	$K_{э.с.}$	$I_{э.}$	$З_{общ.}$	$З_{пр.}$
I									
II									

Исходя из технико-экономических показателей стоимости сравниваемых вариантов электрической сети, принимаем к проектированию такую конфигурацию сети, которая экономически целесообразна, как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам.

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

Приведение нагрузок узлов к стороне высшего напряжения

Схема замещения узла 1 проектируемой электрической сети имеет вид, показанный на рис. 7.1.

Активная нагрузка узла 1, приведенная к высшему напряжению, будет отличаться от нагрузки $P_{н1}$ на величину потерь активной мощности в трансформаторах:

$$P_1 = P_{н1} + 2\Delta P_{x1} + \Delta P_{к1} S_{н1}^2 / 2S_{Т ном}$$

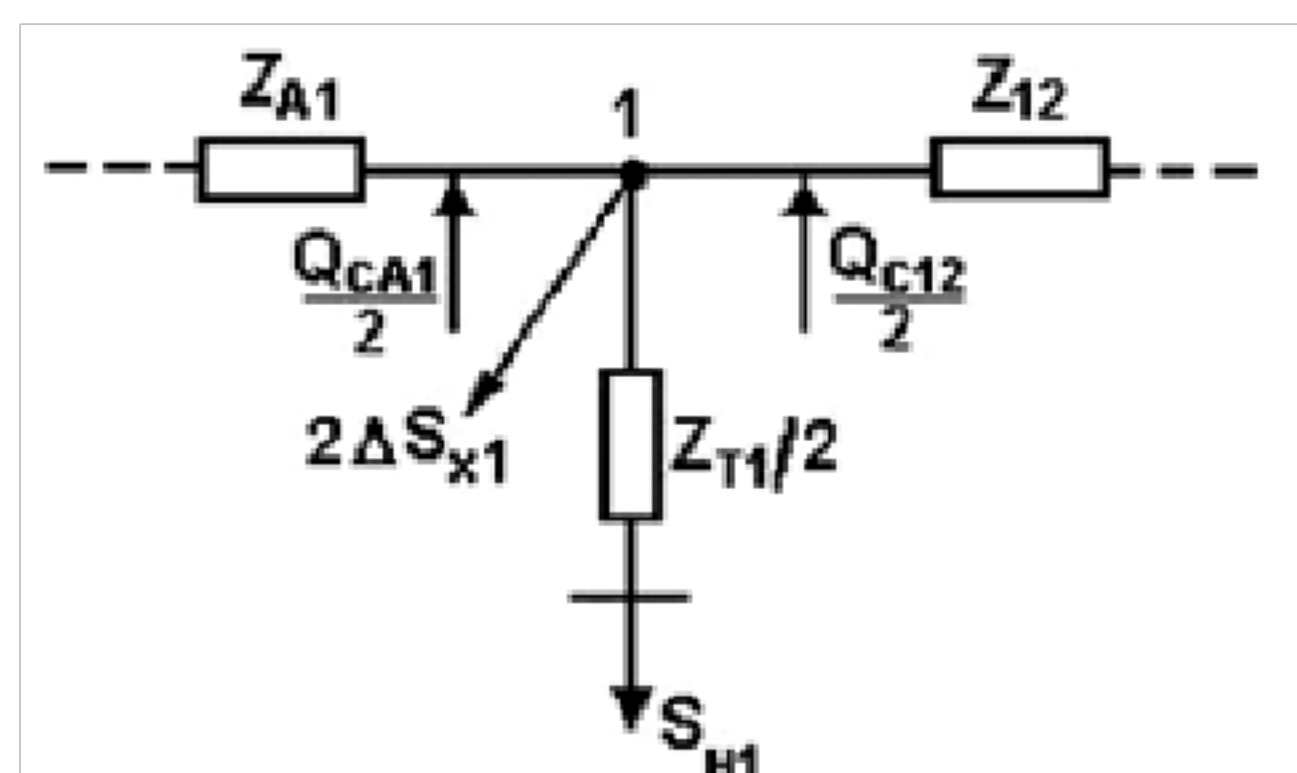


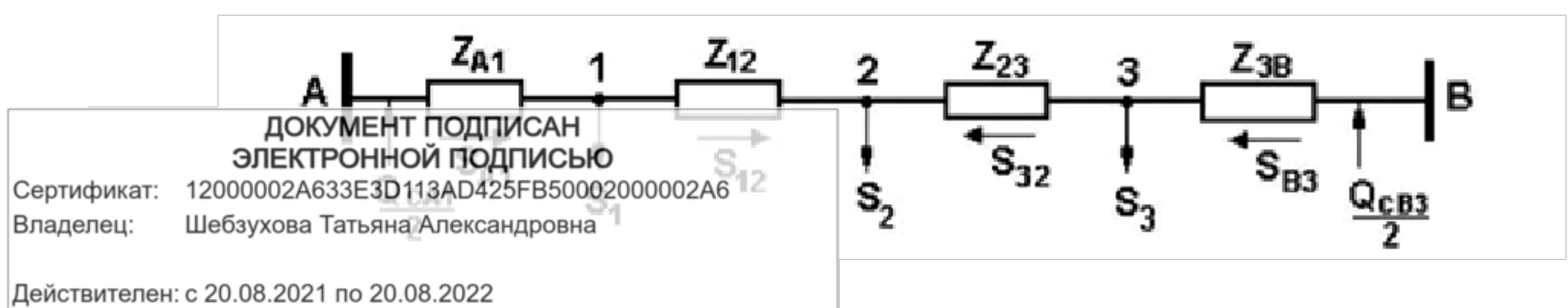
Рисунок 7.1 – Схема замещения 1-го узла электрической сети

Реактивная нагрузка узла 1, приведенная к высшему напряжению, будет отличаться от нагрузки $Q_{н1}$ на величину потерь реактивной мощности в трансформаторах и на величину половин зарядных мощностей ВЛ, примыкающих к узлу 1

$$Q_1 = Q_{н1} + 2\Delta Q_{x1} + u_{\%} S^2 / 2 \cdot 100 S_{Т ном} - (Q_{сА1} + Q_{с12}) / 2$$

Приведение нагрузок узлов 2 и 3 к высшему напряжению осуществляется аналогично.

После приведения нагрузок узлов 1, 2 и 3 к высшему напряжению схема замещения электрической сети будет иметь вид, показанный на рис. 5.2.



Расчет установившегося режима электрической сети

В результате расчета установившегося режима электрической сети определяются:

- точное потокораспределение в сети;
- напряжения в узлах сети для оценки качества напряжения и необходимости его регулирования.

Предварительное потокораспределение в сети найдем без учета потерь мощности. Для определения мощностей, протекающих по головным участкам А1 и В3, воспользуемся выражением

$$S_{A1} = (S_1 Z_{1B}^* + S_2 Z_{2B}^* + S_3 Z_{3B}^*) / Z_{AB}^*.$$

$$S_{B3} = (S_3 Z_{3A}^* + S_2 Z_{2A}^* + S_1 Z_{1A}^*) / Z_{AB}^*.$$

Для проверки правильности выполненного расчета проверим условие:

$$S_{A1} + S_{B3} = S_1 + S_2 + S_3.$$

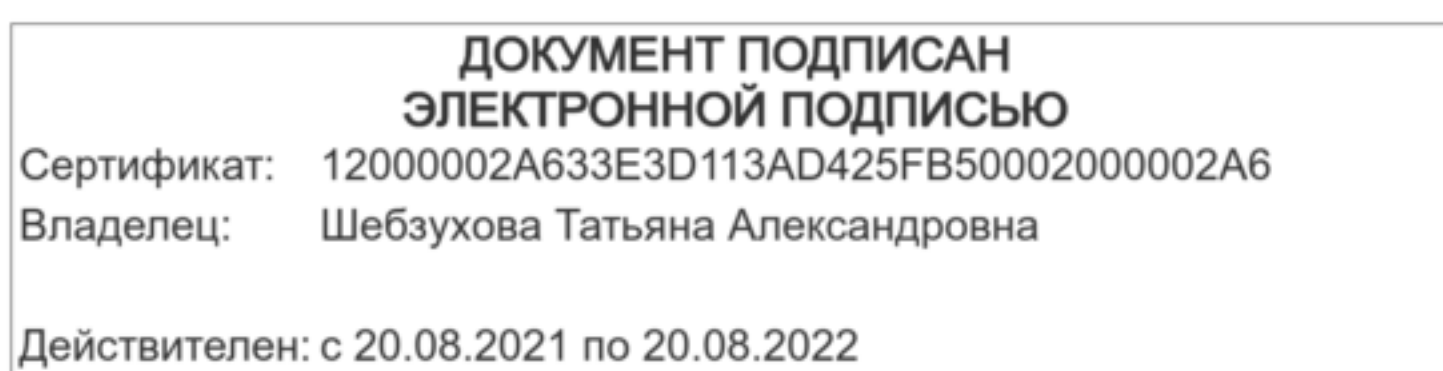
Если условие выполняется, то расчет мощности головных участков выполнен правильно.

Мощности остальных участков находится согласно первому закону Кирхгофа:

$$S_{12} = S_{A1} - S_1; \quad S_{32} = S_{B3} - S_3.$$

Выбирается узел потокораздела, например, узел 2, поскольку к этому узлу мощности притекают с разных сторон. Узел потокораздела обозначен на схеме замещения значком ▼.

В результате выполненного расчета кольцевая сеть условно делится по узлу 2 на две разомкнутые схемы (рис. 6.1).



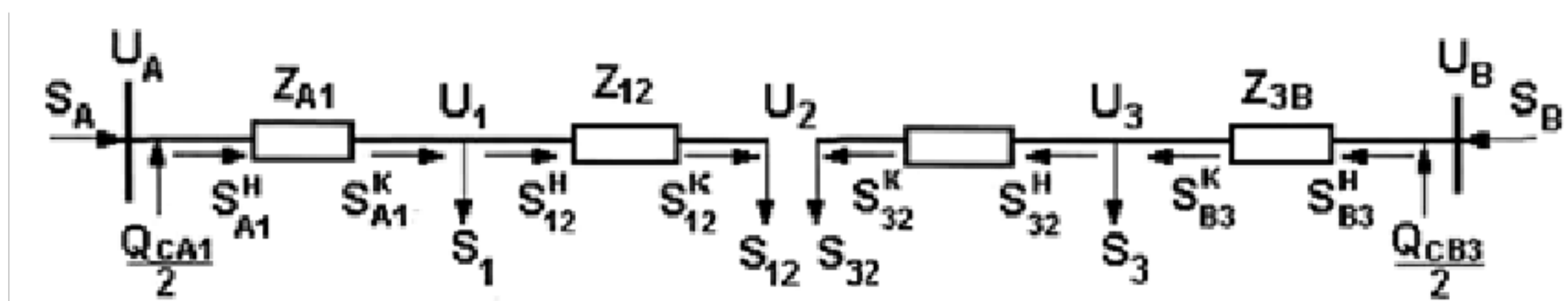


Рисунок 8.1 – Деление кольцевой схемы на две разомкнутые схемы
Мощность в конце участка 12.

Расчет двух разомкнутых схем выполним в соответствии с ниже изложенным алгоритмом. Этот расчет включает в себя два этапа. На первом этапе определяем уточненное потокораспределение в сети. Расчет ведем при напряжении сети, равном номинальному. Рассмотрим подробно расчет левой части схемы рис. 6.1.

Мощность в конце участка 12.

$$S_{12}^{\kappa} = S_{12}$$

Потери мощности в линии 12 составляют

$$\Delta P_{12} = (S_{12}^{\kappa})^2 R_{12} / U_{ном}^2;$$

$$\Delta Q_{12} = (S_{12}^{\kappa})^2 X_{12} / U_{ном}^2.$$

Мощность в начале линии 12 составляет

$$S_{12}^{\eta} = S_{12}^{\kappa} + \Delta S_{12}.$$

Мощность в конце линии A1 определится по первому закону Кирхгофа

$$S_{A1}^{\kappa} = S_{12}^{\eta} + S_1.$$

Потери мощности в линии A1 составляют

$$\Delta P_{A1} = (S_{A1}^{\kappa})^2 R_{A1} / U_{ном}^2;$$

$$\Delta Q_{A1} = (S_{A1}^{\kappa})^2 X_{A1} / U_{ном}^2.$$

Мощность в начале линии A1 составляет

$$S_{A1}^{\eta} = S_{A1}^{\kappa} + \Delta S_{A1}.$$

Мощность в начале линии A, определяется по первому за-

$$S_A = S_{A1}^H - jQ_{cA1} / 2$$

Совершенно аналогично выполняется первый этап расчета для правой части схемы рис. 6.1.

На втором этапе расчета определяются напряжения в узлах сети. Напряжение в центре питания (на узловой подстанции) в режиме наибольшей нагрузки составляет $U_A = U_B = (1,03..1,04)U_{ном}$ кВ. Падение напряжения в линии A1 в соответствии с выражением будет

$$\Delta U_{A1} = \Delta U_{A1} + j\delta U_{A1} \left((P_{A1}^H R_{A1} + Q_{A1}^H X_{A1}) + j(P_{A1}^H X_{A1} - Q_{A1}^H R_{A1}) \right) / U_A$$

Модуль напряжения в узле 1 составляет

$$U_1 = \sqrt{(U_A - \Delta U_{A1})^2 + \delta U_{A1}^2}$$

Напряжение в узле 1 при учете только продольной составляющей падения напряжения составляет

$$U_1 = U_A - \Delta U_{A1}$$

Влияние поперечной составляющей падения напряжения в сети очень невелико. Поэтому в дальнейшем при расчете напряжений с целью упрощения будет учитываться только продольная составляющая падения напряжения, называемая потерей напряжения.

Потеря напряжения в линии 12 составляет

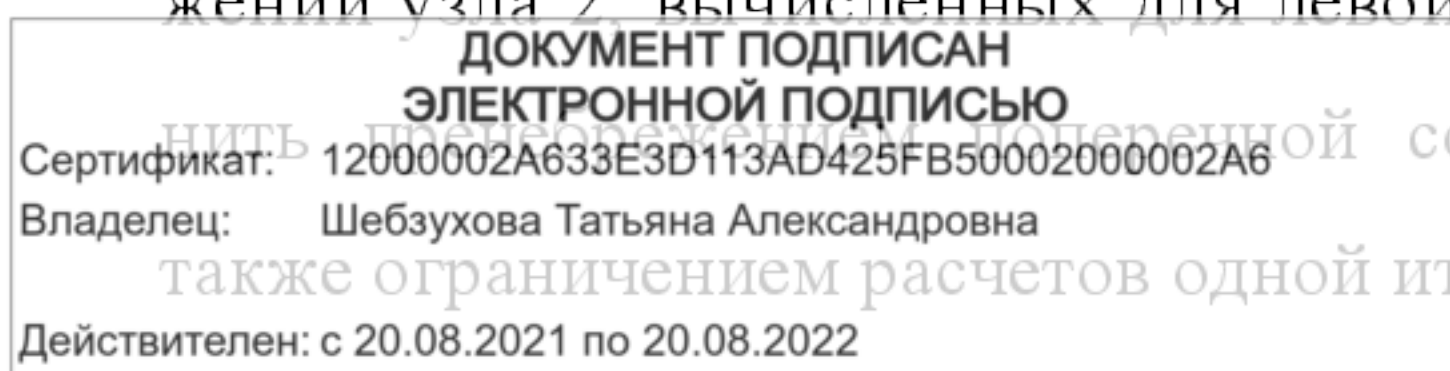
$$\Delta U_{12} = (P_{12}^H R_{12} + Q_{12}^H X_{12}) / U_1$$

Напряжение в узле 2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}$$

Совершенно аналогично выполняется второй этап расчета для правой части схемы рис. 6.1. Потери напряжения и величины напряжений в узлах в соответствии с обозначениями, указанные на схеме рис. 6.1, $\Delta U_{B3}, U_3, \Delta U_{32}, U_2$

Ограничимся в расчетах одной итерацией. Некоторое отличие напряжений узла 2, вычисленных для левой и правой частей схемы можно объяснить



также ограничением расчетов одной итерацией.

Расчет напряжений на вторичной обмотке трансформаторов

Расчет напряжения на вторичной обмотке трансформаторов рассмотрим на примере узла 3, схема замещения которого приведена на рис. 9.1.

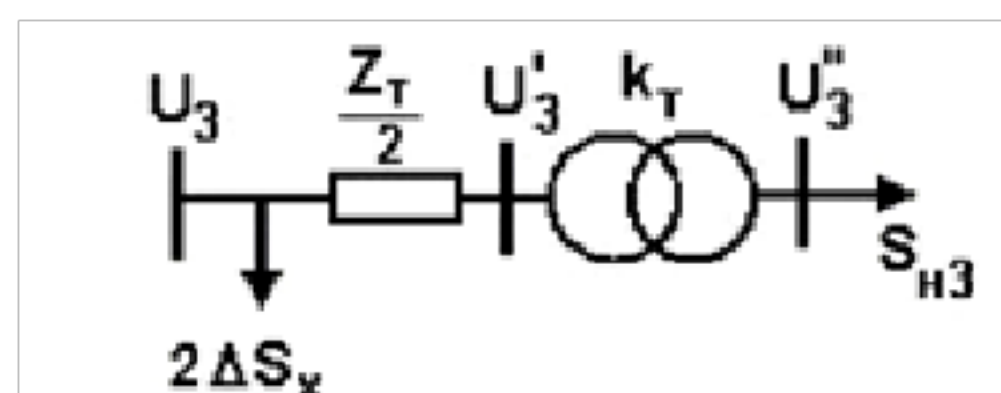


Рисунок 9.1 – Схема замещения узла 3

Потеря напряжения в двух трансформаторах узла 3 составляет

$$\Delta U_{\text{тз}} = (P_{\text{тз}} R_{\text{т}} + Q_{\text{тз}} X_{\text{т}}) / 2U_{\text{ном}}.$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформаторов, приведенное к первичной обмотке:

$$U'_3 = U_3 - \Delta U_{\text{тз}}.$$

Действительное напряжение на вторичной обмотке трансформаторов при номинальном коэффициенте трансформации

$$U''_3 = U'_3 / k_{\text{т}}.$$

Аналогичные расчеты выполняются для узлов 1 и 2:

В соответствии с требованиями ПУЭ в режиме наибольшей нагрузки напряжения U''_1 , U''_2 и U''_3 должны быть не ниже номинального вторичного напряжения трансформатора кВ. Если это условие не выполняется, то на соответствующих подстанциях необходимо выполнить регулирование напряжения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Регулирование напряжения

Выбранные выше трансформаторы (ТДН и ТРДН) имеют устройство РПН с диапазоном регулирования напряжения $\pm 91,78\%$. Необходимо оценить достаточность диапазона регулирования напряжения для поддержания напряжений на вторичной обмотке трансформаторов на требуемом уровне.

Выбор регулировочных ответвлений РПН выполним для узла с самым низким уровнем напряжения. Для трансформаторов, установленных в этом узле, необходимо переключить РПН с нулевого ответвления на требуемое ответвление $U_{\text{отв } \tau}$, т.е. изменить номинальный коэффициент трансформации $k_{\tau 2}$ до требуемого значения $k_{\tau 2 \tau}$, обеспечивающего на вторичной обмотке трансформаторов требуемое напряжение $U_{2\tau}'' \geq U_{2\tau \text{ ном}}$ кВ. В соответствии с выражением (7.6) напряжение требуемого регулировочного ответвления

$$U_{\text{отв } \tau} = U_2' U_{\text{НН}} / U_{2\tau}''.$$

Полученное напряжение требуемого регулировочного ответвления округляется до ближайшего i -го стандартного значения, которое подбирается по выражению:

$$U_{\text{отв } i} = U_{\text{ВН}} \pm i \cdot 1,78 \cdot U_{\text{ВН}} / 100$$

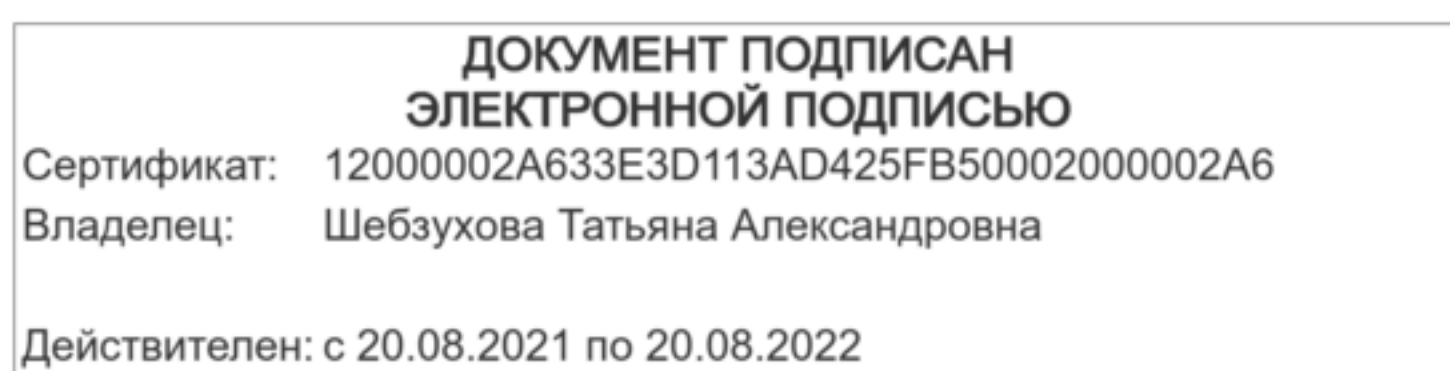
или из П2 табл. П2.1-П2.6.

Действительное напряжение на вторичной обмотке трансформаторов после регулирования

$$U_{2\text{д}} = U_2' U_{\text{НН}} / U_{\text{отв } -\text{п}}.$$

Далее оценивается достаточность диапазона регулирования для поддержания на требуемом уровне напряжения на вторичной обмотке трансформаторов в выбранном узле.

Регулирование напряжения в узлах 1 и 3 выполняется аналогично.



Оценка экономической эффективности электрической сети

Экономичность режима электрической сети оценивается по величине потерь мощности и электроэнергии.

Суммарные потери активной мощности в сети определяются как разность между активной мощностью, требуемой от источника питания, и активной мощностью нагрузок. Активная мощность, требуемая от источника питания, определена при расчете установившегося режима электрической сети и составляет

$$P = P_A + P_B, \text{ МВт}$$

Суммарная активная мощность нагрузок согласно исходным данным составляет $P_{н\Sigma}$, МВт.

Суммарные потери активной мощности

$$\Delta P_{\Sigma} = P - P_{н\Sigma}$$

Доля потерь от активной мощности, отпущенной потребителям, составляет

$$\Delta P_{\Sigma} \% = \Delta P_{\Sigma} 100 / P.$$

Доля потерь от потребляемой активной мощности

$$\Delta P_{\Sigma} \% = \Delta P_{\Sigma} 100 / (P_{н1} + P_{н2} + P_{н3}).$$

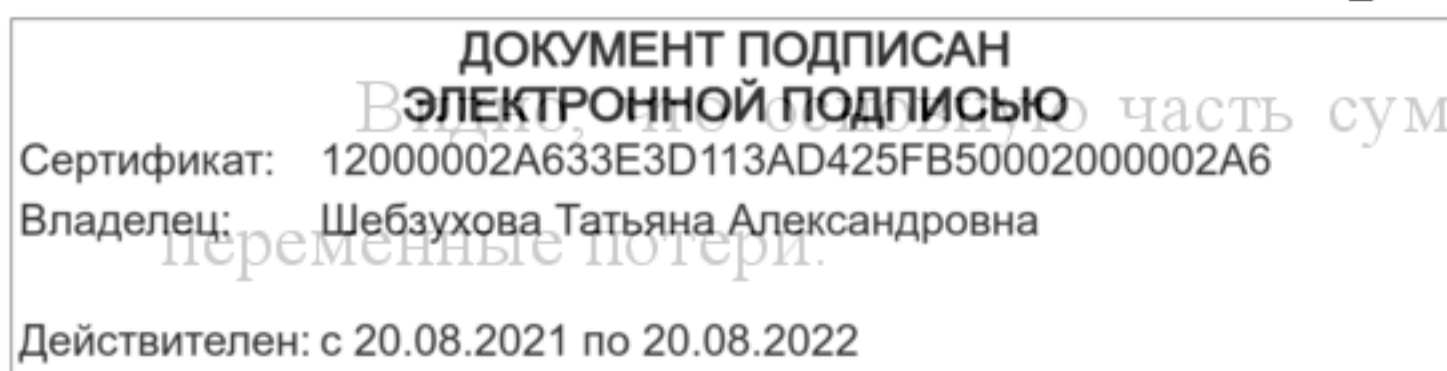
Суммарные потери активной мощности условно делятся на переменные $\Delta P_{\Sigma}'$ и постоянные $\Delta P_{\Sigma}''$. Постоянные потери или потери в сердечниках трансформаторов в соответствии с табл. 4.1 составляют

$$\Delta P_{\Sigma}'' = 2\Delta P_{x1} + 2\Delta P_{x2} + 2\Delta P_{x3}$$

Остальная часть суммарных потерь мощности - это переменные потери в активных сопротивлениях линий и трансформаторов

$$\Delta P_{\Sigma}' = \Delta P_{\Sigma} - \Delta P_{\Sigma}'',$$

В переменные потери (96... 97%) составляют



Годовые потери электроэнергии в соответствии с формулой составят

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta P_{\Sigma}' \tau + \Delta P_{\Sigma}'' T_{\text{вкл}}, \text{ MBт} \cdot \text{ч}$$

Число часов наибольших потерь в соответствии с эмпирической формулой

$$\tau_{\text{max}} = (0.124 + T_{\text{max}} 10^{-4})^2 8760.$$

Доля потерь от электроэнергии, отпущенной потребителям, составляет

$$\Delta W_{\text{год}} \% = \Delta W_{\text{год}} 100 / (P T_{\text{max}}).$$

Расчет конструктивной части ВЛ

Выполнить расчет провода АС одноцепной ВЛ напряжением $U_{\text{ном}}$ кВ, сооружаемой на стальных или железобетонных опорах в населенной местности типа В (низкоэтажная застройка). Расчетные климатические условия выбираются из приложения ПЗ табл. ПЗ.5.

Выбор опоры

На основании исходных данных из приложения 3 табл. ПЗ.3 предварительно выбирается промежуточная, одноцепная опора на напряжение $U_{\text{ном}}$ кВ

Габаритный пролет для этой опоры l_g м. Расчетный пролет принимаем равным $l = (0,6-0,9) * l_g$ м.

Необходимо выписать геометрические размеры опоры в соответствии с приложением 3 табл. ПЗ.3:

$$H, \text{ м}; h_{\text{т-п}}, \text{ м}; h_{\text{п-з}}, \text{ м}; h_{\text{п-п}}, \text{ м}; \lambda, \text{ м}$$

где λ - длина гирлянды изоляторов.

Удельные нагрузки на провод

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

Из таблицы физико-механических характеристик проводов (приложение 3 табл. ПЗ.1) находим вес одного километра провода P , Н/км и диаметр провода d , мм.

Далее по формулам рассчитаем удельные нагрузки.

Удельная нагрузка от собственного веса провода

$$p_1 = P \cdot 10^{-3} / F.$$

Максимально допустимая стрела провеса провода определяется по выражению

$$[f] = h_{\text{п-з}} - \lambda - h_r.$$

где h_r , м, габарит ВЛ, принятый по табл. ПЗ.6.

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов определяется по выражению

$$h_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{m} - \lambda - \frac{2}{3} [f].$$

Удельная нормативная нагрузка от веса гололеда на проводе определяется по формуле

$$p_{2i} = \pi g_0 K_i K_d b (d + K_i K_{d0} b) / F.$$

где коэффициенты K_i и K_d приняты по табл. ПЗ.7.

Удельная расчетная нагрузка от веса гололеда на проводе составляет

$$P_2 = P_{2н} \gamma_{nw} \gamma_p \gamma_f \gamma_d$$

где γ_{nw} - коэффициент надежности по ответственности ВЛ, зависящий от напряжения и количества цепей; для ВЛ до 220 кВ включительно $\gamma_{nw} = 1$; для двухцепных ВЛ $\gamma_{nw} = 1,3$ независимо от напряжения;

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

γ_p - региональный коэффициент, принимаемый в диапазоне 1,0... 1,3; значение этого коэффициента принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ;

γ_f - коэффициент надежности по гололедной нагрузке; $\gamma_f = 1,3$ для районов по гололеду I и II, $\gamma_f = 1,6$ для районов по гололеду III и выше;

$\gamma_d = 0,5$ – коэффициент условий работы.

Суммарная удельная расчетная нагрузка от веса провода и гололеда в соответствии с формулой составляет

$$P_3 = P_1 + P_2.$$

Удельная нормативная ветровая нагрузка при отсутствии гололеда на проводе в соответствии с формулой составляет

$$P_{4н} = \alpha_w \cdot K_i \cdot K_w \cdot C_x \cdot W \cdot d \cdot 10^{-3} / \text{Н}.$$

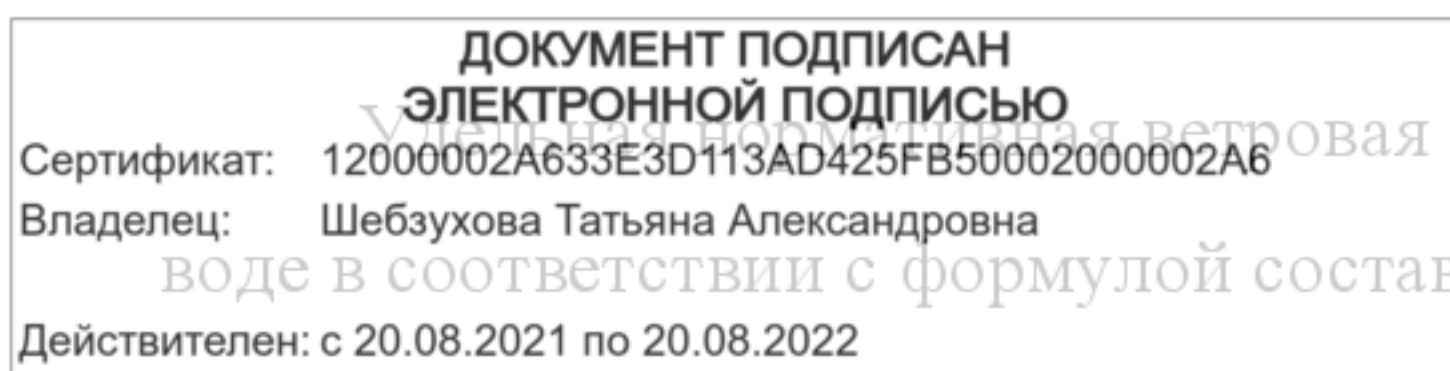
где α_w - коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ, принимаемый равным 0,76 при $W = 40$ даН/м²; $\alpha_w = 0,71$ – при 50 даН/м²; 0,7 - при 60 даН/м² и более;

K_i - коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, равный 1,2 при длине пролета 50 м; 1,1 - при 100 м; 1,05 - при 150 м; 1,0 - при 250 м и более;

K_w - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, определяемый по табл. П5.8;

C_x - коэффициент лобового сопротивления, зависящий от диаметра провода и принимаемый равным: 1,1 - для проводов диаметром 20 мм и более; 1,2 - для проводов диаметром менее 20 мм;

W - ветровое давление в соответствии с районом по ветру.



воде в соответствии с формулой составляет

$$p_{5н} = \alpha_w K_i K_w C_x W_r (d + 2K_i K_d b_{\text{э}}) \cdot 10^{-3} / \text{Г}$$

где $C_x=1,2$ для всех проводов, покрытых гололедом; остальные составляющие указаны выше;

$W_r = 0,25 \text{ W}$ - ветровое давление при гололеде.

Удельные расчетные ветровые нагрузки при отсутствии и наличии гололеда в соответствии с формулами составляют

$$P_4 = P_{4н} \gamma_{nw} \gamma_p \gamma_f,$$

$$P_5 = P_{5н} \gamma_{nw} \gamma_p \gamma_f,$$

где $\gamma_f = 1,1$ - коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Расчетная удельная нагрузка от ветра и веса провода без гололеда в соответствии с формулой составляет

$$p_6 = \sqrt{p_1^2 + p_4^2}.$$

Расчетная удельная нагрузка от веса провода, покрытого гололедом, и ветра в соответствии с формулой составляет

$$p_7 = \sqrt{p_3^2 + p_5^2}.$$

Выбирается наибольшая расчетная удельная нагрузка p_{max} .

Для расчета проводов на механическую прочность регламентируют следующие сочетания климатических условий (режимы):

1. *Режим низшей температуры при отсутствии ветра и гололеда, характеризуемый удельной расчетной нагрузкой p_1 и температурой Θ_{min} ;*
2. *Режим среднегодовой температуры при отсутствии ветра и гололеда, характеризуемый удельной расчетной нагрузкой p_1 и температурой Θ_{cp} ;*

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

3. Режим наибольшей внешней нагрузки, характеризуемый удельной расчетной нагрузкой $p_{\max}$ и температурой

$$\Theta_{\Gamma} = \Theta_B = -5^{\circ}\text{C}.$$

В режиме 3 в качестве наибольшей удельной расчетной нагрузки $p_{\max}$ принимается нагрузка p_6 или p_7 . При соотношении $p_7 > p_6$ принимается $p_{\max} = p_7$, при соотношении $p_6 > p_7$ принимается $p_{\max} = p_6$.

Определение исходного режима провода

В качестве исходного режима предварительно примем режим наибольшей внешней нагрузки. Параметры этого режима необходимо выписать $p_{\max}$, Θ_r , $\sigma_{p_{\max}} = [\sigma_{p_{\max}}]$ из приложения ПЗ табл. ПЗ.1.

Значение температуры гололедообразования $\Theta_{\text{а}} = -5^{\circ}\text{C}$ принято в соответствии с рекомендациями ПУЭ.

По выражению вычислим левую часть уравнения состояния провода

$$C = [\sigma_{p_{\max}}] + \alpha E \Theta_r - p_{\max}^2 l^2 E / (24 [\sigma_{p_{\max}}]^2).$$

В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры режима низшей температуры p_1 , $\Theta_{\min}$. Коэффициенты А и В неполного кубического уравнения будут соответственно равны

$$A = \alpha E \Theta_{\min} - C.$$

$$B = -p_1^2 l^2 E / 24.$$

Неполное кубическое уравнение для режима низшей температуры будет иметь вид

$$\sigma_{\Theta_{\min}}^3 + A \sigma_{\Theta_{\min}}^2 - B = 0.$$

Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме низшей температуры $\sigma_{\Theta_{\min}}$, даН/мм².

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

$$A = \alpha E \Theta_{\text{ср}} - C.$$

$$B = -p_1^2 l^2 E / 24.$$

Неполное кубическое уравнение для режима среднегодовой температуры будет иметь вид

$$\sigma_{\Theta_{\text{ср}}}^3 + A\sigma_{\Theta_{\text{ср}}}^2 - B = 0.$$

В правую часть уравнения состояния подставим параметры режима среднегодовой температуры $p_1, \Theta_{\text{ср}}$.

Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме среднегодовой температуры $\sigma_{\Theta_{\text{ср}}}$, даН/мм².

Проверяем условия механической прочности провода:

- в режиме наибольшей внешней нагрузки $\sigma_{p \max} \leq [\sigma_{p \max}]$;
- в режиме минимальной температуры $\sigma_{\Theta_{\min}} < [\sigma_{\Theta_{\min}}]$;
- в режиме средней температуры $\sigma_{\Theta_{\text{ср}}} < [\sigma_{\Theta_{\text{ср}}}]$.

Если условия выполняются, то исходный режим выбран правильно.

Расчет монтажных стрел провеса провода

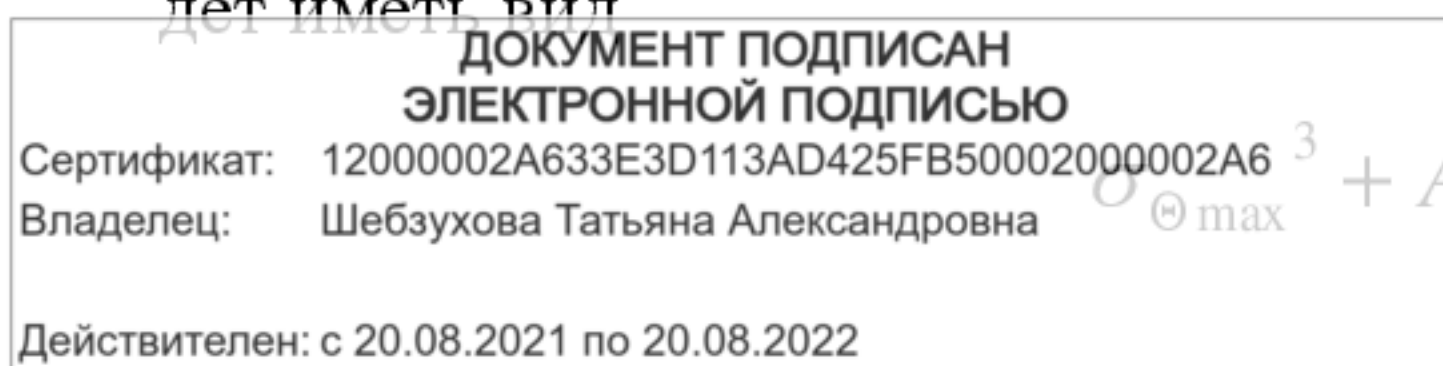
Для двух значений температуры $\Theta_{\min}$ и $\Theta_{\text{ср}}$ величины механического напряжения в проводе вычислены выше и составляют соответственно $\sigma_{\Theta_{\min}}$ и $\sigma_{\Theta_{\text{ср}}}$. Выполним расчет механического напряжения в проводе для режима высшей температуры $\Theta_{\max}$. В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры режима высшей температуры $p_1, \Theta_{\max}$. Коэффициенты A и B неполного кубического уравнения будут соответственно равны

$$A = \alpha E \Theta_{\max} - C.$$

$$B = -p_1^2 l^2 E / 24.$$

Неполное кубическое уравнение для режима высшей температуры будет иметь вид

$$\sigma_{\Theta_{\max}}^3 + A\sigma_{\Theta_{\max}}^2 - B = 0.$$



Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме высшей температуры $\sigma_{\Theta_{\max}}$.

Для трех значений температуры по формулам вычислим стрелы провеса провода:

$$f_{\Theta_{\min}} = p_1 l^2 / 8 \sigma_{\Theta_{\min}}; f_{\Theta_{cp}} = p_1 l^2 / 8 \sigma_{\Theta_{cp}}; f_{\Theta_{\max}} = p_1 l^2 / 8 \sigma_{\Theta_{\max}}.$$

По полученным значениям стрел провеса строим монтажный график $f = F(\Theta)$, показанный на рис. 12.4.1.

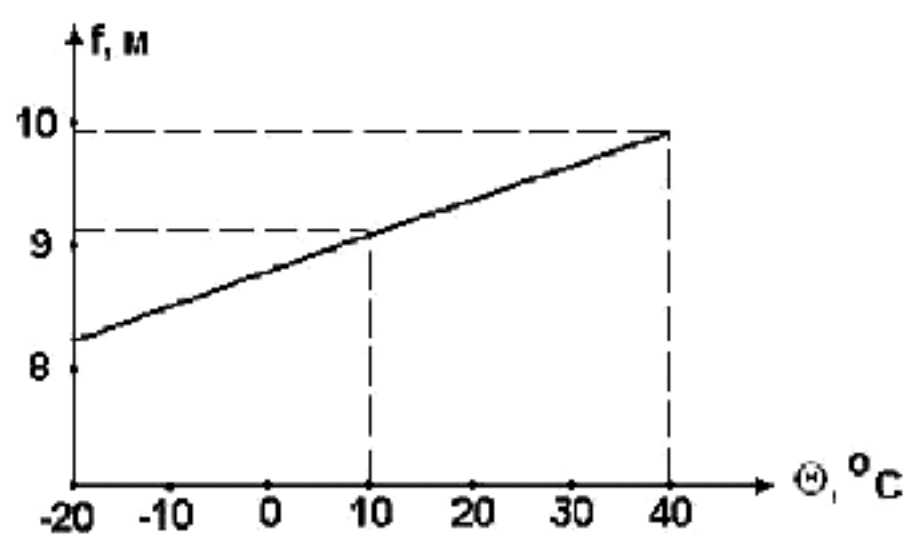


Рисунок 12 – Пример монтажного графика сталеалюминиевого провода сечением 150 мм² в пролете длиной 280 м

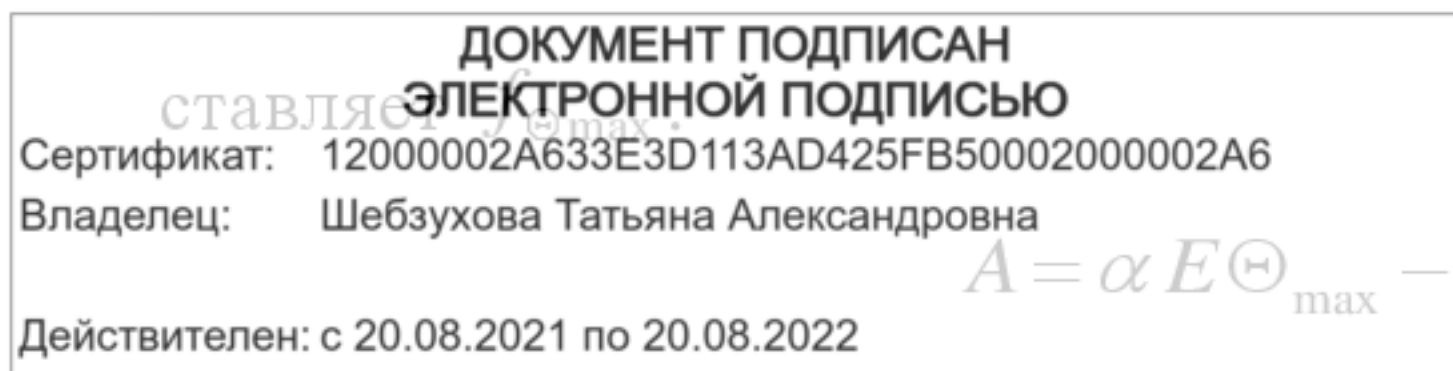
Этот график дает информацию монтажникам и обслуживающему персоналу о величине стрелы провеса провода при любой температуре окружающей среды.

Проверка габарита воздушной линии

Для проверки габарита воздушной линии необходимо знать максимальное значение стрелы провеса провода $f_{\max}$. Как отмечалось выше, максимальная стрела провеса провода имеет место в одном из двух режимов:

- режиме высшей температуры,
- режиме гололеда без ветра.

Стрела провеса в режиме высшей температуры определена выше и со-



$$A = \alpha E \Theta_{\max} - C, \quad B = -p_1^2 l^2 E / 24.$$

Неполное кубическое уравнение для режима гололеда без ветра будет иметь вид

$$\sigma_r^3 + A\sigma_r^2 - B = 0.$$

Выполним расчет механического напряжения в проводе и его стрелы провеса для режима гололеда без ветра. В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры этого режима p_3 , Θ_r .

Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме гололеда без ветра σ_r . Стрела провеса провода в этом режиме составит

$$f_r = p_3 l^2 / 8\sigma_r.$$

Итак, максимальная стрела провеса провода $f_{\max} = f_r$ имеет место в режиме гололеда без ветра. Далее проверяется условие

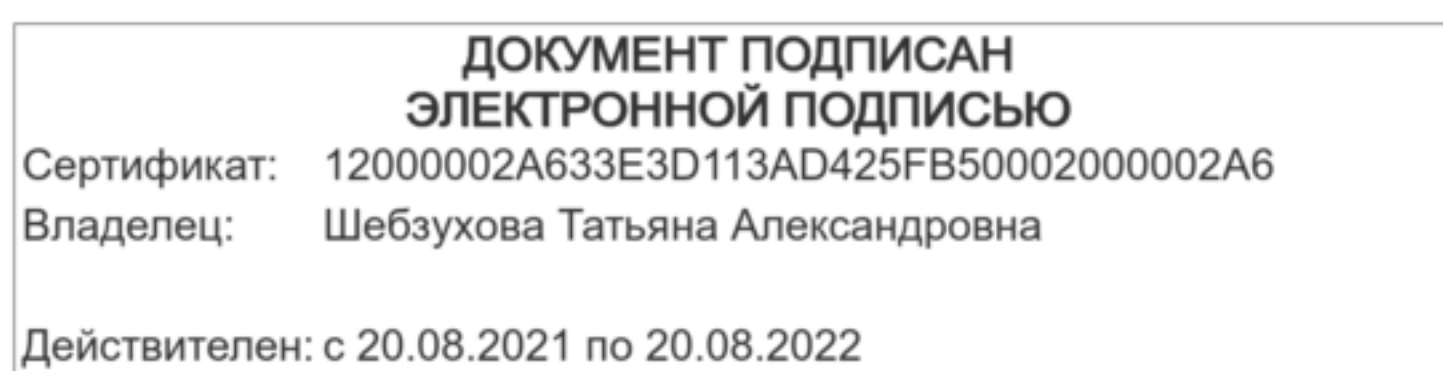
$$h_{\text{п-з}} - \lambda - f_{\max} > h_r.$$

Если условие не выполняется, то необходимо уменьшить l (пролет).

Приложение А. Графическая часть

Чертёж промежуточной одноцепной опоры

Принципиальная электрическая схема сети

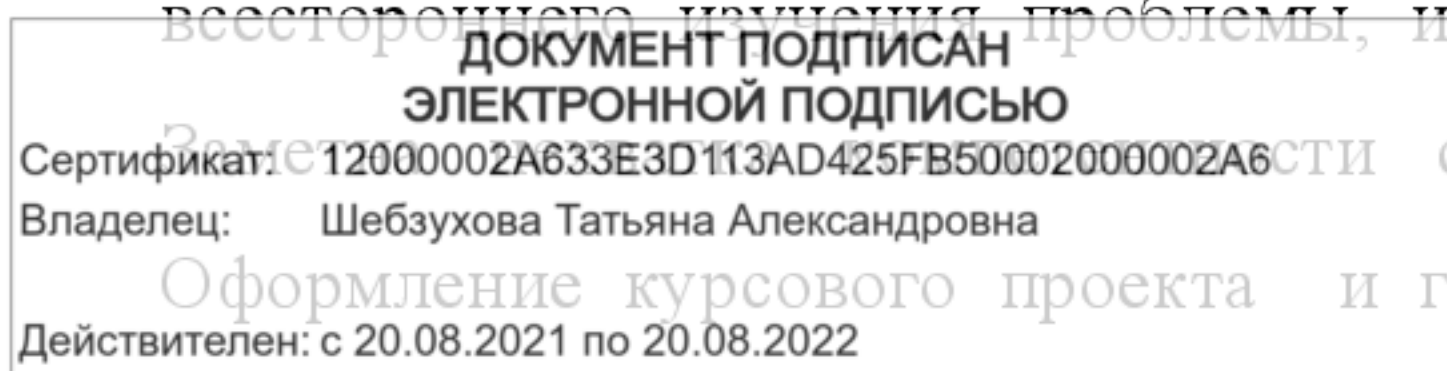


Критерии оценивания проекта

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он показал глубокое и хорошо аргументированное обоснование проектных решений; четкую формулировку и понимание изучаемой проблемы; широкое и правильное использование относящейся к теме литературы и примененных аналитических методов; проявлено умение делать обобщения на основе отдельных деталей. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Защита курсового проекта показала повышенную подготовку студента и его склонность к аналитической и проектной работе.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если присутствует аргументированное обоснование проектных решений; четкая формулировка и понимание изучаемой проблемы; использование ограниченного числа литературных источников, но достаточного для проведения проектирования. Работа основана на среднем по глубине анализе изучаемой проблемы и при этом сделано незначительное число обобщений. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие практических навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Ход защиты курсового проекта показал достаточную теоретическую и практическую подготовку студента.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если присутствует достаточное обоснование проектных решений, но отсутствует глубокое понимание рассматриваемой проблемы. В библиографии даны в основном ссылки на стандартные литературные источники. Труды, необходимые для всестороннего изучения проблемы, использованы в ограниченном объеме.



небрежности. Защита курсового проекта показала удовлетворительную теоретическую и практическую подготовку студента, ограниченную склонность к научной работе.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если проектные решения ошибочны. суждения по исследуемой проблеме не всегда компетентны. Неточности и неверные выводы по изучаемой литературе. Курсовой проект и графический материал оформлен с элементами заметных отступлений от принятых требований. Во время защиты студентом проявлена ограниченная научная эрудиция.

Порядок защиты проекта

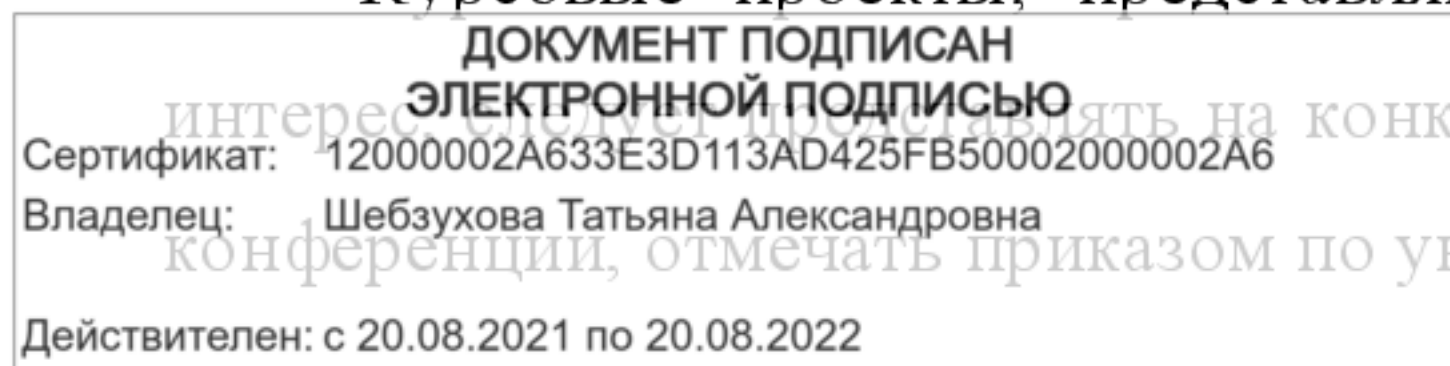
Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы присутствующих на защите. Научный руководитель характеризует работу студента над курсовым проектом.

Результаты защиты курсового проекта, согласно действующему Положению о текущем контроле и промежуточной аттестации в СКФУ, оцениваются дифференцированной отметкой по пятибалльной системе. Оценка курсового проекта заносится в зачетную книжку студента и зачетно-экзаменационную ведомость.

Защита курсовых проектов, предусмотренных учебным планом, проводится не позднее, чем за две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии.

Студент, не представивший в установленный срок курсовой проект или не защитивший его по неуважительной причине, считается имеющим академическую задолженность.

Курсовые проекты, представляющие теоретический и практический



Выполненные работы после их защиты должны храниться на кафедре в течение 2 лет, не считая года написания; затем работы, не представляющие для кафедры интерес, уничтожаются по акту.

Список рекомендуемой литературы

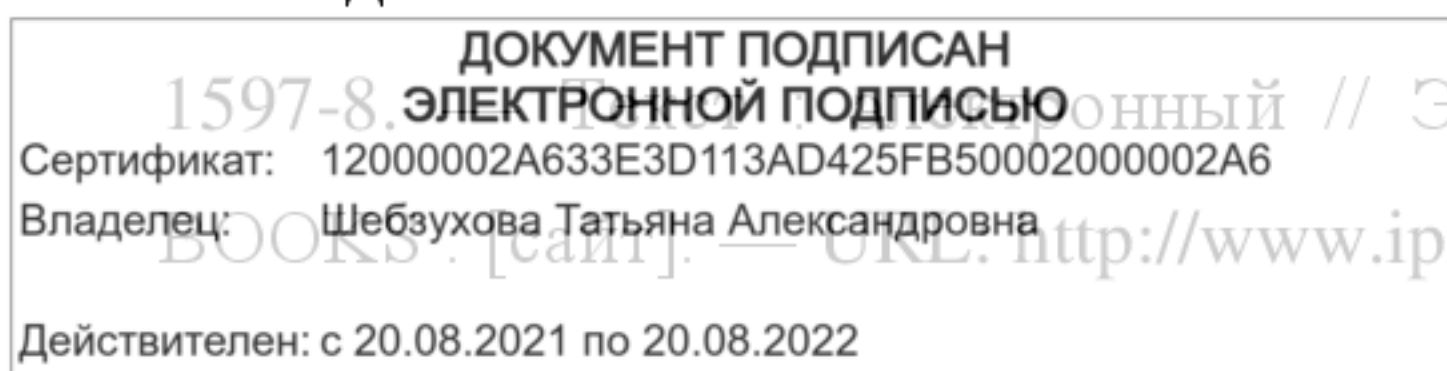
Основная литература:

13. 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>

14. 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: <http://www.iprbookshop.ru/45078.htm>

15. 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>

16. 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. Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

Дополнительная литература:

1. 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>

2. 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>

Методическая литература:

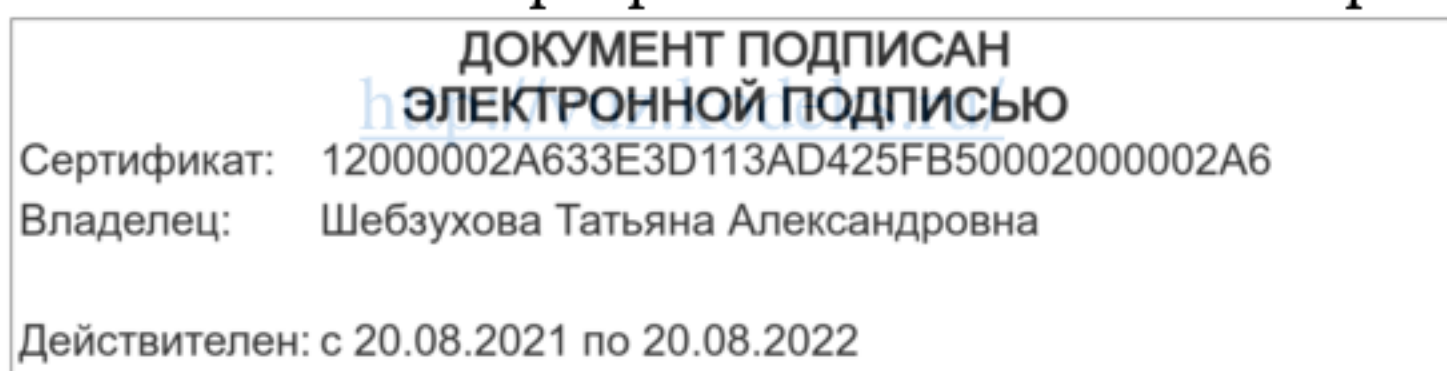
1. Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной работы по дисциплине по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети».

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

1. Университетская библиотека онлайн <http://www.biblioclub.ru>
2. Электронно-библиотечная система IPRbooks» - <http://www.iprbookshop.ru/>

Информационные справочные системы:

1. <http://docs.cntd.ru/> Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ
2. Профессиональные справочные системы Техэксперт



ПРИЛОЖЕНИЯ

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Приложение 1

Справочные данные по выбору и расчету высоковольтных проводов

Таблица П1.1 – Нормированные значения экономической плотности

Проводники	Плотность тока j_H , А/мм ² , при T_{max} , °С/год		
	1000...3000	3000...5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,0	1,7	1,4
алюминиевые	1,0	0,9	0,8
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией с жилами:			
медными	2,4	2,0	1,6
алюминиевыми	1,3	1,0	1,0
Кабели с резиновой и пластмассо- вой изоляцией с жилами:			
медными	2,8	2,5	2,2
алюминиевыми	1,5	1,4	1,3

Таблица П 1.2 – Условия выбора сечения провода по механической прочности

Характери- стика ВЛ	Минимально допустимое сечение проводов, мм ²			
	алюминиевых и из не- термообработанного алюминиевого сплава	из термообработанного алюминиевого сплава	сталеалю- миниевых	стальных
ВЛ в районах по гололеду: до II III-IV V и более	70 95 -	50 50 -	35 50 70	35 35 35
ВЛ на двух- цепных опорах 35 кВ и выше	-	-	120	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022								
Напряжение, кВ	110	150	220	330	500	750	750	
Кол-во проводов в фазе	1	1	1	2	3	4	5	
Сечение, мм ²	70	120	240	240	300	400	240	

Таблица П1.4 – Таблица допустимых токов для выбранных сечений
провода

$F, \text{мм}^2$	35	50	70	95	120	150	185
$I_{\text{д}} \text{ А}$	175	210	265	330	390	450	510
$F, \text{мм}^2$	240	300	330	400	500	600	700
$I_{\text{д}} \text{ А}$	610	690	730	825	945	1050	1180

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Приложение 2

Справочные данные по выбору и расчету силовых трансформаторов

Таблица П2.1 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы на 110

Тип	$S_{ном}$ МВА	Пределы регулиру- рования	Каталожные данные						Расчетные данные		
			$U_{ном}$ обмоток, кВ		$U_k, \%$	$\Delta P_k,$ кВт	$P_x,$ кВт	$I_x,$ %	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$\Delta Q_x,$ кВАр
			ВН	НН							
ТМН-2500/110	2,5	+10*1,5%- 8*1,5%	ПО	6,6;11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
ТМН- 6300/110	6,3	$\pm 9*1,78\%$	115	6,6;11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
ТДН- 10000/110	10	$\pm 9*1,78\%$	115	6,6;11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
ТДН- 16000/110	16	$\pm 9*1,78\%$	115	6,5;11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТРДН(ТРДНФ) > 25000/110	25	$\pm 9*1,78\%$	115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
ТДНЖ- 25000/110	25	$\pm 9*1,78\%$	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
ТД- 40000/110	40	$\pm 2*2,5\%$	121	3,15;6,3;10,5	10,5	160	50	0,65	1,46	38,4	260
ТРДН- 40000/110	40	$\pm 9*1,78\%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
ТРДЦН- 63000/110	63	$\pm 9*1,78\%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
ТРДЦНК- 63000/110	63	$\pm 9*1,78\%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	0,8	22	378
ТДЦ- 80000/110	80	$\pm 2*2,5\%$	121	6,3;10,5;13,8	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480
ТРДЦН- 80000/110 (ТРДЦНК)	80	$\pm 9*1,78\%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
ТДЦ- 125000/110	125	$\pm 2*2,5\%$	121	10,5;13,8	10,5	400	120	0,55	0,37	12,3	687,5
ТРДЦН- 125000/110	125	$\pm 9*1,78\%$	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ- 200000/110	200	$\pm 2*2,5\%$	121	13,8;15,75;18	10,5	550	170	0,5	0,2	7,7	1000
ТДЦ- 250000/110	250	$\pm 2*2,5\%$	121	15,75	10,5	640	200	0,5	0,15	6,1	1250
ТДЦ- 400000/110	400	$\pm 2*2,5\%$	121	20	10,5	900	320	0,45	0,08	3,8	1800

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

<i>Тип</i>	<i>S_{ном}, МВА</i>	<i>Каталожные данные</i>					
		<i>U_{ном}, обмоток, кВ</i>			<i>U_к, %</i>		
		<i>ВН</i>	<i>СН</i>	<i>НН</i>	<i>В-С</i>	<i>В-Н</i>	<i>С-Н</i>
ТМТН-63000/110	6,3	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6
ТДТН- 10000/110	10	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6
ТДТН- 16000/110*	16	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6
ТДТН- 25000/110	25	115	11;38,5	6,6;11	10,5	17,5	6,5
ТДТНЖ- 25000/110	25	115	38,5;27,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТН- 40000/110*	40	115	11;22;38, 5	6,6;11	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТНЖ- 40000/110	40	115	27,5;35,5	Б,Б;11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТН-63000/110* (ТДЦНТ)	63	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6,5
ТДТН-80000/110* (ТДЦТН, ТДЦТНК)	80	115	38,5	6,6;11	11(17)	18,5(10,5)	7(6,5)

кВ

Таблица П2.2

Продолжение таблицы П2.2

<i>Тип</i>	<i>Каталожные данные</i>			<i>Расчетные данные</i>						
	<i>ΔP_к кВт</i>	<i>P_х кВт</i>	<i>I_х, %</i>	<i>R_Т, Ом</i>			<i>X_Т, Ом</i>			<i>ΔQ_х кВАр</i>
				<i>ВН</i>	<i>СН</i>	<i>НН</i>	<i>ВН</i>	<i>СН</i>	<i>НН</i>	
ТМТН-63000/110	58	14	1,2	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6
ТДТН-10000/110	76	17	1Д	5	5	5	142,2	0	82,7	ПО
ТДТН-16000/110*	100	23	1,0	2,6	* 2,6	2,6	88,9	0	52	160
ТДТН-25000/110	140	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175
ТДТНЖ-25000/110	140	42	0,9	1,5	1,5	1,5	57	0(33)	33(0)	225
ТДТН- 40000/110*	200	43	0,6	0,8	0,8	0,8	35,5	0(22,3)	22,3(0)	240
ТДТНЖ- 40000/110	200	63	0,8	0,9	0,9	0,9	35,5	0(20,7)	20,7(0)	320
ТДТН-63000/110* (ТДЦНТ)	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441
ТДТН-80000/110* (ТДЦТН,ТДЦТНК)	390	82	0,6	0,4	0,4	0,4	18,6 (21,7)	0(10,7)	11,9(0)	480

*При X_Т обмотки СН, равном нулю, обмотки НН изготавливаются с U_{ном}, равным 6,3 или 10,5 кВ.

Примечание. Все трансформаторы имеют РПН ±9*1,78% в нейтрали

ВН за исключением трансформатора ТДТЖ-40000 с РПН ±8*1,5% на ВН.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица П2.3 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы на 150 кВ

Тип	$S_{ном}$ МВА	Пределы регу- лирования	Каталожные данные						Расчетные дан- ные		
			$U_{ном}$ обмоток, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_{kx} , Вт	I_x , %	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_x , кВАр
			ВН	НН							
ТДН-16000/150	16	$\pm 8*1,5\%$	158	6,6;11	11	85	21	0,8	8,3	172	128
ТРДН-32000/150	32	$\pm 8*1,5\%$	158	5,3/6,3;6,3/10,510,5/10	105	145	35	0,7	3,54	82	224
ТРДН-63000/150	63	$\pm 8*1,5\%$	158	5,3/6,3;6,3/10,510,5/10	10,5	235	59	0,65	1,48	41,6	410
ТЦ (ТДЦ)-250000/150	250	-	165	10,5;13,8;15,75	11	640	190	0,5	0,3	12	1250

Примечание.

Регулирование напряжения осуществляется за счет РПН в нейтрали ВН (трансформаторы 16-63 МВА) или ПБВ (трансформатор 250МВА).

Таблица П2.4 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы на 220 кВ

Тип	$S_{ном}$ МВА	Пределы регу- лирования	Каталожные данные						Расчетные данные		
			$U_{ном}$ обмоток, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_{kx} , кВт	I_x , %	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_x , кВАр
			ВН	НН							
ТРДН-40000/220	40	$\pm 8*1,5\%$	230	11/11; 6,6/6,6	12 •	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	$\pm 8*1,5\%$	230	11/11; 6,6/6,6	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
ТДЦ-80000/220	80	$\pm 2*2,5\%$	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
ТРДЦН-100000/220	100	$\pm 8*1,5\%$	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
ТДЦ-125000/220	125	$\pm 2*2,5\%$	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
ТРДЦН-160000/220	160	$\pm 8*1,5\%$	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
ТДЦ-200000/220	200	$\pm 2*2,5\%$	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900
ТДЦ-250000/220	250	-	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,6	25,7	1125
ТДЦ-400000/220	400	-	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
ТДЦ-630000/220	630	-	242	15,75; 20	12,5	1300	380	0,35	0,2	11,6	2205

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

Приложение 3

Справочные данные по расчету конструктивной части ВЛ

Таблица ПЗ.1 – Физико-механические характеристики сталеалюминевых проводов ВЛ

Характеристика провода	Сечение провода F , мм ²							
	70	95	120	150	185	240	300	400
Диаметр d , мм	11,4	13,6	15,2	17,1	18,8	21,6	24	27,5
Вес P , Н/км	274	384	471	600	728	921	1132	1490
$E \cdot 10^3$, Н/мм ²	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	7,7	7,7	7,7
$\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°C	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,8	19,8	19,8
$[\sigma_{\ominus \min}]$, Н/мм ²	11,6	11,6	13,0	13,0	13,0	12,2	12,2	12,2
$[\sigma_{\ominus \text{ср}}]$, Н/мм ²	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,1	8,1	8,1
$[\sigma_{\ominus \max}]$, Н/мм ²	11,6	11,6	13,0	13,0	13,0	12,2	12,2	12,2

Таблица ПЗ.2. – Физико-механические характеристики стальных грозозащитных тросов ВЛ

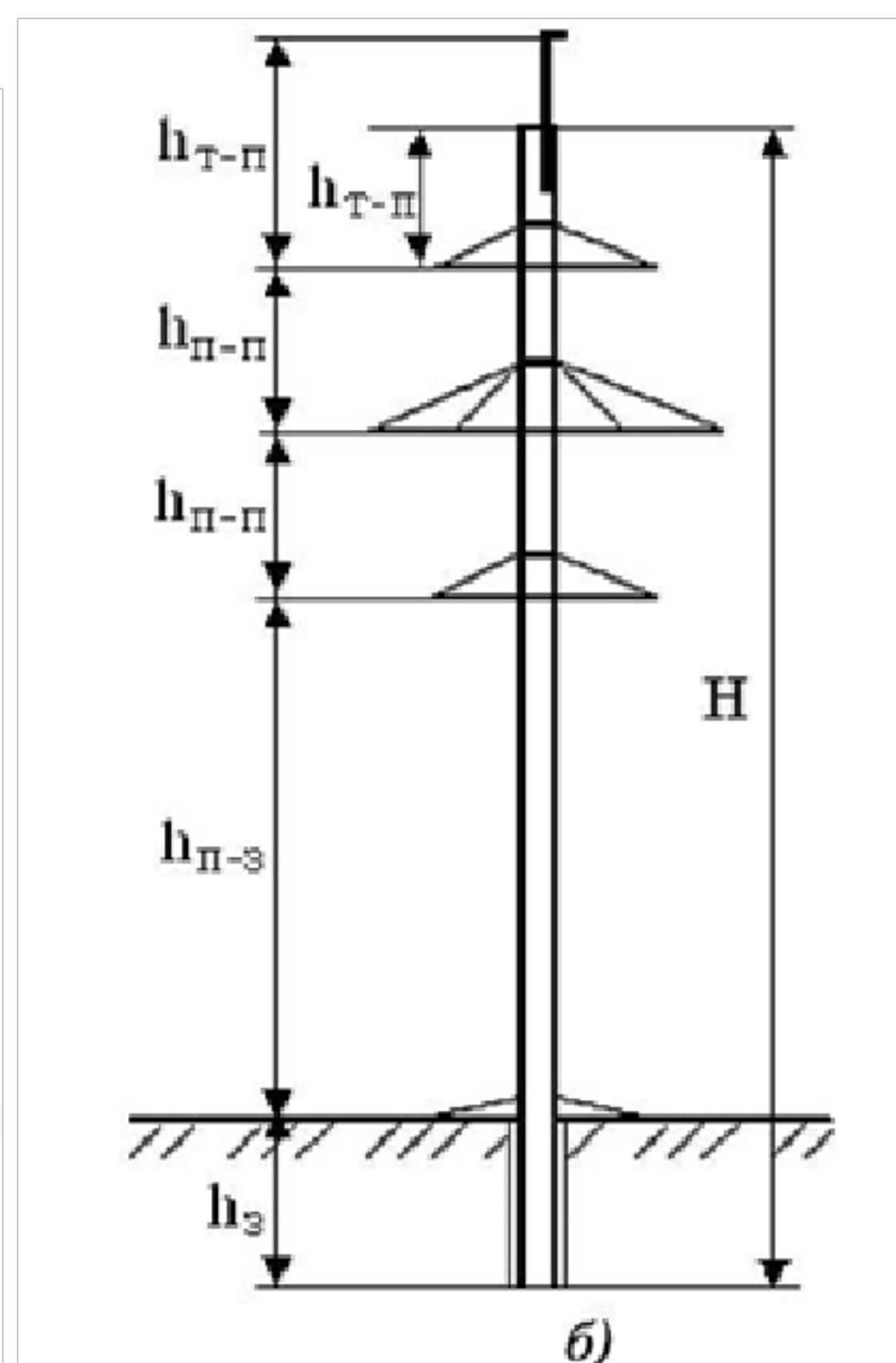
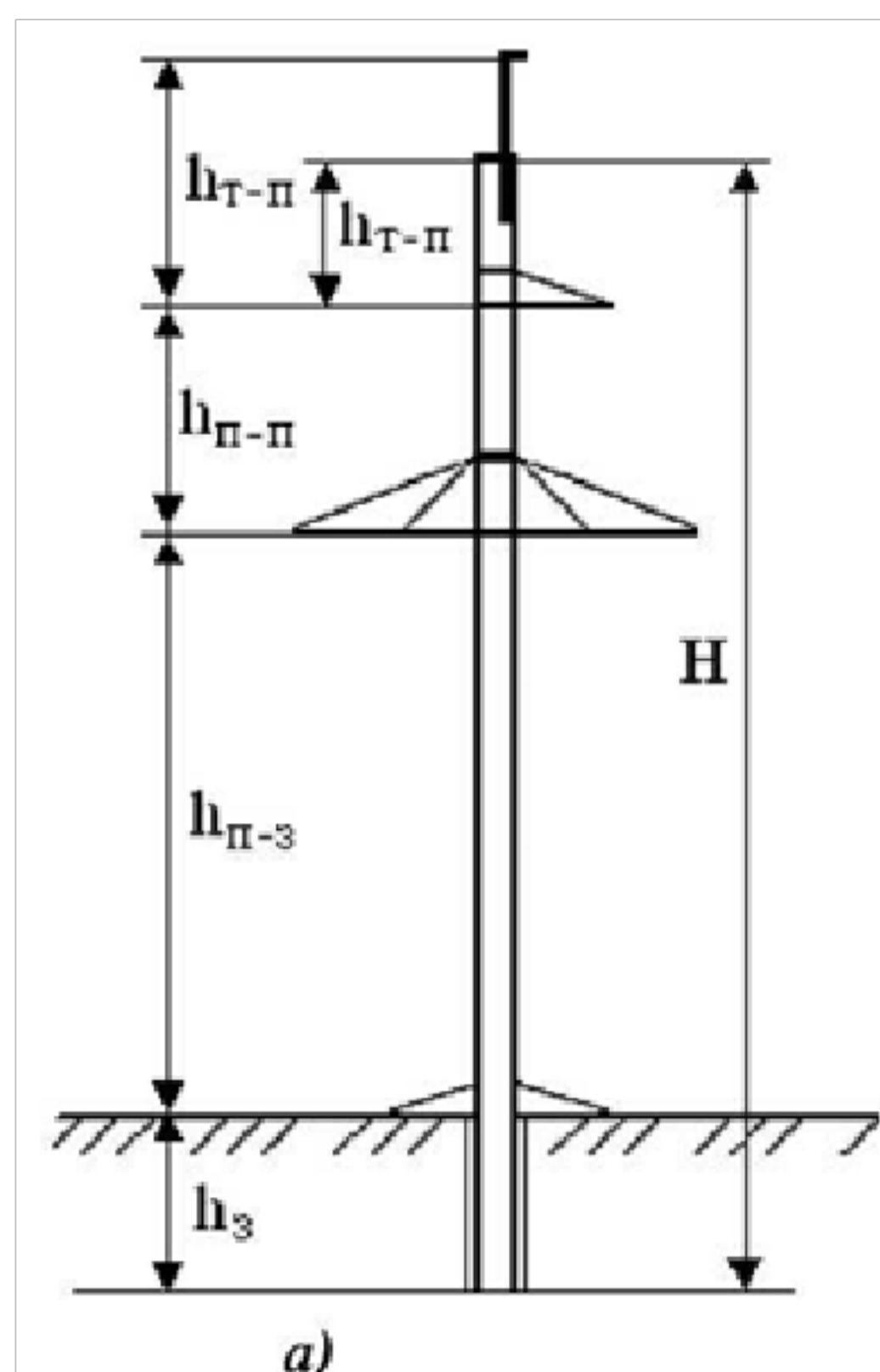
Характеристика троса	Сечение троса F , мм ²		
	35	50	70
Диаметр троса d , мм	8,0	9,1	11,0
Вес троса P , Н/км	330	417	623
$E \cdot 10^3$, Н/мм ²	20,0	20,0	20,0
$\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°C	12,0	12,0	12,0
$[\sigma_{\ominus \min}]$, Н/мм ²	60,0	60,0	60,0
$[\sigma_{\ominus \text{нр}}]$, Н/мм ²	42,0	42,0	42,0
$[\sigma_{\ominus \max}]$, Н/мм ²	60,0	60,0	60,0

Таблица ПЗ.3 – Размеры унифицированных железобетонных и стальных промежуточных опор

Опора	Рис.	Н, м	$h_{\text{т-п}}$, м	$h_{\text{п-з}}$, м	$h_{\text{п-п}}$, м	h_3 , м
ПЗ5-1	П.3.2,а	21,0	3,0	14,0	4,0	-
ПЗ5-2	П. 3.2,б	23,0	3,0	12,0	4,0	-
ПЗ5-3	П.3.2,в	22,6	2,0	15,5	3,0	3,0
ПЗ5-4	П.3.2,г	22,6	2,0	14,5	4,0	3,0
ПЗ5-5	П.3.2,д	22,6	3,7	12,5	3,0	3,0
ПЗ5-6	П.3.2,е	22,6	3,7	10,5	4,0	3,0

П110-1	П.3.2,а	25,0	2,0	19,0	4,0	-
П110-3	П.3.2,а	25,0	2,0	19,0	4,0	-
П110-5	П.3.2,а	28,0	3,0	19,0	6,0	-
П110-2	П. 3.2,б	31,0	4,0	19,0	4,0	-
П110-4	П. 3.2,б	31,0	4,0	19,0	4,0	-
П110-6	П. 3.2,б	35,0	4,0	19,0	6,0	-
ПБ110-1	П.3.1,а	22,6	2,0	14,5	3,0	3,0
ПБ110-3	П.3.1,а	22,6	2,0	14,5	3,0	3,0
ПБ110-5*	П.3.1,а	22,6	2,0	14,5	4,0	3,0
ПБ110-2*	П.3.1,б	22,6	2,7	13,5	3,0	3,0
ПБ110-4	П.3.1,б	26,0	3,0	13,5	3,0	3,3
ПБ110-6*	П.3.1,б	22,6	2,7	11,5	4,0	3,0
ПБ110-8*	П.3.1,б	26,0	3,0	13,5	4,0	3,3
П220-3	П.3.2,а	36,0	4,0	25,5	6,5	-
П220-2	П. 3.2,б	41,0	5,5	22,5	6,5	-
ПБ220-1*	П.3.1,а	26,0	2,5	16,0	5,5	3,3

Примечание. Размер $h_{т-п}$ от точки подвеса троса до верхней траверсы у железобетонных опор, отмеченных символом *, включает в себя размер тросостойки (см. рис. П.9).



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

Размеры унифицированных железобетонных
одноцепных (а) и двухцепных (б) промежуточных опор

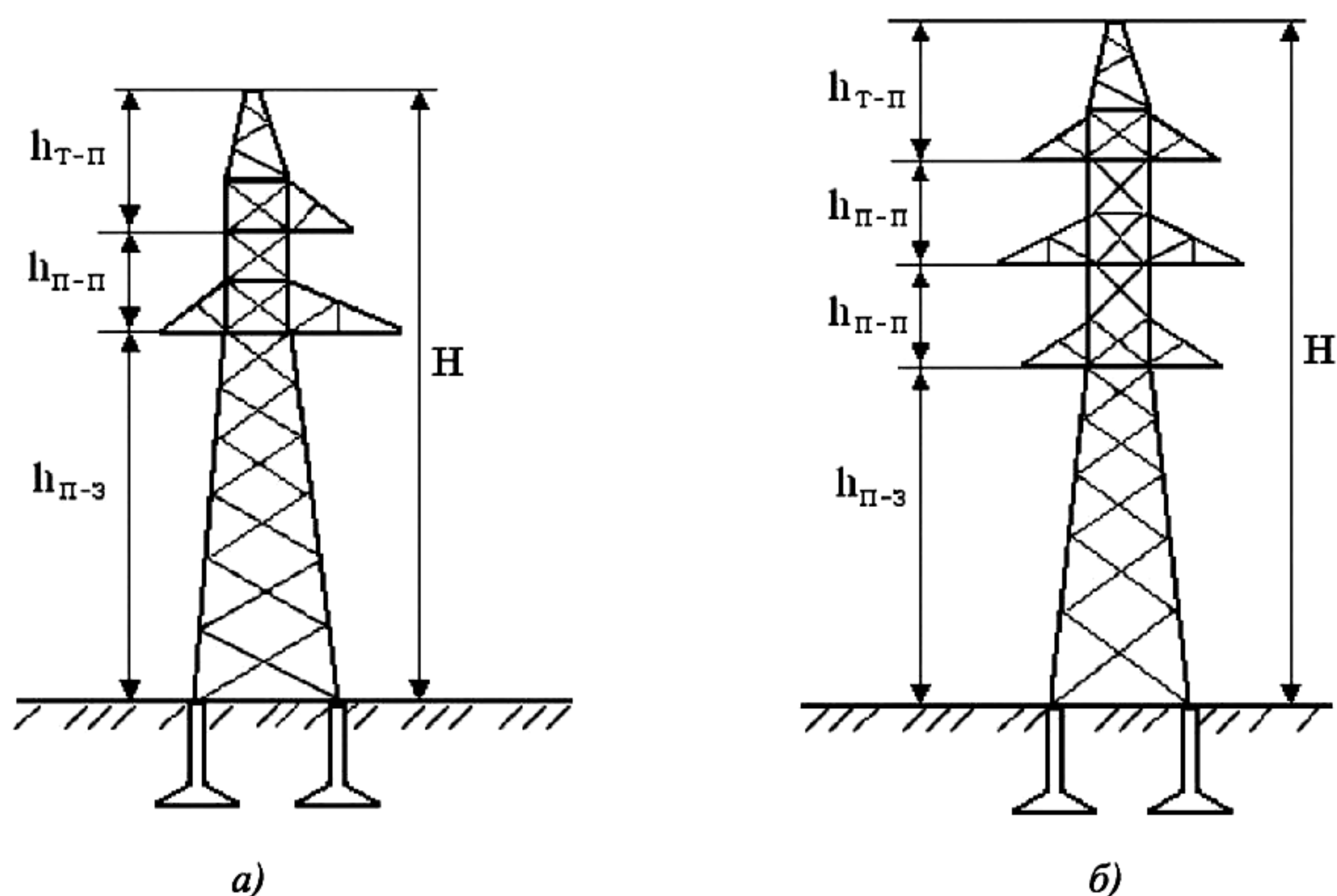


Рисунок П. 3.2 – Размеры унифицированных стальных одноцепных (а) и двухцепных (б) промежуточных опор

Таблица П3.4 – Область применения унифицированных железобетонных и стальных промежуточных опор

Опора	Сечение провода, мм ²	Район по гололеду	Габаритный пролет $l_{г}$, м
П35-1	70	I, II, III, IV I,	295, 235, 180, 145
	95	II, III, IV I,	310, 255, 195, 165
	120	II, III, IV I,	320, 270, 205, 175
	150	II, III, IV	330, 280, 215, 185
П35-2	70	I, II, III, IV I,	260, 200, 170, 130
	95	II, III, IV I,	280, 230, 180, 150 290,
	120	II, III, IV I,	240, 190, 165 300,
	150	II, III, IV	255, 200, 175
ПБ35-1	95	I, II	325, 265,
	150	I, II	340, 315
ПБ35-3	95	III, IV	205, 175
	150	III, IV	255, 215
ПБ35-2	95	I, II	255, 215
	150	I, II	265, 255
ПБ35-4	150	III, IV	145, 120
	150	III, IV	175, 150
ПБ110-1	70	I, II	355, 260
	95	I, II	375, 305

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

Опора	Сечение про- вода, мм ²	Район по гололеду	Габаритный пролет 1т, м
П110-3	120	I, II	405, 345
	150	I, II	405, 365
	185	I, II	405, 380
	240	I, II	395, 380
П110-5	70	III, IV	225, 190
	120	III, IV	290, 285
	150	III, IV	310, 265
	185	III, IV	325, 280
	240	III, IV	330, 290
П110-2	70	I, II	355, 280
	95	I, II	375, 305
П110-4	120	I, II	405, 345
	150	I, II	405, 365
	185	I, II	405, 380
	240	I, II	395, 380
П110-6	70 95	III, IV	225, 190
	120	III, IV	250, 210
	150	III, IV	290, 245
	185	III, IV	310, 265
	240	III, IV	325, 280
		III, IV	330, 290
ПБ110-1	70	I, II	275, 215
	95	I, II	285, 240
	120	I, II	300, 270
	150	I, II	300, 285
ПБ110-3	185	I, II	305, 295
	240	I, II	295, 285
ПБ110-5	70 95	III, IV	175, 145
	120	III, IV	195, 165
	150	III, IV	225, 190
	185	III, IV	240, 210
	240	III, IV	305, 295
		III, IV	295, 295
ПБ110-2	70	I, II	250, 200
	95	I, II	260, 220
	120	I, II	275, 250
ПБ110-4	120	I, II	275, 250
	150	I, II	275, 260
	185	I, II	275, 275
	240	I, II	275, 275
ПБ110-6	70	III, IV	135, 110
	95	III, IV	150, 125
		III, IV	170, 145

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Опора	Сечение про- вода, мм ²	Район по гололеду	Габаритный пролет 1Г, м
ПБ110-8	150 185	III, IV III, IV	225, 190 235, 205
П220-3	300 400	I, II, III, IV I, II, III, IV	520,490,430,380 520,475,435,390
П220-2	300 400	I, II, III, IV I, II, III, IV	470, 440, 385, 345 465, 425, 390, 355
ПБ220-1	300 400	I, II, III, IV I, II, III, IV	310,310,280,230 310,310,280,220
ПБ220-3	300 400	I, II I, II	320,320 320,320

Примечания. Буквенно-цифровое обозначение опор:

П - промежуточная опора;

Б - железобетонная опора;

отсутствие второй буквы - стальная опора;

110 (220) - опора для линии напряжением 110 (220) кВ;

1...8 - номер опоры (нечетные цифры - опора одноцепная, четные - двухцепная).

Таблица ПЗ.5 – Расчетные климатически условия

Район по ветру	W, даН/м ² (V, м/с)	Район по голо- леду	b, мм
I	40 (25)	I	10
II	50 (29)	II	15
III	65 (32)	III	20
IV	80 (36)	IV	25
V	100 (40)	V	30
VI	125 (45)	VI	35
VII	150 (49)	VII	40
особый	выше 1500 (выше 49)	особый	выше 40

Таблица ПЗ.6 – Наименьшее допустимое расстояние от провода до земли

Характер местности		Габарит ВЛ, h _Г , м, при напряжении	
		110кВ	220 кВ
до 35 кВ			
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6		7	8
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна		6	7
Ненаселенная		5	6
Трубопроводная		5	6
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022			

Таблица ПЗ.7 – Значения коэффициентов K_i и K_d учитывающих изменение толщины стенки гололеда от высоты расположения приведенного центра тяжести проводов и от диаметра провода

$h_{гр}, м$	K_i	$d, мм$	K_d
до 25	1,0	до 10	1,0
30	1,4	20	0,9
50	1,6	30	0,8
70	1,8	50	0,7
100	2,0	70	0,6

Примечание. Для промежуточных высот $h_{гр}$ значения коэффициентов K_i и K_d определяются линейной интерполяцией.

Таблица ПЗ.8. – Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности

$H_{гр}, м$	Коэффициент K_w для типов местности		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
до 15	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25

Таблица ПЗ.5. – Характеристики подвесных изоляторов

Изолятор	Разр. механ. нагрузка, кН	Вес, Н	Высота, мм	Кол-во изоляторов в гирлянде, шт, при напряжении		
				35 кВ	110кВ	220 кВ
ПФ-60	60	65	167	3	7	13
ПФ-160	160	86	173	3	6	11
ПФ-200	200	128	194	3	-	10
ПС-60	60	41	130	3	8	14
ПС-120	120	80	140	-	7	13
ПС-160	160	90	170	-	6	12
ПС-220	220	108	200	-	-	10
ПС-300	300	142	190	-	-	11

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

Приложение 4

Таблица П4.1 – Варианты заданий на курсовое проектирование

№ вар.	P ₁ Н	P _{2Н}	P ₃ Н	Q ₁ Н	Q ₂ Н	Q ₃ Н	T, час	L ₁ К М	L ₂	L ₃	L ₄	γ _p	P-Н голо- лед	P-Н ве- тер	Θ _{mi} n °C	Θ _{ma} x °C	Θ _{ср} °C
1	10	12	15	5	6	8	380 0	5 0	7 0	4 0	95	1, 2	I	I	-15	38	14,5
2	12	15	18	6	7	9	480 0	4 0	6 0	7 0	80	1, 2	II	II	-18	35	8,5
3	9	12	16	4,5	6	8	550 0	3 0	5 0	3 0	70	1, 2	III	III	-20	40	10
4	11	14, 5	17	5,5	7	8	520 0	4 0	3 0	5 0	85	1, 2	II	I	-15	30	7,5
5	14	17	25	7	8	12	590 0	4 5	5 0	4 0	70	1, 2	III	II	-5	40	17, 5
6	18	22	28	9	11	14	360 0	5 5	4 5	6 0	90	1, 2	II	II	-20	35	7,5
7	20	24	30	10	12	15	410 0	6 0	6 5	3 5	70	1, 2	I	I	-7	34	13, 5
8	19	25	27	9	12	13	590 0	4 0	6 0	3 0	85	1, 2	II	III	-10	38	14
9	22	28	30	11	14	15	360 0	5 0	7 0	4 0	85	1, 2	III	II	-8	40	16
10	25	29	32	12	14	16	450 0	5 5	6 0	3 0	70	1, 2	II	II	-17	34	8,5
11	24	26	28	12	13	14	490 0	4 0	5 0	3 0	80	1, 2	I	I	-15	40	12, 5
12	9	14	20	4	7	10	510 0	5 0	7 0	4 0	90	1, 2	II	III	-10	30	10
13	10	20	30	5	10	15	620 0	5 0	6 0	4 0	80	1, 2	II	II	-10	40	15
14	15	20	25	7	10	12	610 0	6 0	7 0	5 0	75	1, 2	III	III	-20	44	12
15	11	22	30	5	11	15	420 0	4 0	5 0	3 0	90	1, 2	I	III	-5	30	12, 5
16	15	18	28	7,5	9	14	320 0	6 0	6 0	5 0	70	1, 2	II	II	-10	30	10
17	18	25	30	9	12, 5	15	480 0	6 0	7 0	5 0	80	1, 2	I	I	-20	30	5
18	20	25	27	10	12, 5	13	580 0	4 0	6 0	3 0	90	1, 2	II	II	-10	40	15
19	10	12	20	5	6	10	430	5	7	4	10	1, 2	I	III	-15	31	8
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ								0	0	0	0	2					
Сертификат:	20	20	20	20	15	560	6	5	4	80	1, 2	II	II	-20	30	5	
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна							0	0	0	0	2					

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Приложение 5

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

КАФЕДРА ФИЗИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине
«Электроэнергетические системы и сети»
на тему:
«Проектирование замкнутой районной электрической сети (вариант -)»

Выполнил:

студент 3 курса группы

направления подготовки
13.03.02

формы обучения

(подпись)

Руководитель работы:

(ФИО, должность, кафедра)

Работа допущена к защите

(подпись руководителя)

(дата)

Работа выполнена и

защита с оценкой

Дата защиты

Члены комиссии: доцент кафедры ФЭиЭ

(должность) (подпись)

(И.О. Фамилия)

доцент кафедры ФЭиЭ

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

Пятигорск. 20__

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 «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск

2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электроэнергетические системы и сети»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

**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.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»

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.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта и контрольной работы.

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

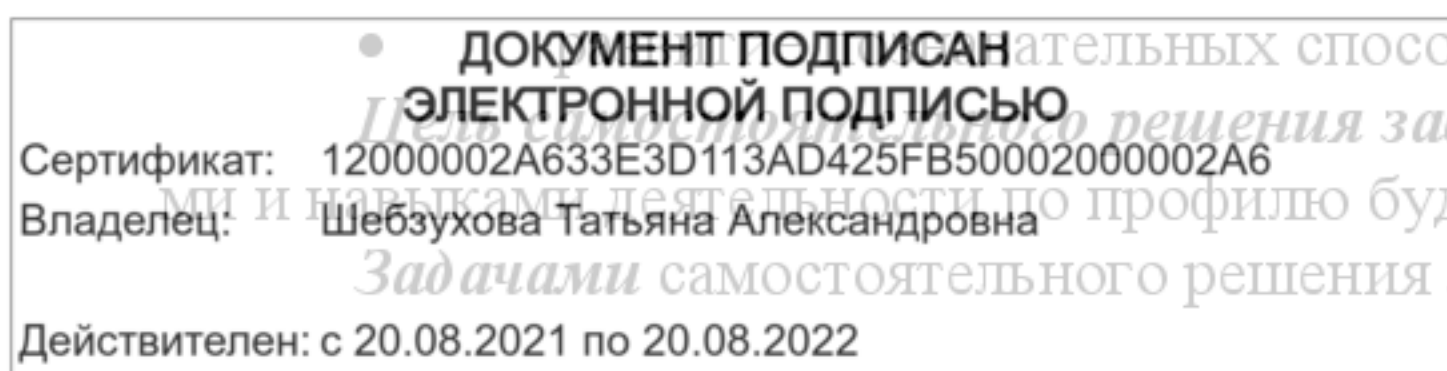
Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

• **формирование самостоятельных способностей и активности студентов.**

Задачами самостоятельного решения задач являются: 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 курсового проекта по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются 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
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем	ИД-1 _{ПК-2} Рассчитывает параметры электрооборудова-	Умеет обосновывать технические решения при разра-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

электрообеспечения объектов	систем электрообеспечения	ботке схем распределения и передачи электрической энергии. Владеет навыками расчета параметров электрооборудования систем электрообеспечения
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы систем электрообеспечения	Знает технические и экономические расчеты, современные аналитические методы комплексного инженерного анализа. Владеет навыками технико-экономических расчетов режимов работы систем электрообеспечения.

2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Код реализуемой компетенции (индикатора)	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки*	Объем часов, в том числе		
				СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
5 семестр						
ПК-1 ИД-2 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ИД-5 _{ПК-1} ПК-2 ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение литературы по разделам № 1-5	Конспект	Собеседование	33,525	3,725	37,25
	Подготовка к лабораторным работам	Отчет по лабораторной работе	Собеседование	3,645	0,405	4,05
	Подготовка к практическим занятиям	Решенная задача	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	2,43	0,27	2,7
	Выполнение контрольной работы	Отчет письменный	Собеседование	9	1	10
Итого за 5 семестр				48,6	5,4	54,0
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ			5 семестр			
Идентификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 Подпись: Шебзухова Татьяна Александровна			6 семестр			

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по разделам №6-9	Конспект	Собеседование	25,47	2,83	28,3
ИД-2 _{ПК-1}	Подготовка к лабораторным работам	Отчет по лабораторной работе	Собеседование	2,7	0,3	3,0
ИД-3 _{ПК-1}	Подготовка к практическим занятиям	Решенная задача	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	2,43	0,27	2,7
ИД-5 _{ПК-1}						
ПК-2						
ИД-1 _{ПК-2}						
ИД-2 _{ПК-2}	Выполнение курсового проекта	Проект с презентацией	Презентация проекта	18	2	20
Итого за 6 семестр				48,6	5,4	54,0
Итого				97,2	10,8	108

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

При проведении текущего контроля рейтинговая оценка знаний студента оценивается следующим образом:

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
	5 семестр		
1.	Защита лабораторных работ. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	6 неделя	10
2.	Защита лабораторных работ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	10 неделя	15
3.	Собеседование Расчет потокораспределения активной мощности, выбор номинального напряжения линий	14 неделя	30
	Итого за 5 семестр		55

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ			
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6	ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МЕСТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ	6 неделя
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна		10
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022			

	ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ		
5.	Защита лабораторных работ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАЙОННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	10 неделя	15
6.	Собеседование Элементы проектирования электрических сетей	14 неделя	30
	Итого за бсеместр		55
	Итого		110

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗЧЕНИЮ 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 знания к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помога-

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

ет будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника.

Они помогают запомнить и систематизировать прочитанное.

Составление конспектов

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

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 ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект - это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной темы.

Выполнение курсового проекта начинается с получения варианта задания и темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов проекта;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсового проекта.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсового проекта.

Систематизация и анализ изученной литературы позволяют студенту написать первую (теоретическую) часть.

Далее в соответствии с методикой выполнения курсового проекта производятся связанные с проектированием электрических сетей: выбор рационального варианта схемы сети и параметров линий электропередачи и понижающих подстанций для электроснабжения трех пунктов потребления электроэнергии; анализ характерных установившихся режимов работы спроектированной сети; определение основных технико-экономических показателей спроектированной сети.

Рабочий вариант текста курсового проекта и графический материал предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление.

После доработки курсовой проект сдается на кафедру для ее оценивания руководи-

телем.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

проходит в сроки, установленные графиком

Основные этапы работы и требования к оформлению и защите отражены в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Изучение дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

Знать:

1. Технологическая схема производства электроэнергии. Энергетическая и электрическая системы.
2. Электрические сети и их классификация. Системообразующие, питающие, распределительные сети. Виды электроустановок и их номинальные данные.
3. Элементы конструкции электрических сетей. Конструкция воздушных линий, основные виды опор, стандарты на провода, расщепление проводов. Конструкция кабельных линий.
4. Графики нагрузок узлов электрической сети. Типовые графики.
5. Суточный и годовые графики. Характеристики графиков нагрузок.
6. Падение и потеря напряжения. Векторные диаграммы токов и напряжений участка сети.

Уметь:

Владеть:

1. Схемы замещения воздушных линий. Определение параметров схем замещения воздушных линий.
2. Схемы замещения кабельных линий. Определение параметров схем замещения кабельных линий.
3. Схемы замещения двухобмоточных трансформаторов. Определение параметров схем замещения.
4. Схемы замещения трехобмоточных трансформаторов. Определение параметров схем

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

5. Схемы замещения автотрансформаторов. Параметры схемы замещения.
6. Однородная сеть. Правило моментов для однородной сети. Свойства однородной сети.
7. Правильно моментов для токах и мощностях для однородной сети и область применения.

8. Представление источников и нагрузок при расчетах установившихся режимов электрических сетей. Статические характеристики нагрузок.
9. Потери мощности и энергии в элементах электрических сетей. Точные и приближенные методы расчета потерь электроэнергии в сети с одним и несколькими нагрузочными узлами.
10. Методы преобразования сети. Объединение концевых источников питания.
11. Метод контурных уравнений и его использование для расчета сложносвязанных сетей.
12. Метод уравнений узловых напряжений и его использование для расчета сложносвязанных сетей.
13. Метод коэффициентов токораспределения и потокораспределения. Его использование для расчета сложносвязанных сетей.
14. Сопоставление методов расчета сложносвязанных сетей. Области применения, особенности отдельных методов, их достоинства и недостатки.

Вопросы к экзамену 6 семестр

Знать:

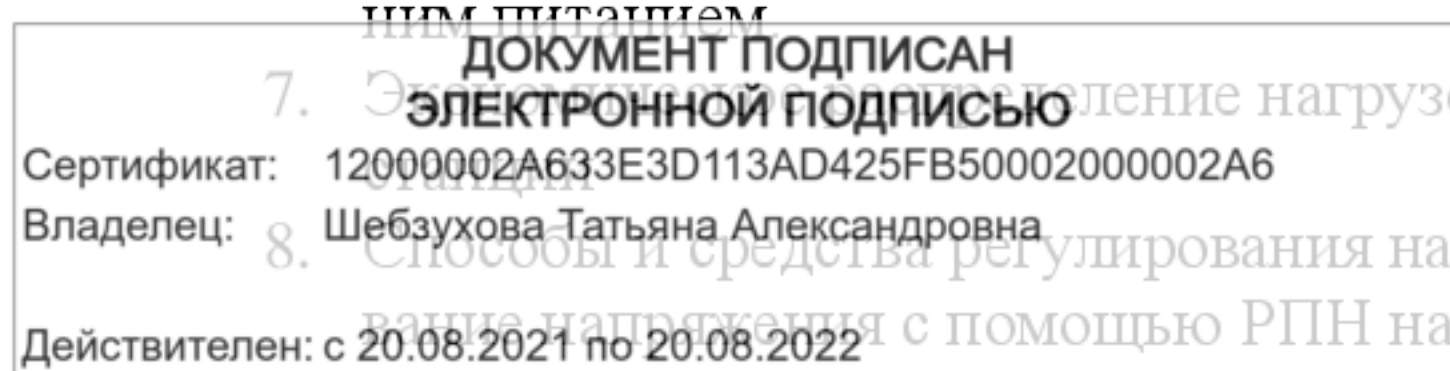
1. Принципы разработки вариантов. Балансы мощностей.
2. Этапы проектирования электрической сети.
3. Балансы мощности и энергии в электроэнергетических системах. Связь балансов мощностей с параметрами качества.
4. Способы и средства регулирования напряжения. Местное и централизованное регулирование напряжения.
5. Местное и централизованное регулирование напряжения. Проверка допустимости централизованного регулирования.
6. Регулирование напряжения с помощью компенсирующих устройств. Виды компенсирующих устройств, регулирование их мощности.
7. Критерии экономической эффективности вариантов развития сети.

Уметь:

Владеть:

1. Электрический расчет в токах разомкнутой сети с числом узлов нагрузок не менее двух.
2. Электрический расчет в мощностях разомкнутой сети с числом узлов нагрузок не менее двух.
3. Электрический расчет сети при задании нагрузок статическими характеристиками.
4. Электрический расчет сети с двухсторонним питанием при равных напряжениях по концам передачи в токах. Правило моментов в токах. Векторные диаграммы токов и напряжений участка сети.
5. Электрический расчет сети с двухсторонним питанием при равных напряжениях по концам передачи в мощностях. Правило моментов в мощностях. Векторные диаграммы токов и напряжений.
6. Электрический расчет сети с двухсторонним питанием при разных напряжениях по концам передачи. Векторные диаграммы токов и напряжений сети с двухсторонним питанием.

7. Способы и средства регулирования напряжения. Устройства РПН и ПБВ Регулирование напряжения с помощью РПН на трансформаторах.
8. Способы и средства регулирования напряжения. Устройства РПН и ПБВ Регулирование напряжения с помощью РПН на трансформаторах.



9. Способы и средства регулирования напряжения. Регулирование напряжения с помощью компенсирующих устройств. Выбор мощности компенсирующих устройств по критерию качества.
10. Способы и средства регулирования напряжения. Регулирование напряжения изменением параметров сети. Продольная и поперечная компенсация параметров сети.
11. Способы и средства регулирования напряжения. Продольное и поперечное регулирование. Линейные регуляторы и вольтодобавочные трансформаторы.
12. Способы и средства регулирования напряжения. Сопоставление методов и средств регулирования напряжения по техническим и экономическим показателям.
13. Методы минимизации функции затрат при условиях связи и режимных ограничениях
14. Минимизация потерь активной мощности. Определение оптимальной загрузки источников реактивной мощности из условия минимума потерь
15. Метод экономических интервалов и его использование для выбора сечений линий электропередачи. Достоинства и недостатки метода.
16. Метод экономической плотности тока и его использование для выбора сечений линий электропередачи. Достоинства и недостатки метода.
17. Особенности выбора сечений в кольцевых и разомкнутых сетях.
18. Условия и методы проверки сечений проектируемых и существующих ЛЭП по допустимому току.
19. Выбор номинального напряжения сети.
20. Технико-экономическое сопоставление вариантов развития сети

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он знает характеристики электрических систем и сетей; конструктивное выполнение элементов электрических сетей; характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы; качество электроэнергии и его регулирование; экономичные режимы работы электроэнергетических систем. Умеет проводить анализ режимов работы электрических сетей; расчёты режимов электрических сетей; проектирование электрических сетей питающих энергосистем.

При проведении экзамена студент показал наличие достаточных знаний по изучаемой проблематике; умение ориентироваться в информационном пространстве; использование и усвоение основной и знакомство с дополнительной литературой; грамотное изложение материала при ответе; попытки аргументировать собственную точку.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он знает характеристики электрических систем и сетей; конструктивное выполнение элементов электрических сетей; характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы; качество электроэнергии и его регулирование; экономичные режимы работы электроэнергетических систем. Умеет проводить анализ режимов работы электрических сетей; расчёты режимов электрических сетей; проектирование электрических сетей питающих энергосистем. При проведении экзамена студент показал наличие достаточных знаний по изучаемой проблематике; умение ориентироваться в информационном пространстве; использование и усвоение основной литературой; грамотное изложение материала при ответе.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он демонстрирует низкий уровень знаний характеристик электрических систем и сетей; конструктивного выполнения элементов электрических сетей; характеристик и параметров элементов электроэнергетической системы; качества электроэнергии и его регулирования; экономичных режимов работы электроэнергетических систем. Умеет с трудом проводить анализ режимов электрических сетей; проектирование электрических сетей питающих энергосистем. При проведении экзамена студент по-

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

ваться в информационном пространстве; использование и усвоение основной литературы; грамотное изложение материала при ответе с отдельными недочетами и ошибками; отсутствие умения в полной мере аргументировать собственную точку.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает характеристики электрических систем и сетей; конструктивное выполнение элементов электрических сетей; характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы; качество электроэнергии и его регулирование; экономичные режимы работы электроэнергетических систем. Не умеет проводить анализ режимов работы электрических сетей; расчёты режимов электрических сетей; проектирование электрических сетей питающих энергосистем.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы:

17. 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>

18. 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>

19. 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>

20. 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:

7. 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>

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

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необ-

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

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

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

3. <http://e.lanbooks.com> - Электронно-библиотечная система Лань
4. <http://docs.cntd.ru/> Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ
21. 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
--