

Практическая работа №17

Выбор номинальной мощности и числа трансформаторов на подстанции

Цель: научиться выбирать трансформаторы по номинальной мощности

Основы теории:

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

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

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

Задание:

Задача №1

Выбрать силовые трансформаторы для проектируемой сети вариант 1 и вариант 2. Определение потерь мощности в нормальном режиме наибольших нагрузок для варианта 1 и 2. В состав потребителей всех подстанций входят потребители 1 категории.

Контрольные вопросы:

1. Чем определяется выбор числа трансформаторов на подстанции?
2. Что такое перегрузочная способность трансформаторов?

3. От каких параметров работы зависит его перегрузочная способность?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

5.1.1 Перечень основной литературы:

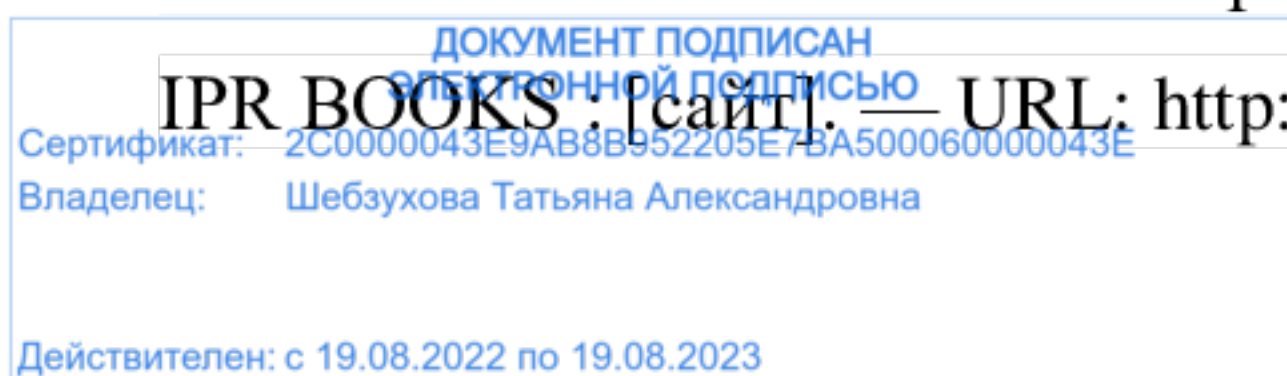
1. Кобелев А.В. Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А.В. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ,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

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

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

4. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей : учебник / М. А. Короткевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 351 с. — ISBN 978-985-06-2397-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система

IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/35574.html>



5.1.2. Перечень дополнительной литературы:

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

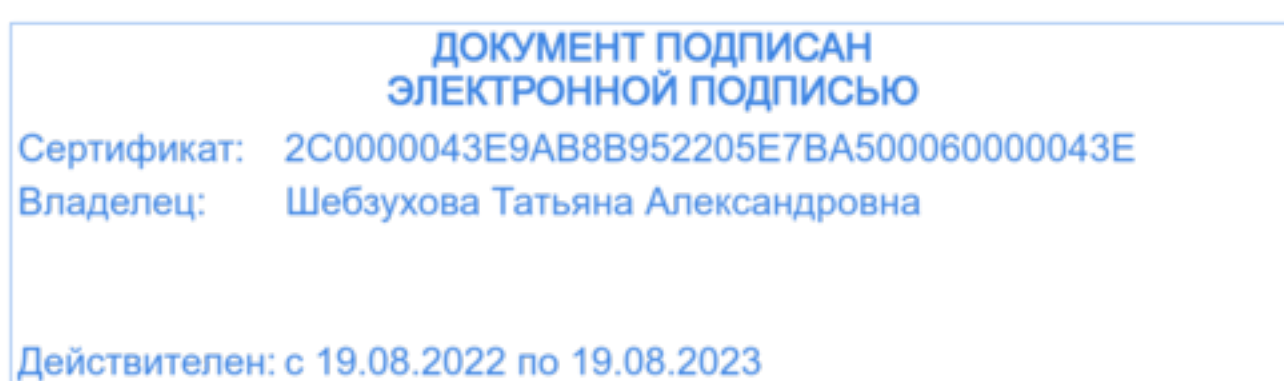
2. Русина, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — ISBN 978-5-7782-1935-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная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

5.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические 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/>



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,

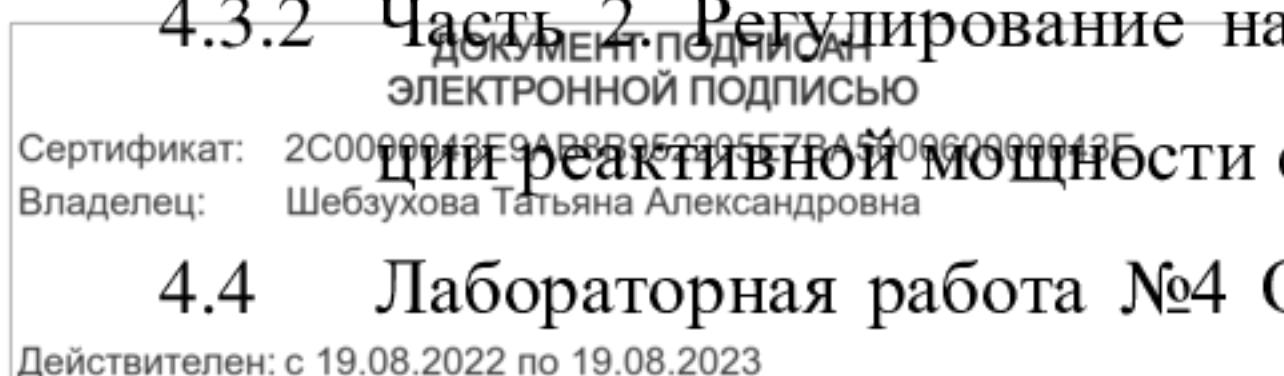
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

№	Стр
п/п	.
Введение	
1. Цель и задачи изучения дисциплины	
2. Оборудование и материалы	
3. Наименование лабораторных работ	
4. Содержание лабораторных работ	
4.1 Лабораторная работа №1 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	
4.1.1 Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора	
4.1.2 Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи	
4.1.3 Часть 3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки	
4.2 Лабораторная работа №2 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	
4.2.1 Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием	
4.2.2 Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием	
4.3 Лабораторная работа №3 РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	
4.3.1 Часть 1. Встречное регулирование напряжения	
4.3.2 Часть 2. Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи	
4.4 Лабораторная работа №4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МЕСТНОЙ	



РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

- 4.4.1 Часть 1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме
- 4.4.2 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
- 4.4.3 Часть 3 Оценка влияния места разрыва (разреза) местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, на потерю в ней активной мощности
- 4.4.4 Часть 4 Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности
- 4.4.5 Часть 5 Работа местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора точки нормального разрыва (разреза) по критерию минимума потери активной мощности
- 4.5 Лабораторная работа №5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАЙОННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
 - 4.5.1 Часть 1 Измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети
 - 4.5.2 Часть 2 Определение оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети по критерию минимума потери активной мощности

Приложение 1 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

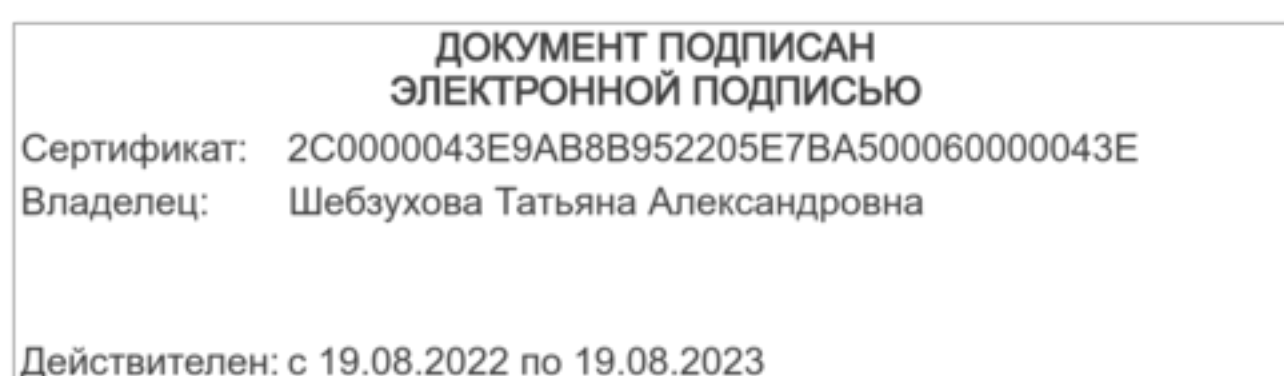
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Введение

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

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электрических схем сетей, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях.

В предлагаемом методическом указании описано пять лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.



1. Цель и задачи изучения дисциплины

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

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

Комплект типового лабораторного оборудования «Умная местная распределительная электрическая сеть» УМРЭС1-С-К.

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

3. Наименование лабораторных работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
	5 семестр		
9-32	№1 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора	1,5	
	Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи	1,5	
	Часть 3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки	1,5	
	Лабораторная работа №2 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием	1,5	
	Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием	3,0	

документ подписан
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205EZBA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2025

	ческой сети с двусторонним питанием		
	Лабораторная работа №3 РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ Часть 1. Встречное регулирование напряжения	3,0	
	Часть 2. Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи	1,5	
	Итого за 5 семестр	13,5	
	6 семестр		
9-32	Лабораторная работа №4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МЕСТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ Часть 1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме	3,0	
	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	3,0	
	Часть 3 Оценка влияния места разрыва (разреза) местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, на потерю в ней активной мощности	3,0	
	Часть 4 Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности	3,0	3,0
	Часть 5 Работа местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора точки нормального разрыва (разреза) по критерию минимума потери активной мощности	3,0	
	Лабораторная работа №5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАЙОННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ Часть 1 Измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети	6,0	
	Часть 2 Определение оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети по критерию минимума потери активной мощности	6,0	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННО ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9A688B57265E77A46E08800M13E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1

Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети

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

Основы теории:

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

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

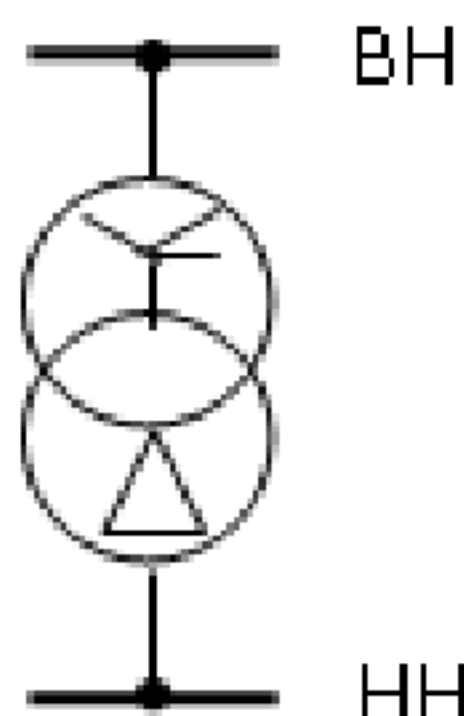


Рисунок 1.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

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

В соответствии с принятой системой обозначений аббревиатура трансформатора ТДН-10000/110/10 расшифровывается: трансформатор трехфазный, двухобмоточный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, и системой регулирования напряжения под нагруз-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB6B952205E7BA300060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

кой. Номинальная мощность – 10000 кВ·А, класс напряжения обмотки высшего напряжения – 110 кВ, низшего напряжения – 10 кВ.

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

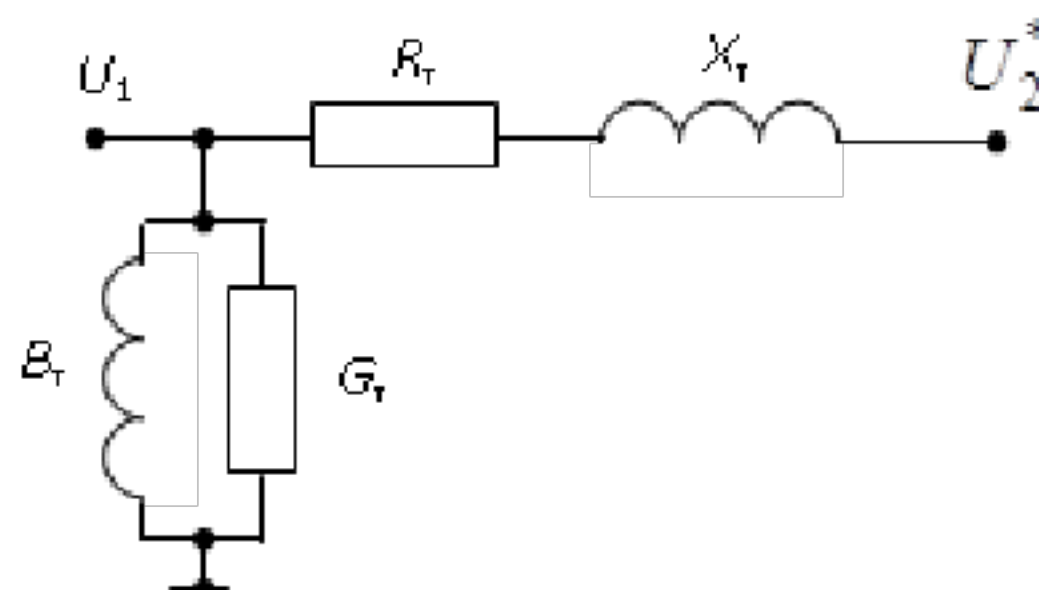


Рисунок 1.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

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

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

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

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

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

Активная проводимость обусловлена потерями активной мощности в стали трансформатора на перемагничивание и вихревые токи, реактивная проводимость – намагничивающей мощностью. В расчетах режимов элек-

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB1B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

трической сети проводимости заменяются нагрузкой, равной потерям холостого хода.

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

- потери активной мощности в режиме холостого хода ΔP_x в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания ΔP_k в кВт;
- напряжение короткого замыкания U_k , в %;
- ток холостого хода I_x , в %.

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

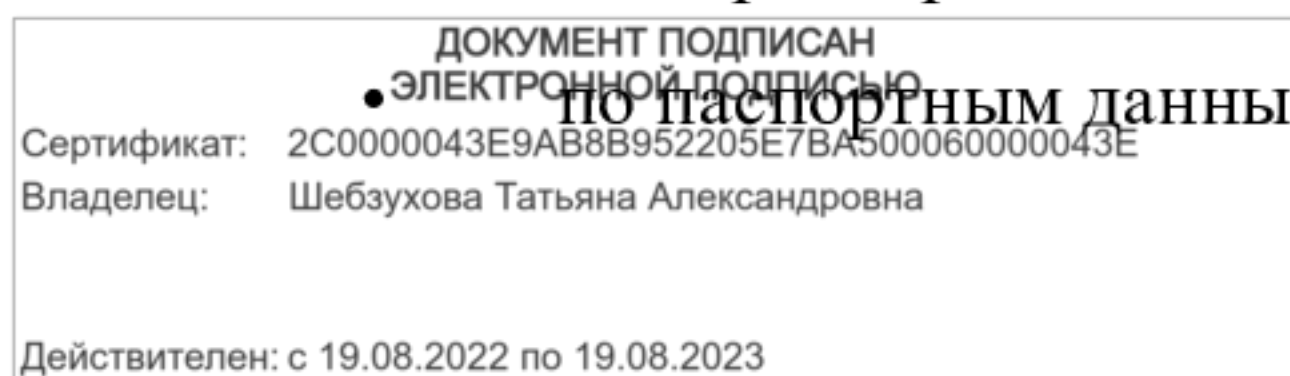
Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи. Определяются потерями холостого хода трансформатора ΔP_x , которые приводятся в его паспортных данных.

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

$$\Delta Q_{ст} = \Delta Q_x = \frac{I_x}{100} S_{ном}.$$

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

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



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

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

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

где: S – мощность нагрузки;

U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

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

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

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

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны:

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

Разделив эти выражение, получим:

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

Откуда найдем $\Delta P_{\text{мд}}$:

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000045E2

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

$$\Delta P_T = \Delta P_x + \Delta P_k \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2;$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}}.$$

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

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

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_x + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}}.$$

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

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} \left[\Delta P_{\text{кв}} \left(\frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{кс}} \left(\frac{S_{\text{с}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{кн}} \left(\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right];$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_x + \frac{1}{100 \cdot n \cdot S_{\text{НОМ}}} (U_{\text{кв}} \cdot S_{\text{в}}^2 + U_{\text{кс}} \cdot S_{\text{с}}^2 + U_{\text{кн}} \cdot S_{\text{н}}^2),$$

где: $S_{\text{в}}$, $S_{\text{с}}$, $S_{\text{н}}$ – соответственно мощности, проходящие через обмотки высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора.

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C00000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E
Владелец: Шебакова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220 / 198...242 В
A3...A6	Модель трансформаторной подстанции и нагрузки	3356	~ 220 В / 0...20 В _Т / 0...20 ВА _р
A7	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A12	Емкостная нагрузка	317.3	~ 220 В / 0...30 ВА _р
A14	Удлинитель переносной четырех-местный	-	~ 220 В / 16 А
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

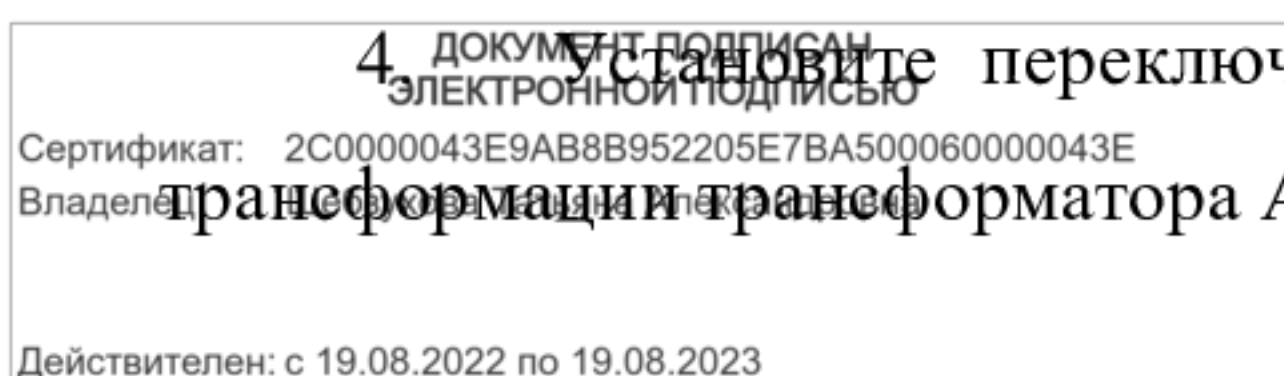
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.

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



5. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в моделях А3...А6 равными, например, 10 Вт и 0 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров Р1, Р2 и моделей А3...А6.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Кнопкой « < » измерителей Р1 и Р2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима на первичной и вторичной сторонах трансформатора А1 (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности, коэффициенты мощности, частоту напряжения).
11. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров Р1, Р2 и моделей А3...А6, однофазный источник питания G1.

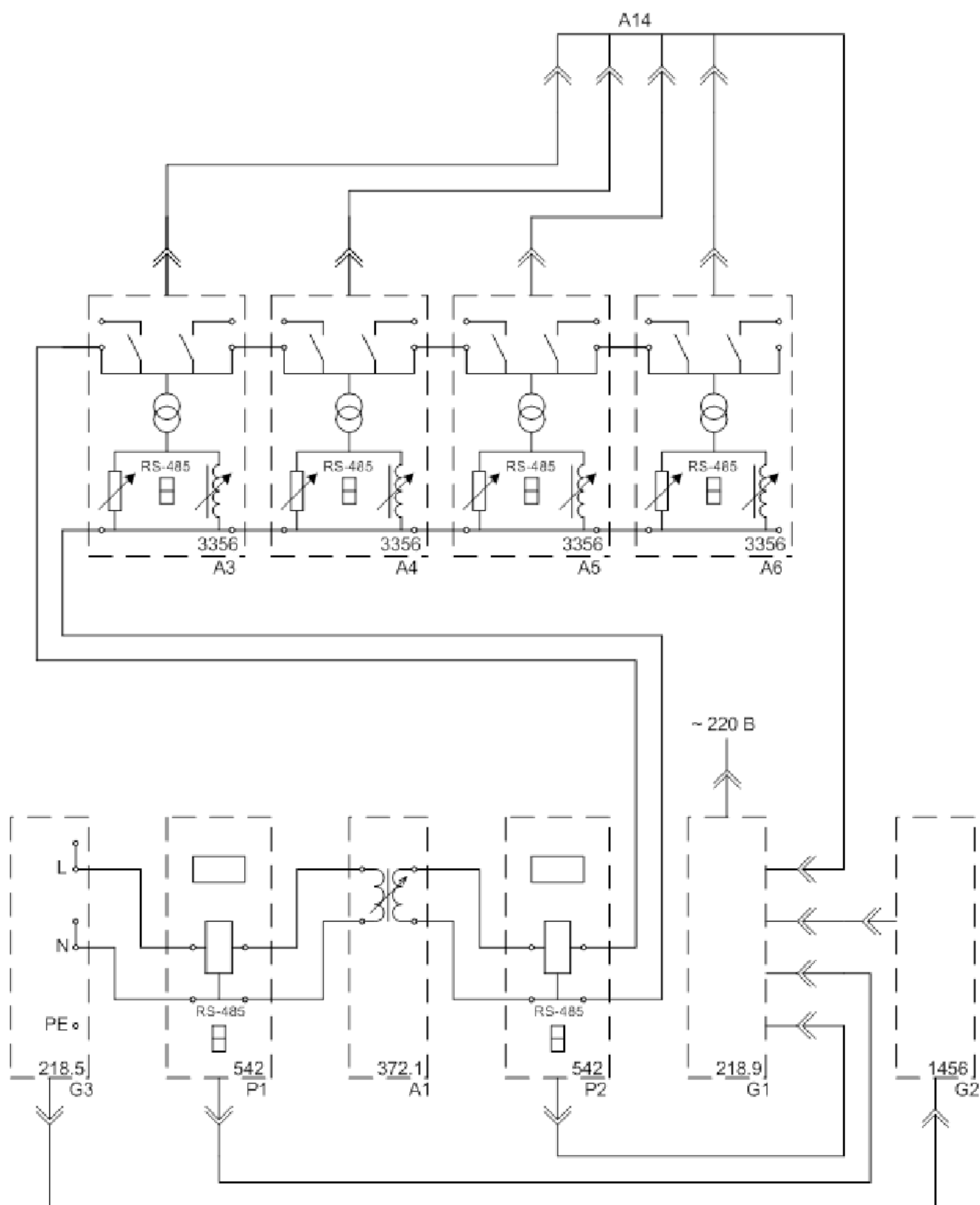


Рисунок 1.3 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

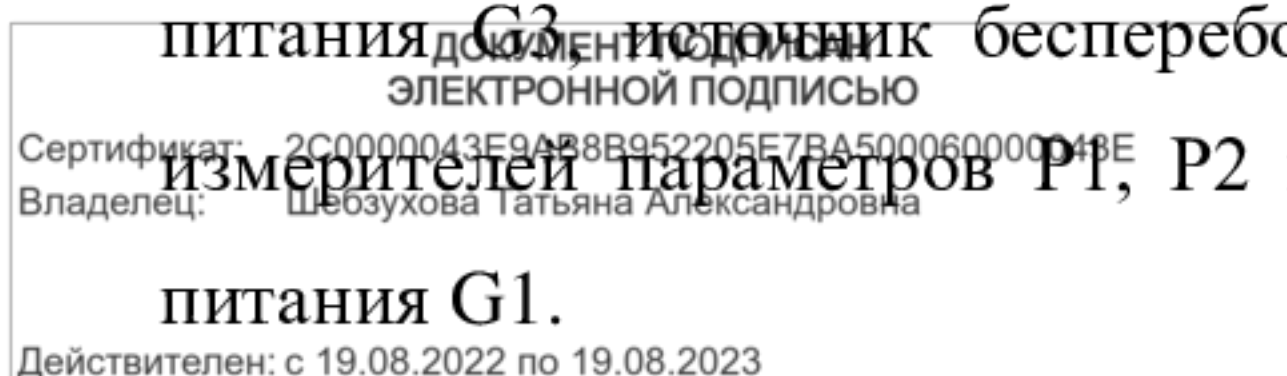
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.4.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры модели A7, линии электропередачи и нагрузок в моделях A3...A6 соответственно равными, например, 50 Ом; 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A5.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Кнопкой « < » измерителей P1 и P2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима в начале и конце модели A7 линии электропередачи (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности).
11. По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A5, однофазный источник питания G1.



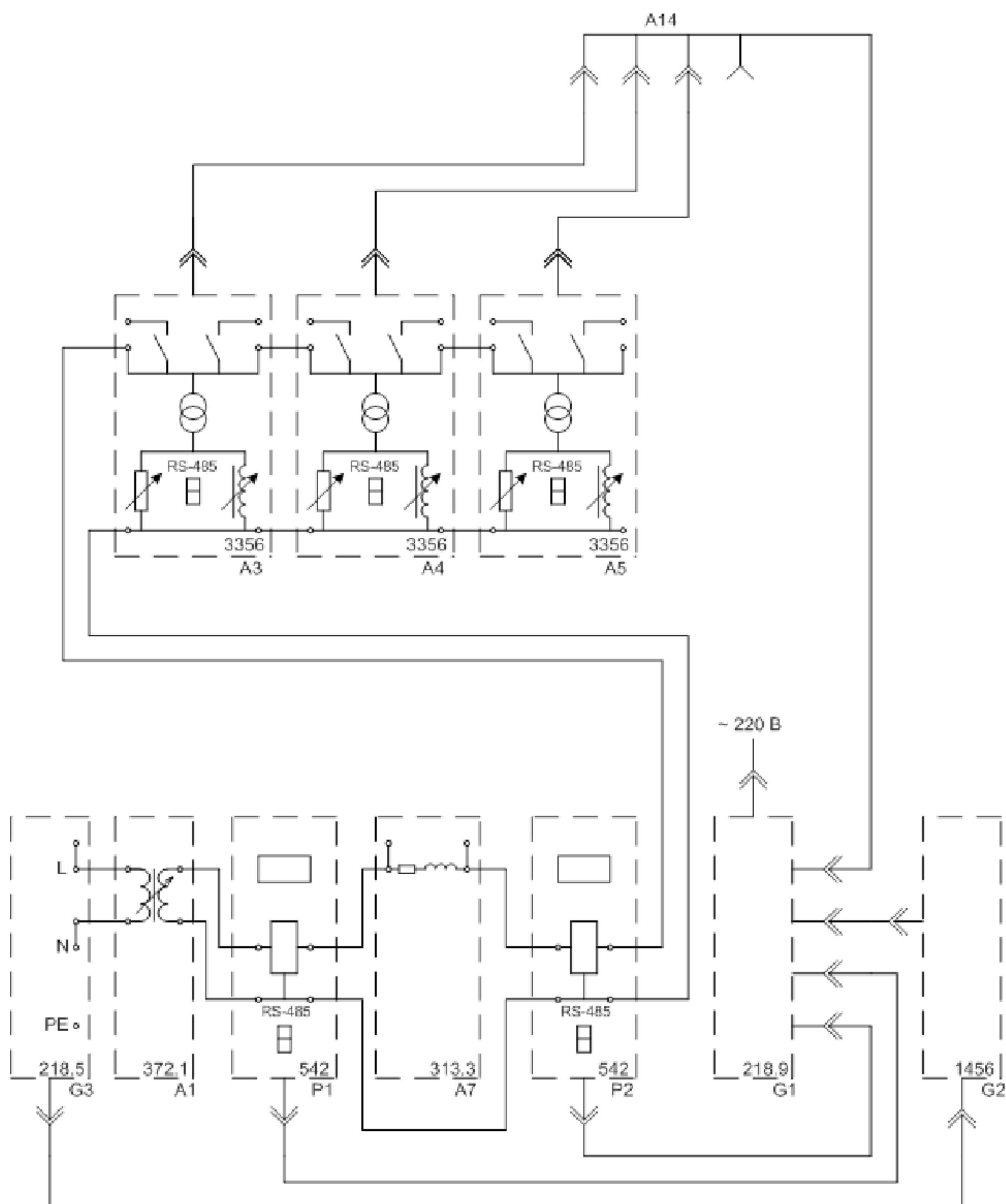


Рисунок 1.4 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы линии электропередачи.

Часть 3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями параметры модели A7, линии электропередачи соответственно равными 50 Ом и 0,15 Гн.
6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в модели A3, например, соответственно равными 10 Вт, 10 Вар.
7. Установите переключателями желаемую емкостную нагрузку A12, например, 0 %.
8. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
9. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и модели A3.
10. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
11. Включите однофазный источник питания G3.
12. Варьируя коэффициент трансформации трансформатора A1, изменяйте напряжение U на нагрузке A3, A12 и заносите показания измерителя P1 (напряжение U , активную P и реактивную мощность Q , потребляемую нагрузкой) в таблицу 1.1.

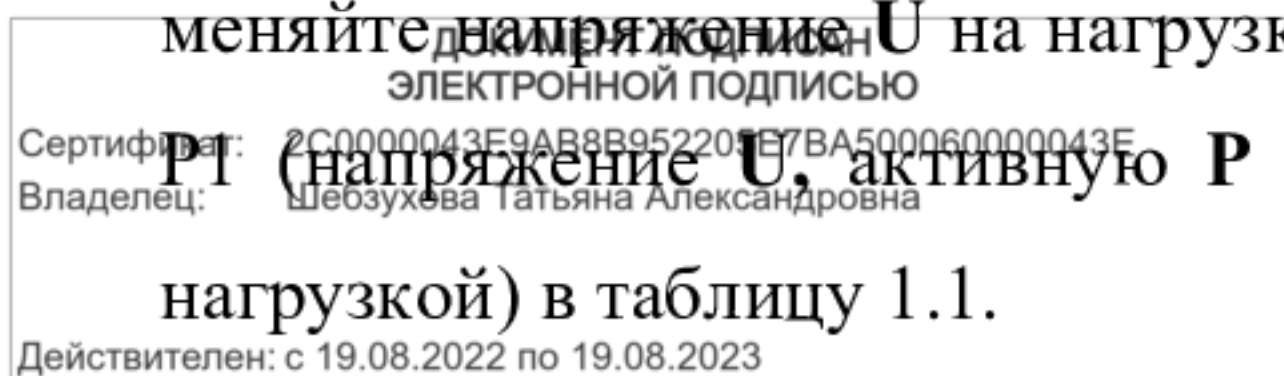
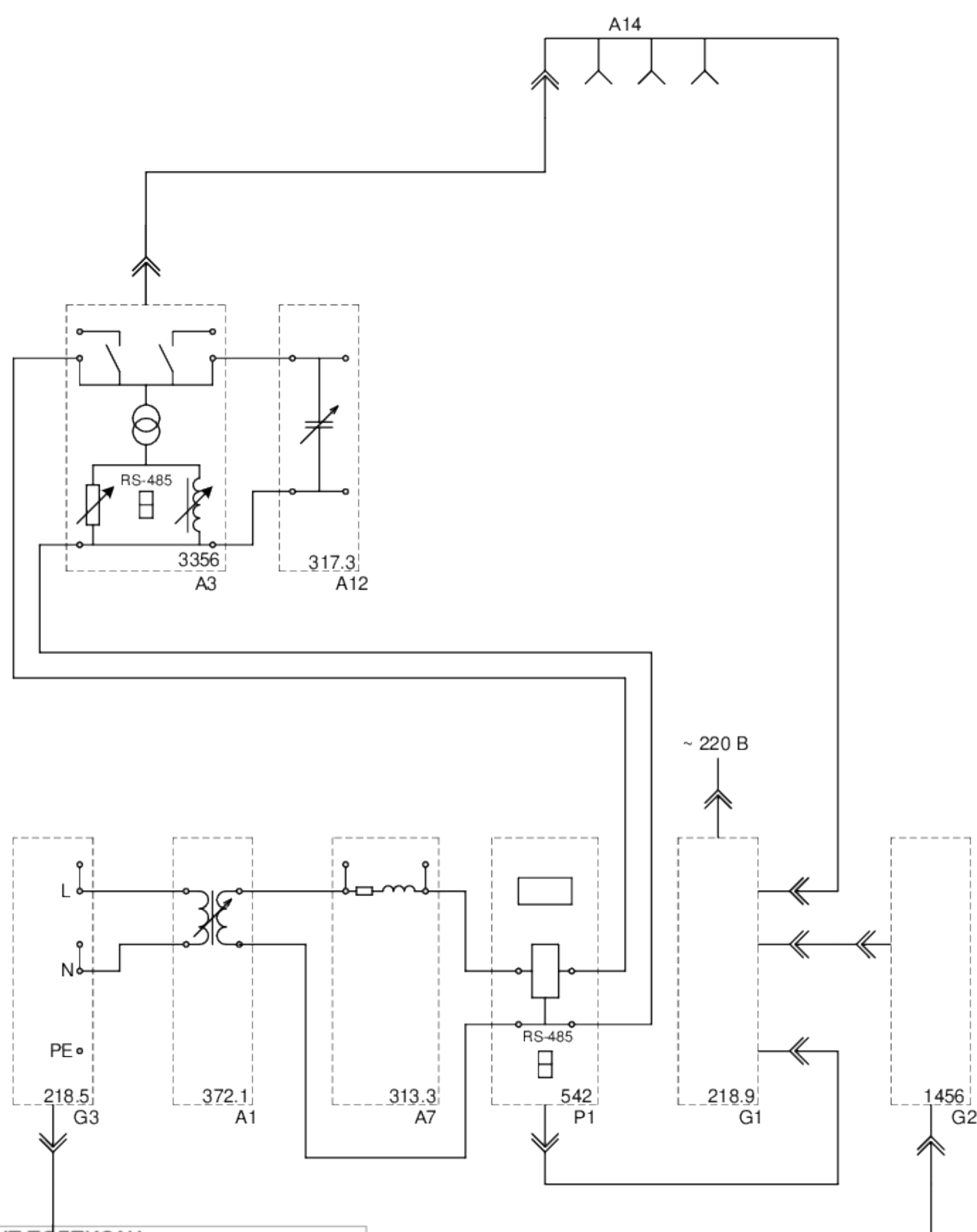


Таблица 1.1 – Результаты снятия показаний

U, В											
P, Вт											
Q, ВАр											

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

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



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C00001359E7BA50X061004B
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

1. Какие схемы замещения применятся для моделирования и расчетов трансформаторов?
2. Какие данные необходимы для вычисления активного сопротивления схемы замещения трансформатора?
3. От чего зависят потери холостого хода трансформатора?
4. В каких случаях применяют П-образные схемы замещения трансформатора?
5. Какими параметрами характеризуется установившийся режим работы

Лабораторная работа № 2

Установившиеся режимы распределительных электрических сетей.

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

Основы теории:

Документ подписан
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0010643F5A1B8B05E7B459006B300043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Измерения и расчеты установившихся режимов выполняют для того, чтобы определить, насколько приемлем рассматриваемый режим с точки

зрения качества доставляемой потребителю электрической энергии и соответствия токов в линиях допустимым токам.

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

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

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

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

где: $\underline{S}_i$ – комплекс полной мощности, протекающей по i -му участку сети;

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

n – число участков сети в контуре.

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

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

где: P_i и Q_i – соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по i -му участку сети;

R_i и X_i – соответственно активное и реактивное сопротивления i -го участка.

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

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

точки потокораздела, по ним находят потери мощности на участках и потоки

в начале и конце каждого участка, двигаясь в направлении от точки потоко-раздела к опорному (балансирующему) узлу.

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

Мощность в начале участка 2 - 3:

$$P_{23}^H = P_{23}^K + \Delta P_{23}; \quad Q_{23}^H = Q_{23}^K + \Delta Q_{23}.$$

Мощность в конце следующего участка 1 – 2:

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

где: P_{2p} , Q_{2p} – расчётные мощности в узле 2.

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

Определив мощность вблизи балансирующего узла, можно найти напряжения во всех точках сети. Например, если известны мощности в начале участка 1-2 P_{12}^H и Q_{12}^H , можно определить напряжение в узле 2:

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

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

Документ подписан
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

			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
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.

Указания по выполнению лабораторной работы:

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок в моделях A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебанкова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров Р1 и моделей А3, А4.

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 А15, с помощью измерителя Р1, манипулируя кнопкой «<», определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора А15 измеряются параметры режима соответственно на входе трансформатора А1, в начале и конце линии электропередачи А7, начале и конце линии электропередачи А8).

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

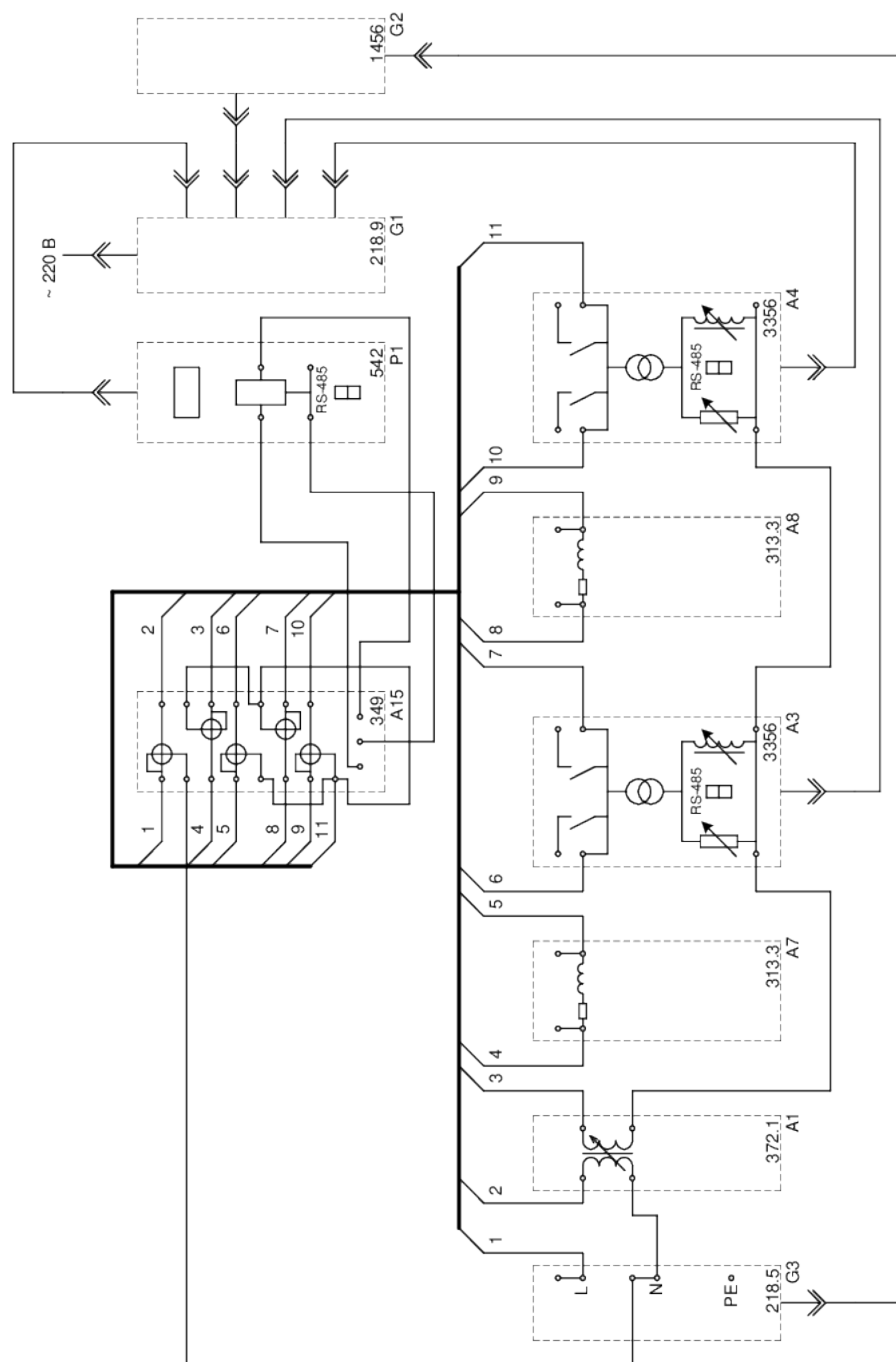


Рисунок 2.1 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с одно-сторонним питанием.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

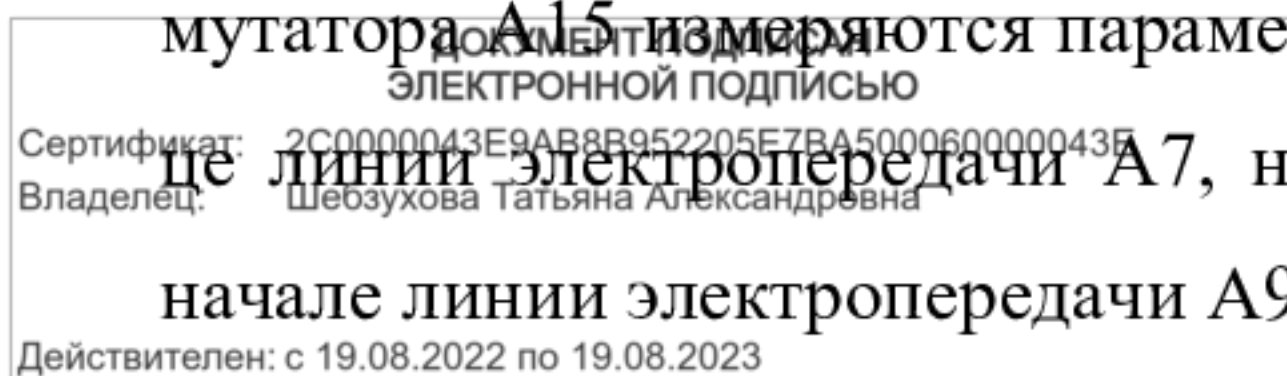
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.2.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A9 линий электропередачи и нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой «<», определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима соответственно в начале и конце линии электропередачи A7, начале и конце линии электропередачи A8, начале линии электропередачи A9).



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

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

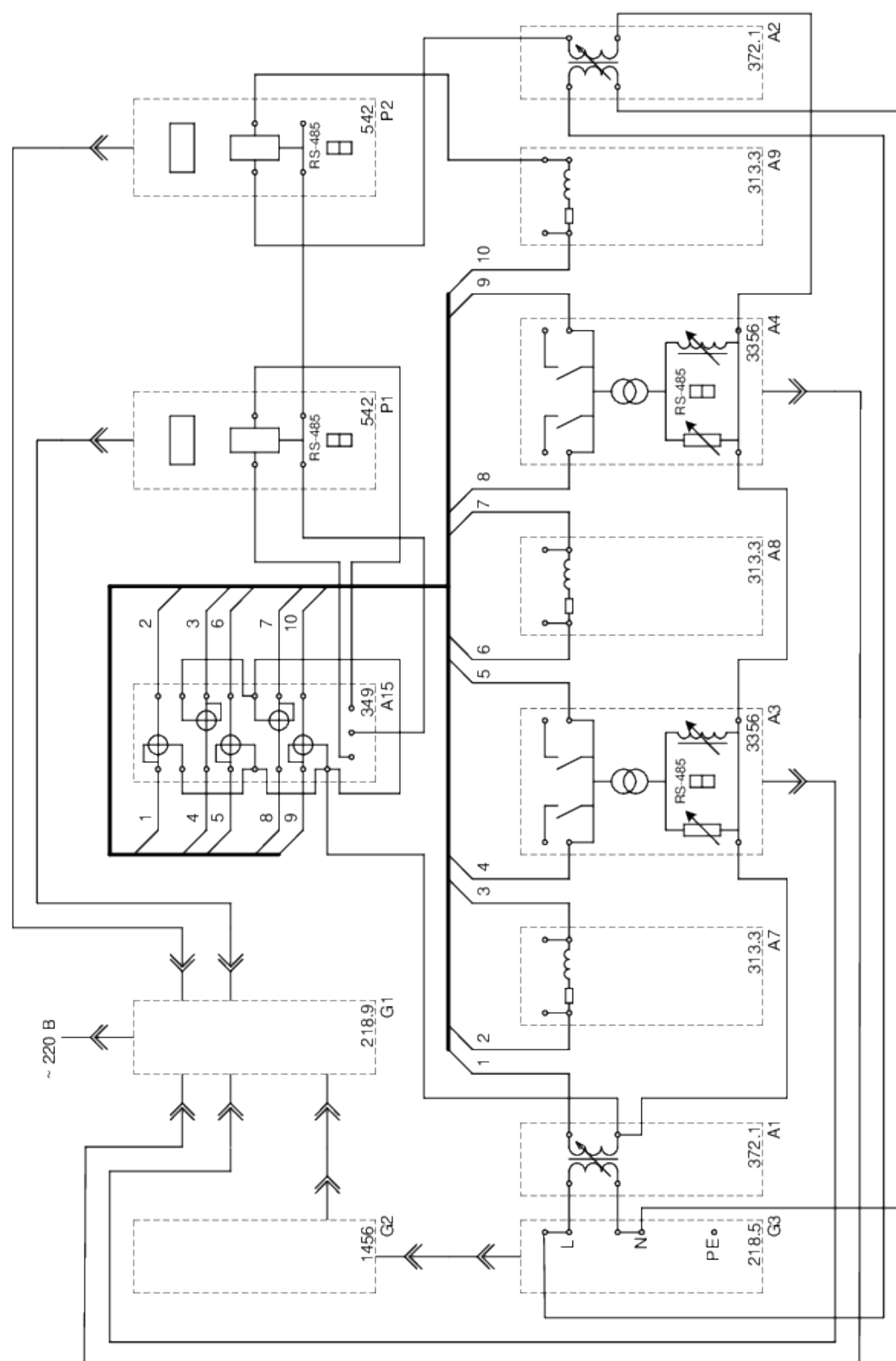


Рисунок 2.2 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Содержание отчета:
Отчет должен содержать:
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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:

6. Какая точка в сети называется точкой потокоораздела?
7. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

Лабораторная работа №3

Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях

Цель: Приобрести навыки регулирования в распределительных электрических сетях

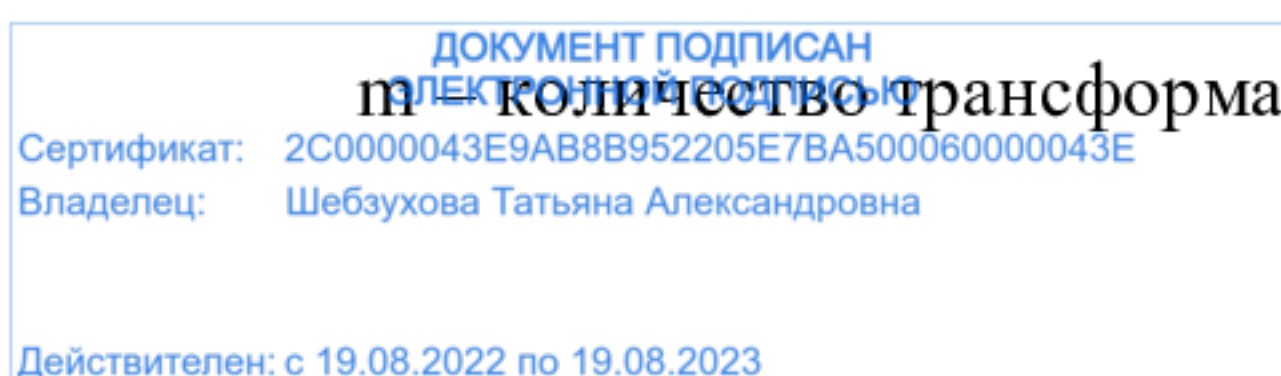
Основы теории:

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

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

где E' и E'' – соответственно продольная и поперечная составляющие ЭДС;

m – количество трансформаторов в контуре.



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

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

Эта ЭДС будет создавать уравнительную мощность:

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

Если в контуре создаётся только продольная ЭДС, то:

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

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
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

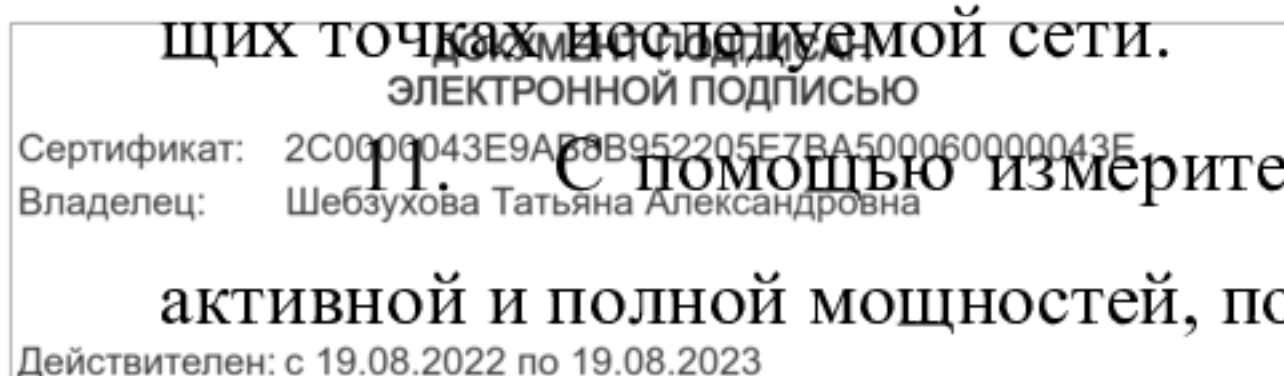
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA50066000041E
Владелец: Шабзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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 интересующих точках исследуемой сети.



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

12. Встречное регулирование напряжения осуществляйте изменением коэффициента трансформации трансформатора 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.

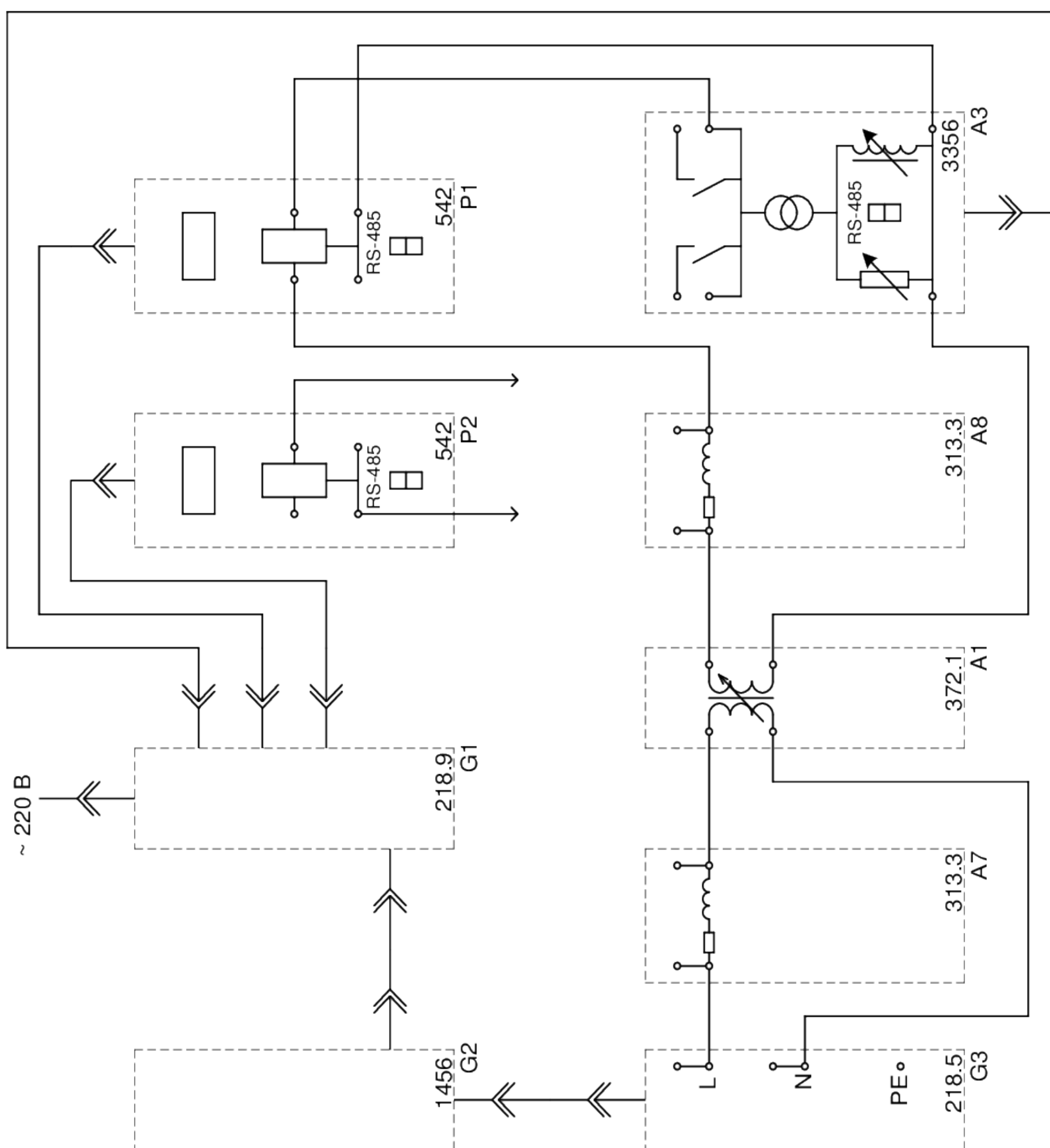


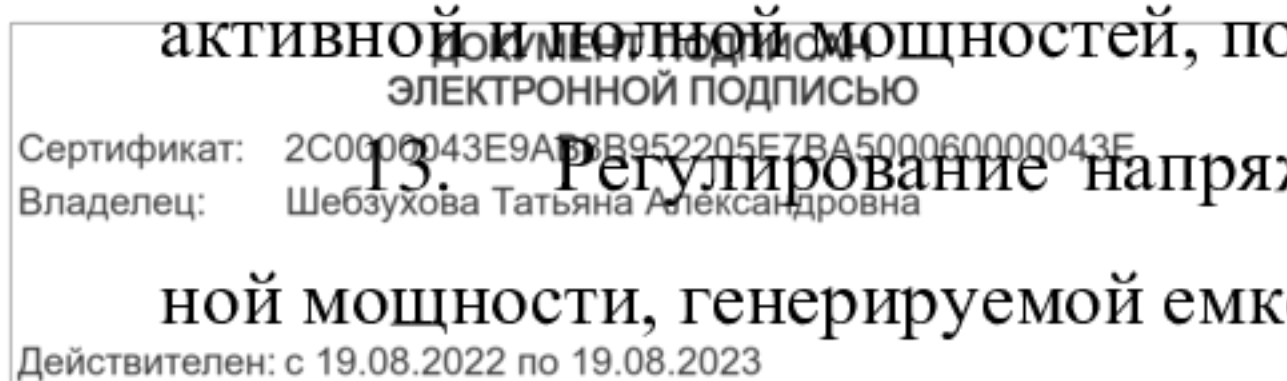
Рисунок 3.7 – Схема для изучения встречного регулирования напряже-

ния.

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 полной мощностей, потребляемых нагрузкой.

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



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

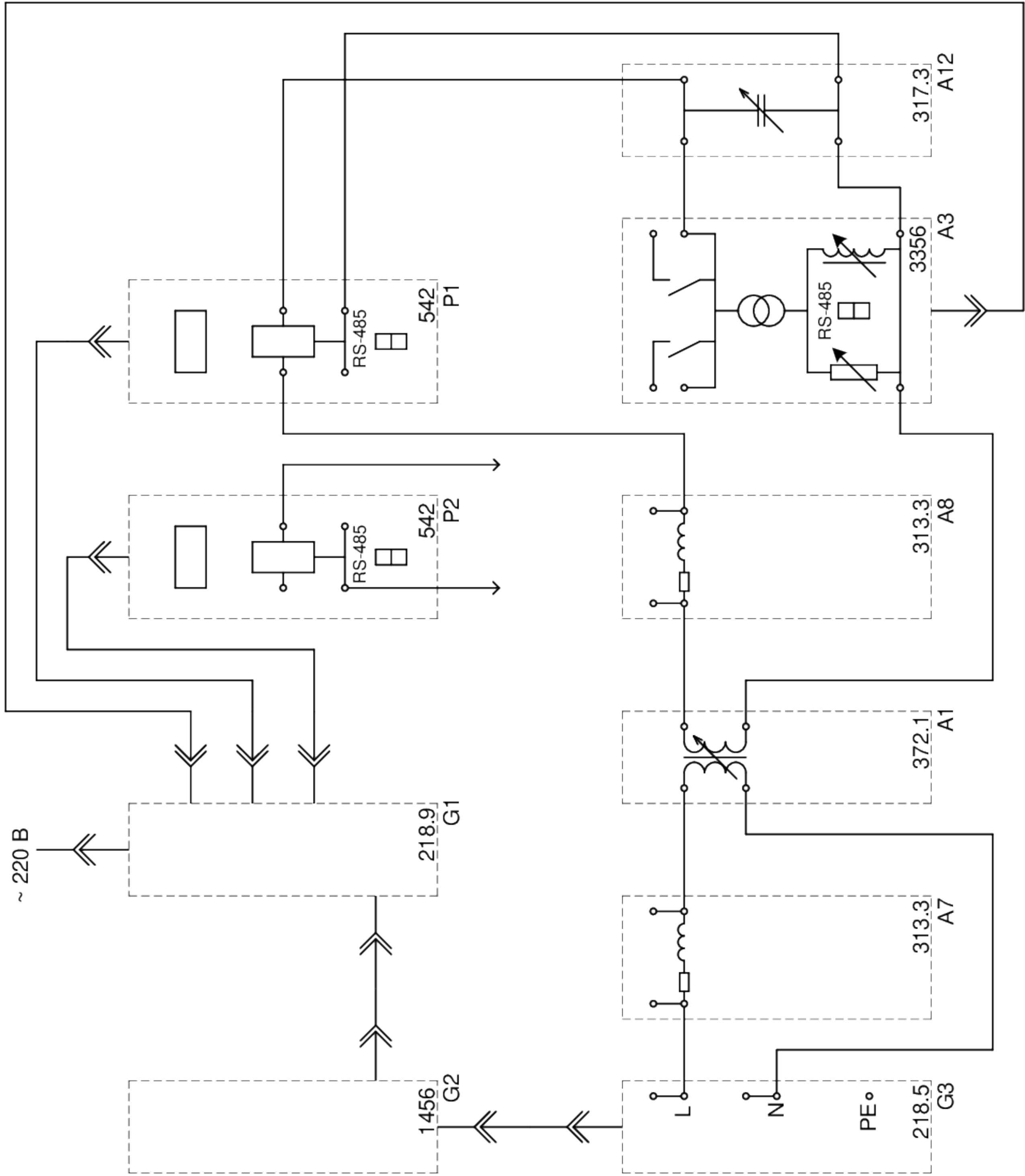


Рисунок 3.8 – Схема для изучения регулирования напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Содержание отчета:

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

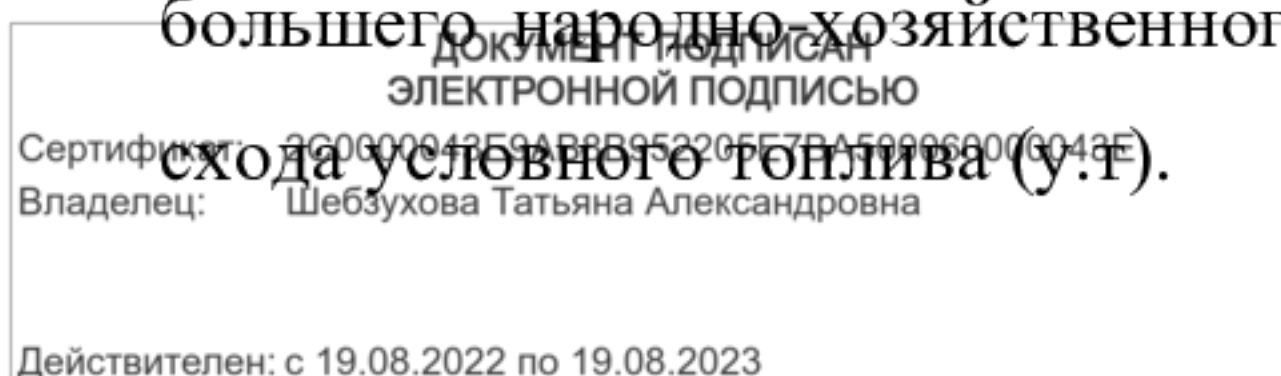
Цель: Приобрести навыки оптимального управления нормальными режимами в ЭС

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 народного хозяйственного эффекта по критерию минимального ра-

схода условного топлива (у.т).



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

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

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

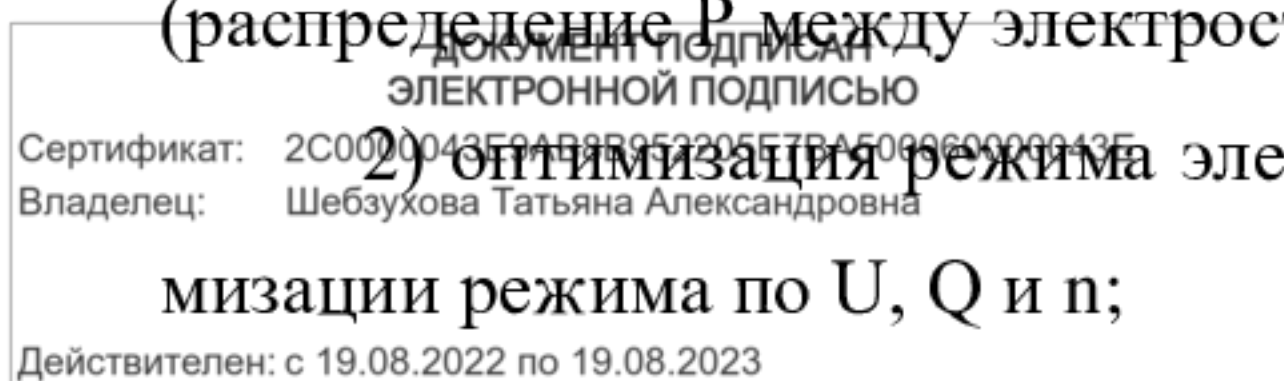
В качестве (минимизируем) целевой функции принимаются издержки за интервал времени между двумя, управляющими воздействиями, либо (при равенстве этих интервалов) издержки в единицу времени.

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



3) более общая задача комплексной оптимизации режима ЭС.

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

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

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

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

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

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
A7...A11	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Чебакова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

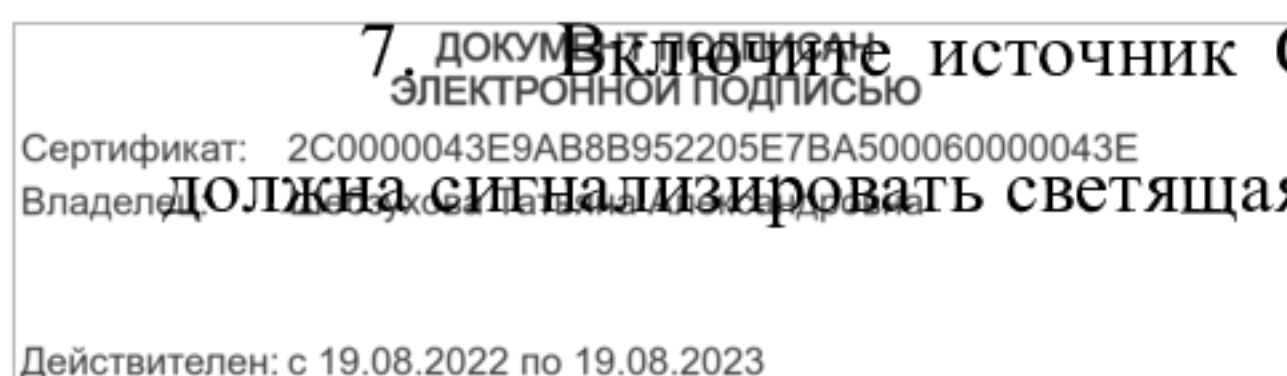
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

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



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

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 $A_3...A_6$ измерьте соответствующие активные мощности $P_3...P_6$, 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 $A_3...A_6$, однофазный источник питания G_1 .

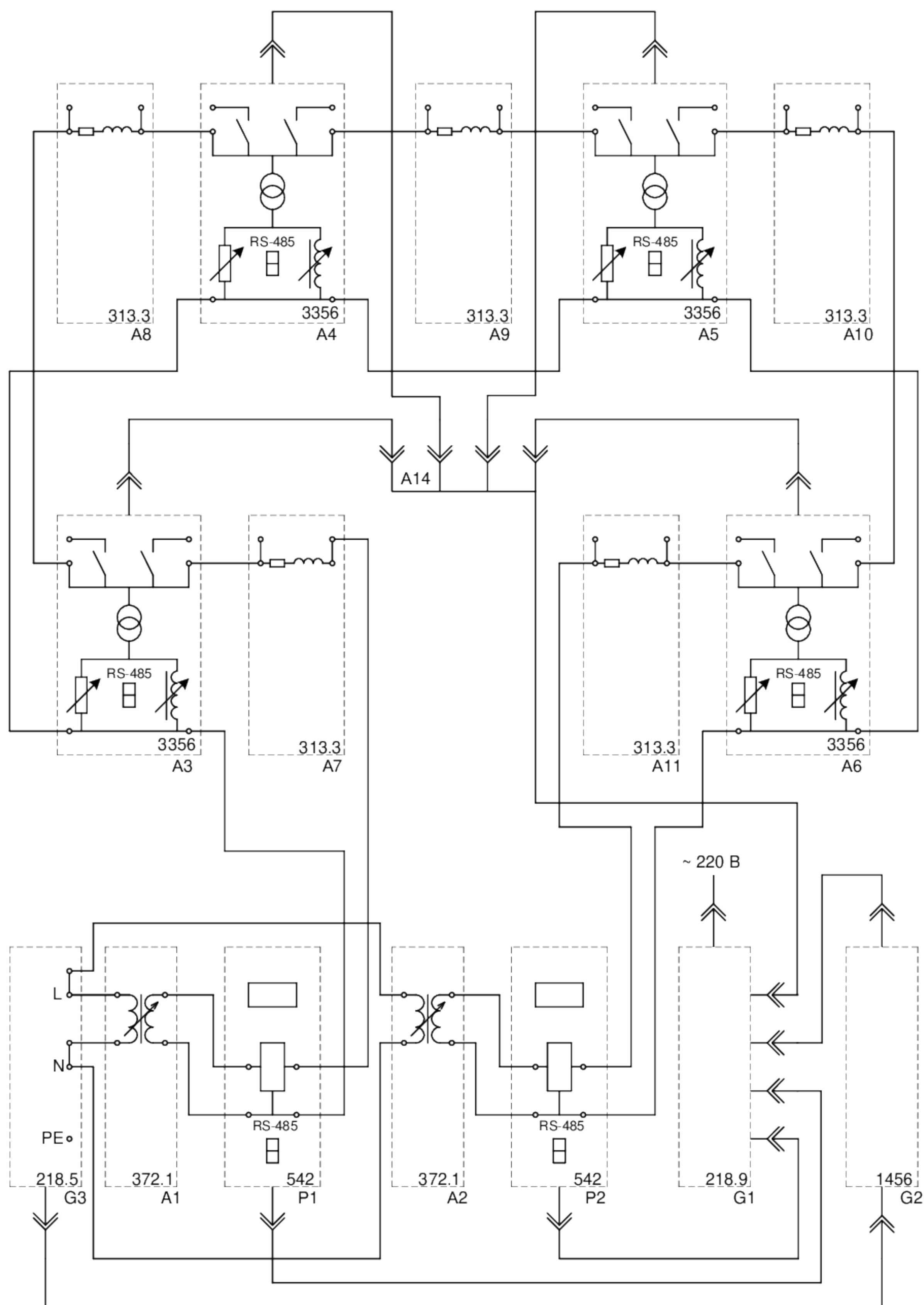


Рисунок 4.1 – Схема для определения точки нормального (оптимально-го) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети.

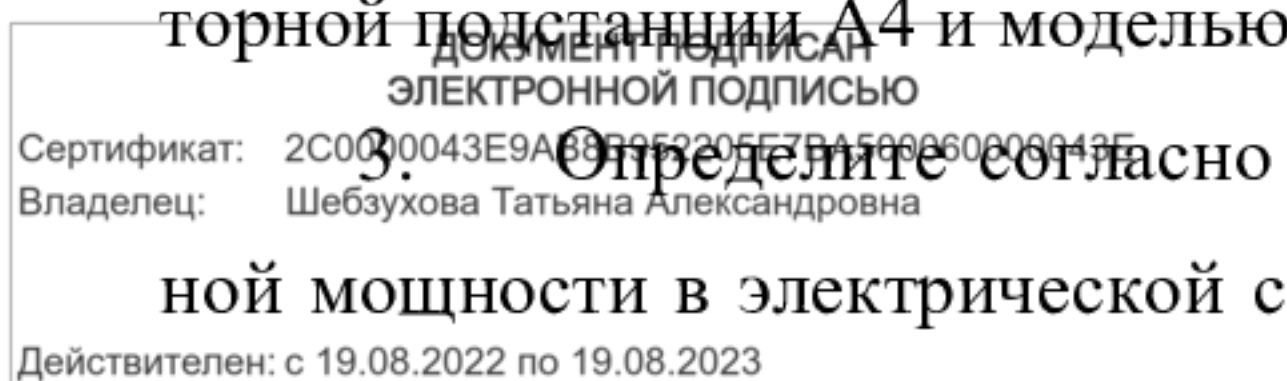
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

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

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

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



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

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

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

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

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

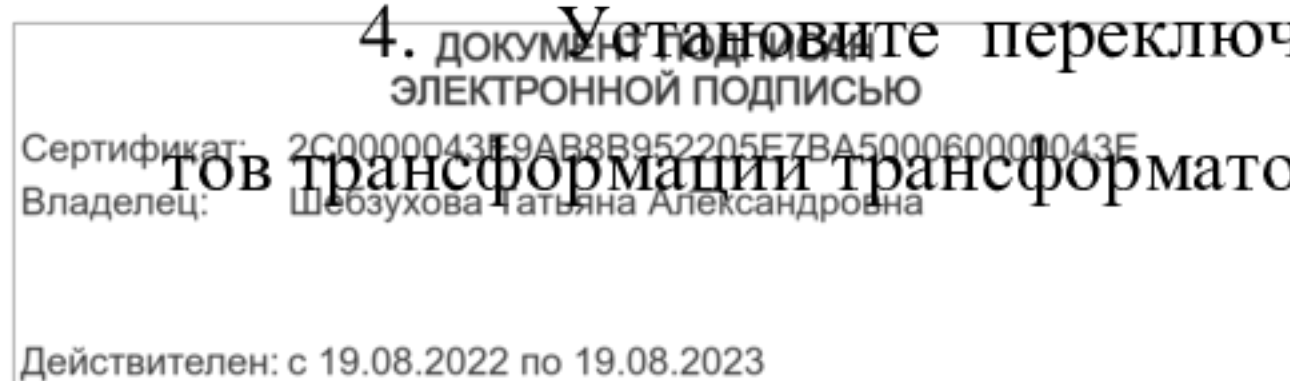
Часть 4. Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности

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 коэффициентов трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равными 1,0.



15. Вычислите поток полной мощности от второго центра питания (трансформатора А2) по модели линии электропередачи А11 к модели подстанции и нагрузок А6 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 А8 от модели подстанции А3 к модели подстанции А4 по выражению

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

17. Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи А9 от модели подстанции А4 к модели подстанции А5 по выражению

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

18. Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи А10 от модели подстанции А5 к модели подстанции А6 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.

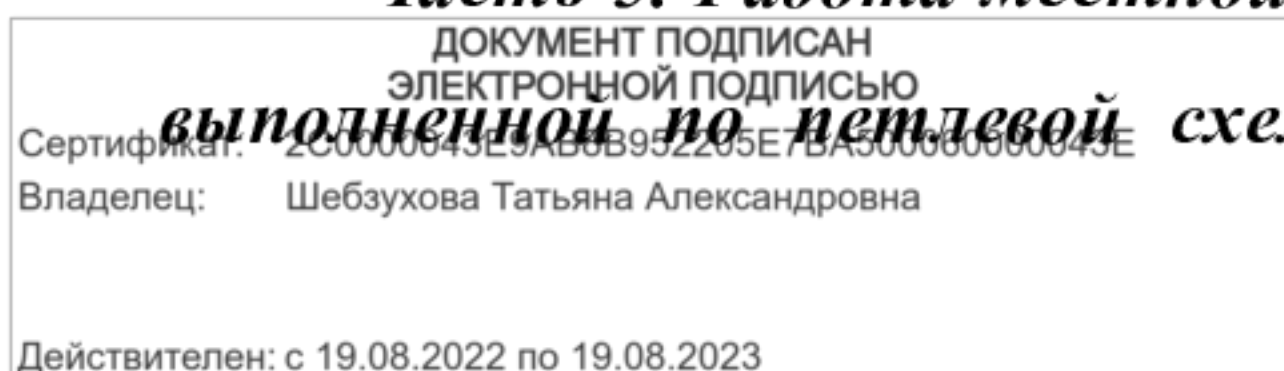
20. Определите узел потокораспределения – узел, к которому мощности притекают с разных сторон.

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,

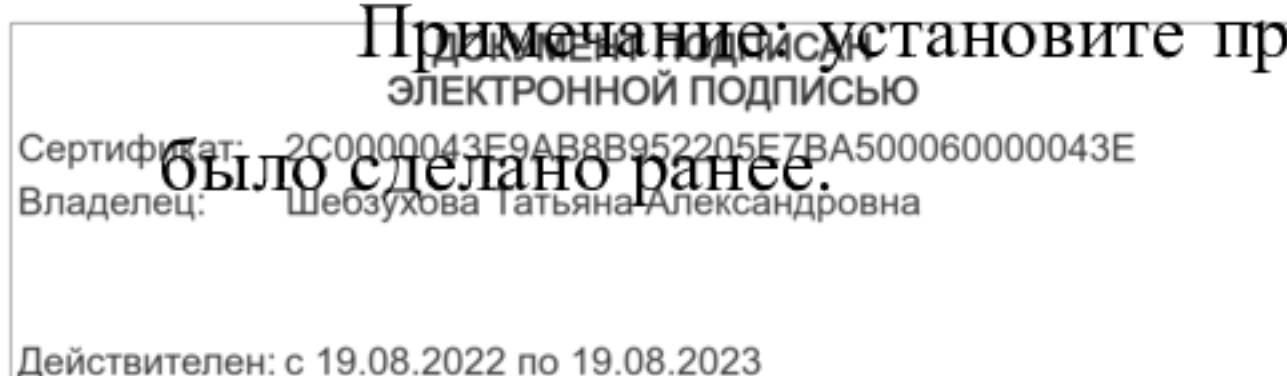
выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора



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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " 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.

Примечание: установите программное обеспечение на ПК, если это не



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.

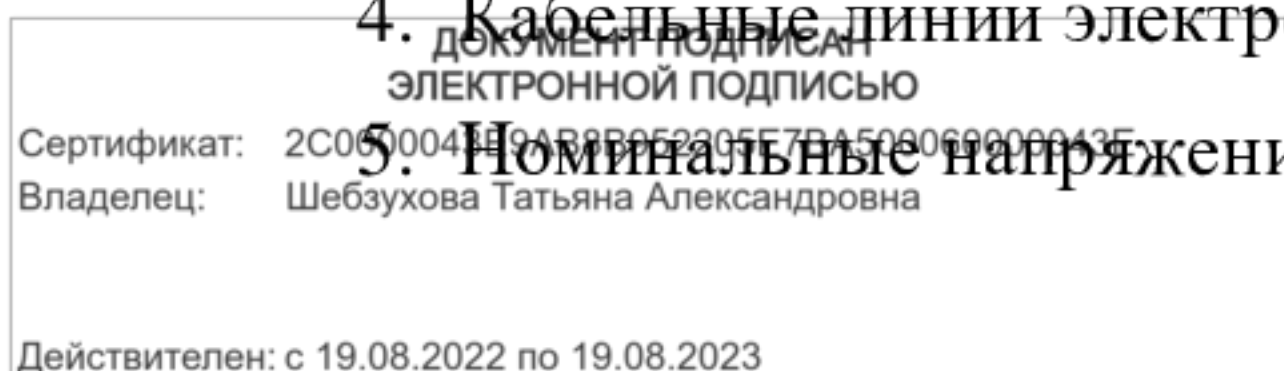
Содержание отчета:

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. Кабельные линии электропередачи
5. Номинальные напряжения и классификация электрических сетей



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

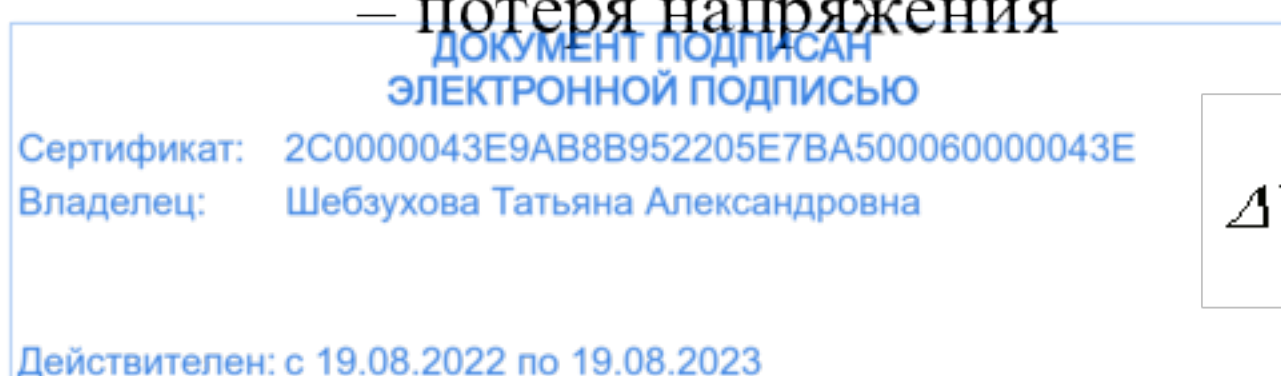
$$\Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{КУ}})^2}{U^2} X;$$

– зарядная мощность

$$Q_c = U^2 B;$$

– потеря напряжения

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



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

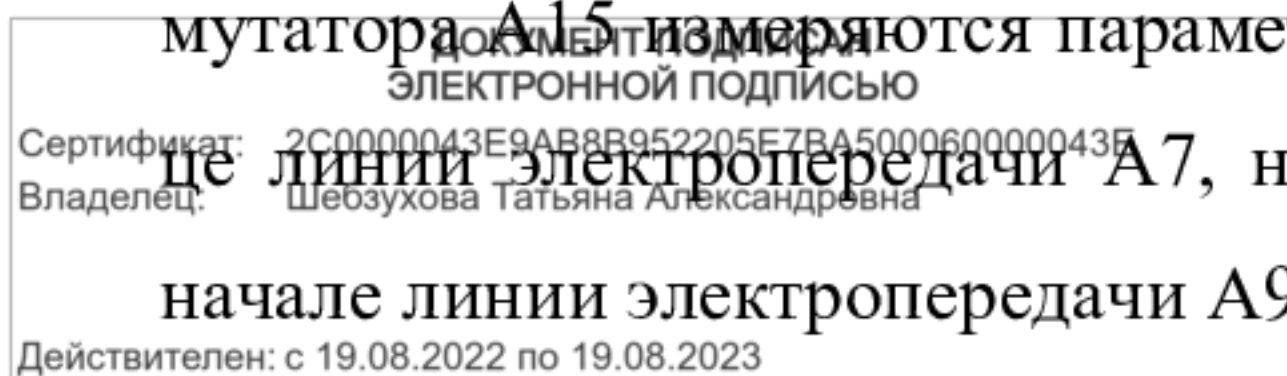
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

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

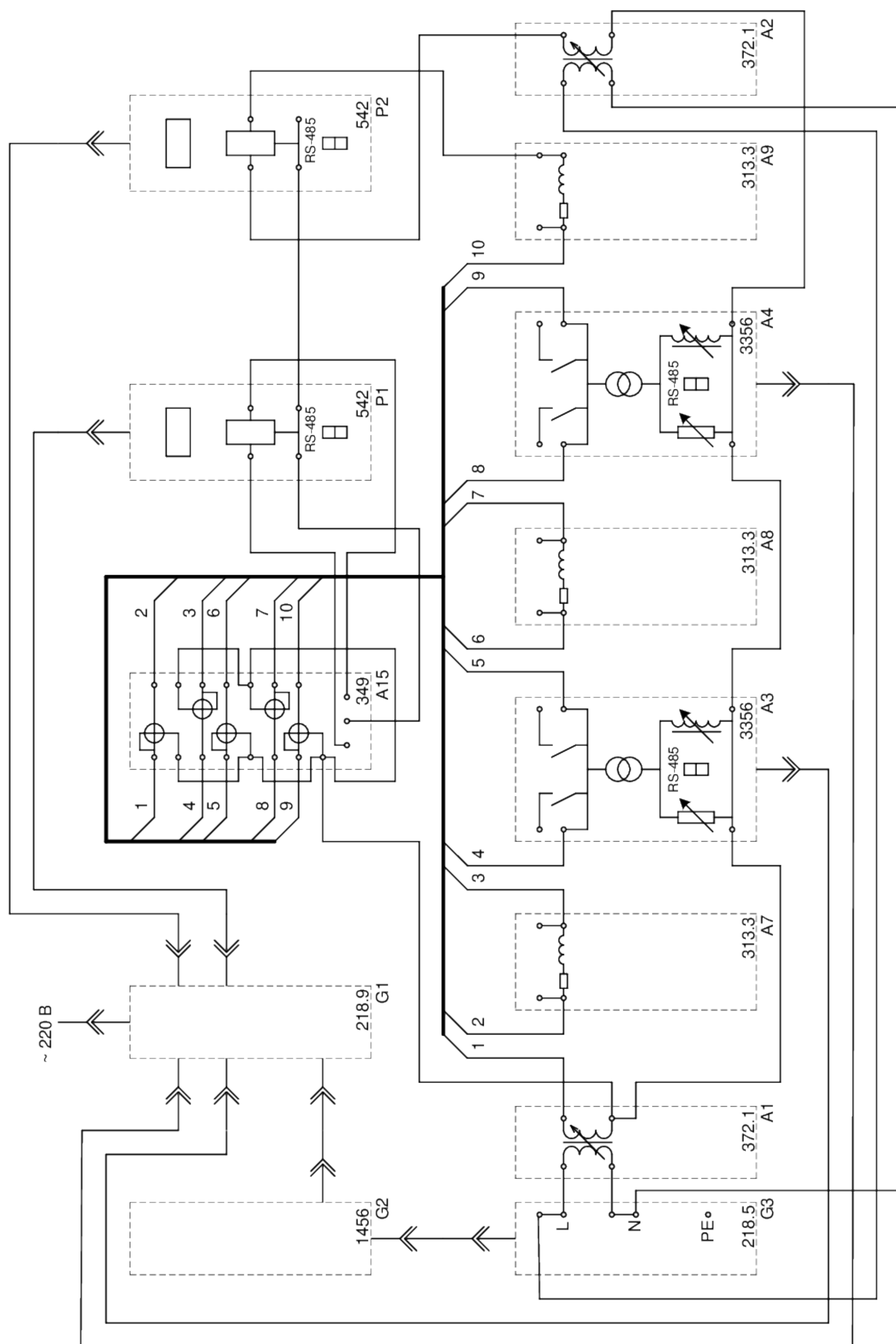
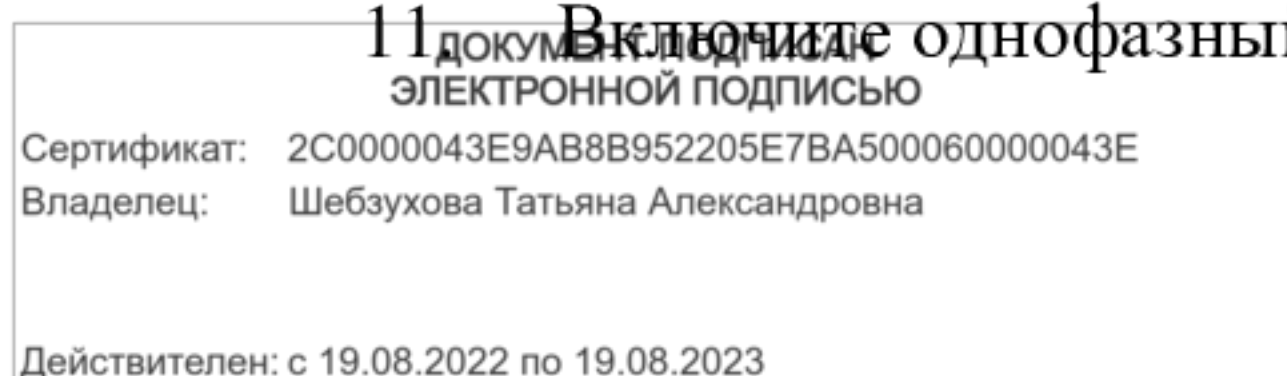


Рисунок 5.1 – Схема для измерения потоков распределения и определения потерь мощности в замкнутой (кольцевой) распределительной электрической сети.

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

$Q_{12}, \text{ВАр}$										
$\Delta P, \text{Вт}$										

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

$Q_{12}, \text{ВАр}$										
$\Delta P, \text{Вт}$										

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.

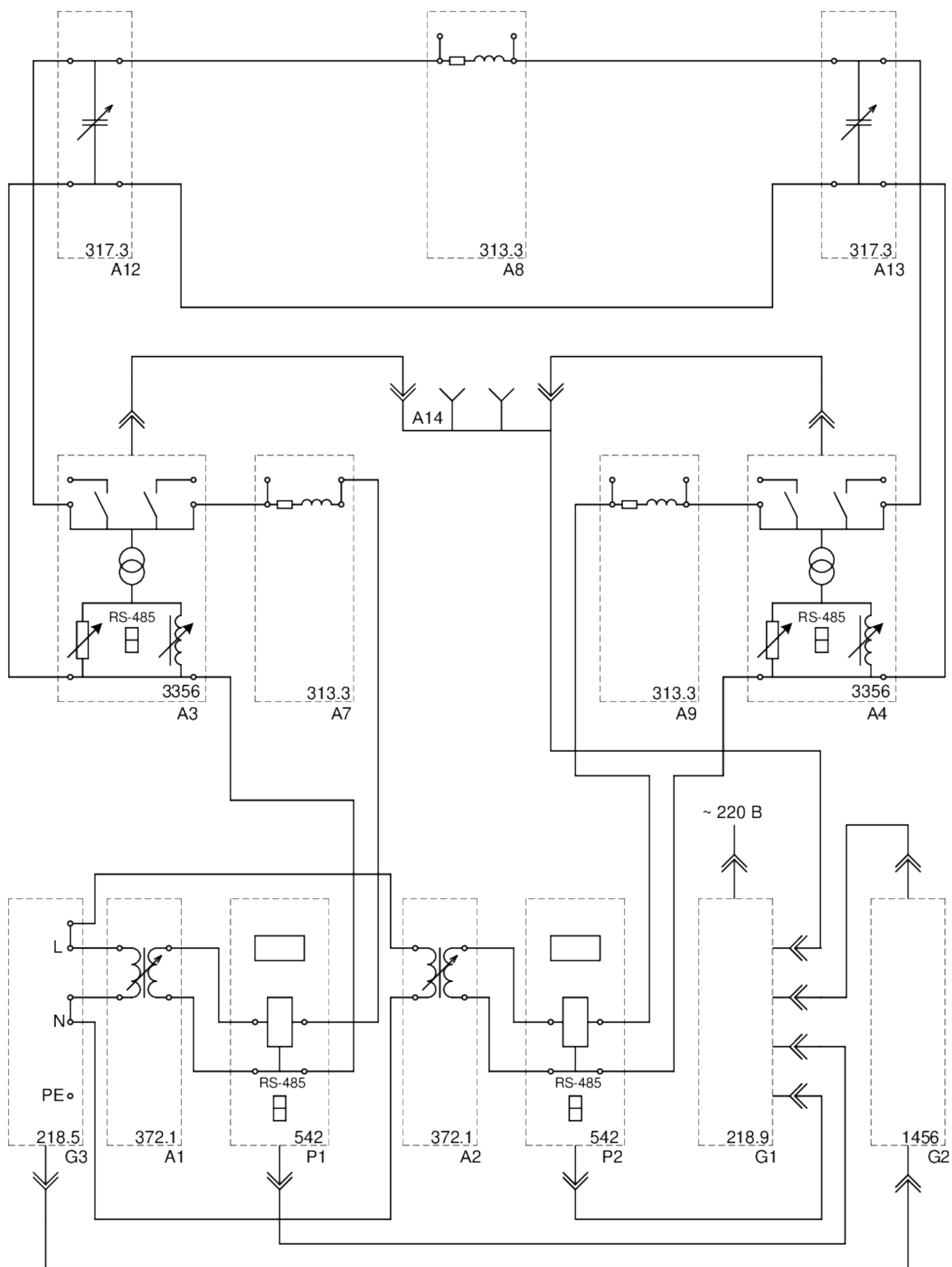


Рисунок 5.2 – Схема для определения оптимальной мощности компенсирующих конденсаторных устройств в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
 Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023
--

5. 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>

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>

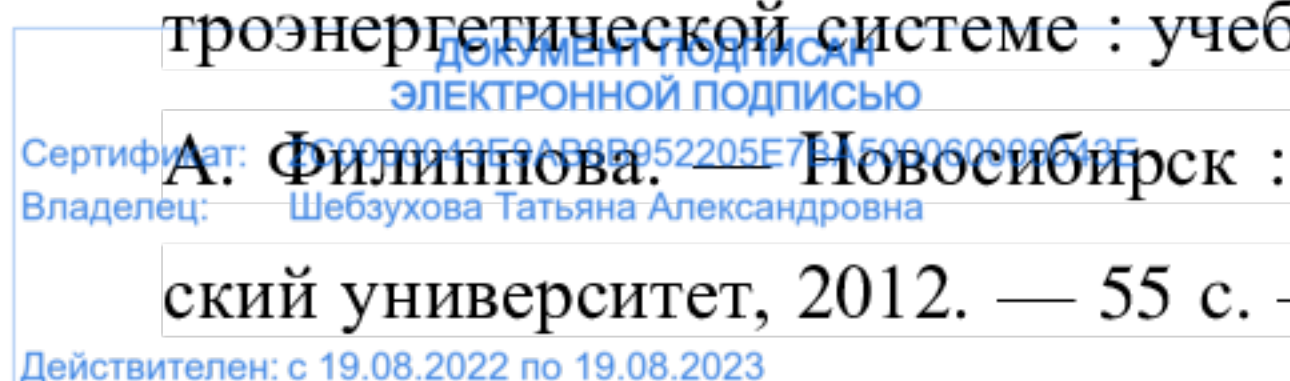
7. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Шаталов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014. — 140 с. — 978-5-9596-1059-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47317.html>

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. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

4. Руси́на, А. Г. Балансы мощности и выработки электроэнергии в электроэнергетической системе : учебно-методическое пособие / А. Г. Руси́на, Т. А. Филиппова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 55 с. — 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/>

Указание по технике безопасности:

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

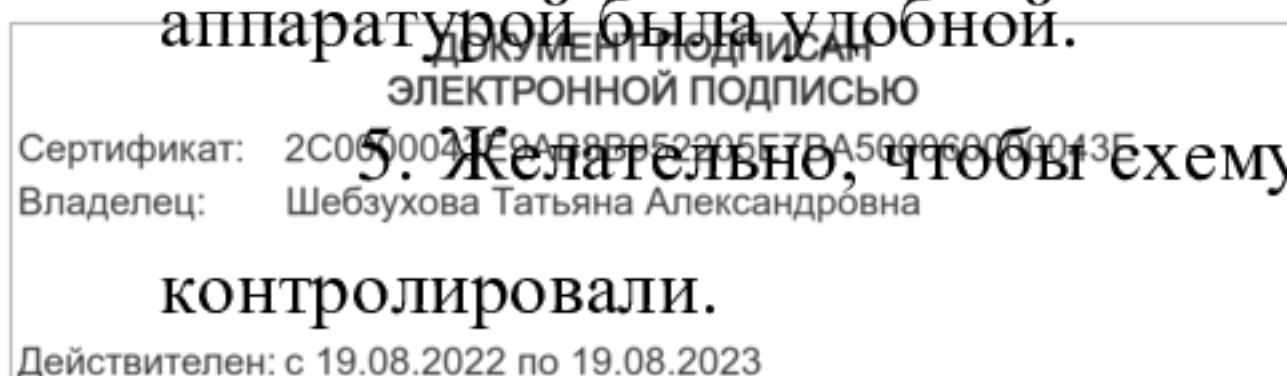
К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

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

мест

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C00006143E9A3880652395F73A5B90669900435
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

— без разрешения преподавателя или лаборанта;

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

– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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:

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

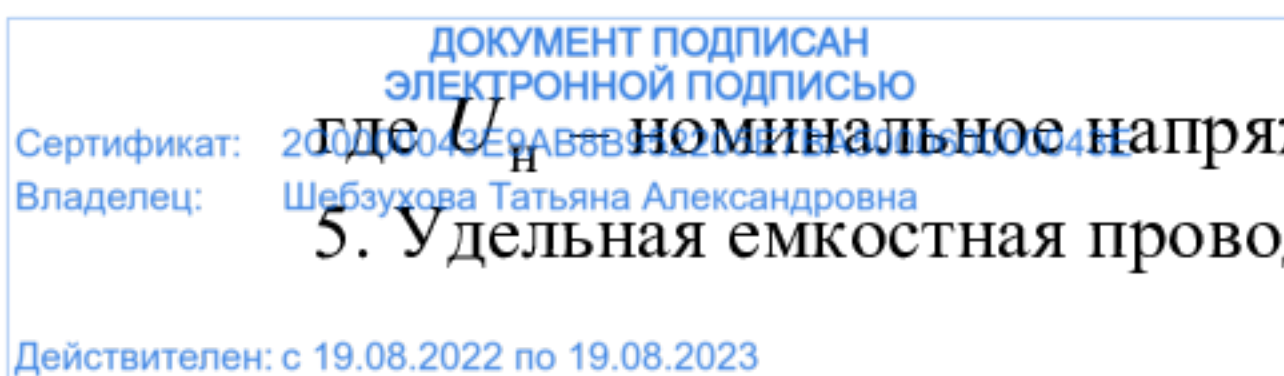
где $\Delta P_{\text{к0}}$ – удельные среднегодовые потери мощности на корону, кВт/км.

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:

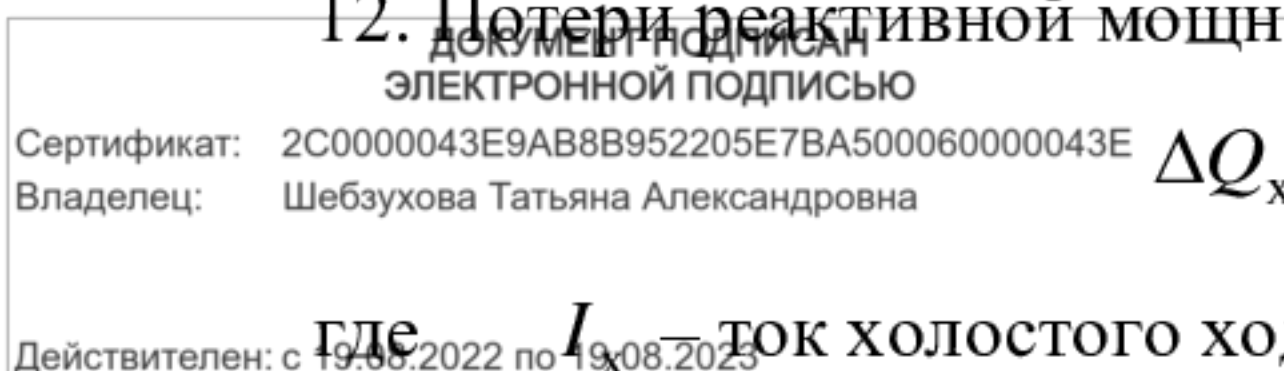
$$G_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{х}}}{U_{\text{вн}}^2} \cdot 10^{-3}, \text{ См,}$$

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

12. Потери реактивной мощности холостого хода в трансформаторе:

$$\Delta Q_{\text{х}} = \frac{I_{\text{х}} \% \cdot S_{\text{н}}}{100}, \text{ квар,}$$

где $I_{\text{х}}$ – ток холостого хода %;



S_n – 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:

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

где R – активное сопротивление, Ом;

P, Q – активная и реактивная мощности.

15. Нагрузочные потери реактивной мощности:

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

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:

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

18. Нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторе:

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

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:

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

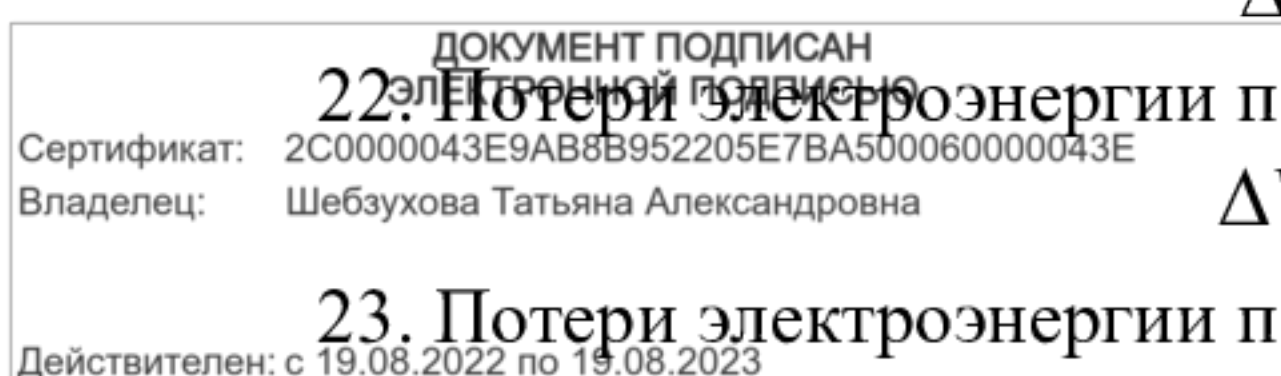
21. Потери электроэнергии холостого хода (годовые):

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

22. Потери электроэнергии по методу графического интегрирования:

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

23. Потери электроэнергии по методу среднеквадратичной мощности:



$$\Delta W_{\text{н}} = \frac{S_{\text{ср.кв}}^2}{U_{\text{н}}^2} R \cdot 8760.$$

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:

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

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:

$$\underline{S}_{\text{А}} = \frac{U_{\text{А}} - U_{\text{В}}}{Z_{\text{АВ}}} U_{\text{н}} + \frac{\sum \underline{S}_i Z_{i\text{В}}}{Z_{\text{АВ}}};$$

$$\underline{S}_{\text{В}} = \frac{U_{\text{В}} - U_{\text{А}}}{Z_{\text{АВ}}} U_{\text{н}} + \frac{\sum \underline{S}_i Z_{i\text{В}}}{Z_{\text{АВ}}}.$$

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

$$\underline{S}_{\text{А}} = \frac{\sum \underline{S}_i l_{i\text{В}}}{l_{\text{АВ}}}.$$

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:

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

где $J_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

32. Документ подписан
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2021 по 19.08.2023

33. Средневзвешенное время использования наибольшей нагрузки:

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

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

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. Представление электрических нагрузок в расчетных схемах
8. Векторная диаграмма линии электропередачи
9. Реактивная мощность
10. Компенсация реактивной мощности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
1. Схемы замещения и параметры элементов электрических сетей
2. Параметры и схемы замещения трансформаторов и автотрансформаторов
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Задание 2

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.

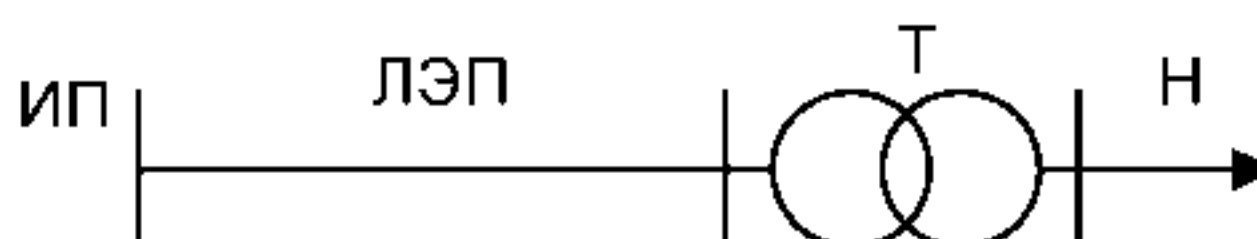


Рис. 1. Схема электрической сети

Исходные данные для расчёта.

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

По степени надёжности электроснабжения электроприёмники отнесены ко второй категории.

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

Таблица 1

Напряжение источника питания, кВ

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

Таблица 2

Активная мощность электроприёмника, МВт

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023										
Вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

P_{max}	5	6	7	8	8	8	9	11	12	13
-----------	----------	---	----------	----------	----------	----------	----------	----	----	-----------

Таблица 3

Коэффициент мощности

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

Таблица 4

Число часов использования наибольшей нагрузки, час

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

Таблица 5

Длина линии электропередач (ЛЭП), км

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

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

1. Выбор параметров элементов электрической сети.

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат электронной подписи: 9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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 нагрузки		
	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

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

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.

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

Документ подписан
электронной подписью
Сертификат: 2C0000043E9A1B8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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.

Проверка по механической прочности. 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

Документ подписан ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Щеголева Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

в Ш-1У	50/8
в V и более	70/11
ВЛ, сооружаемые на двухцепных или многоцепных опо-	
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

$$F \geq F_{\min \text{ кор.}}$$

Минимально допустимые диаметры проводов ВЛ по условиям короны $F_{\min \text{ кор}}$ 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)
<u>220</u>	21,6 (АС 240/32) 24,0 (АС 300/39)

Проверка по допустимой токовой нагрузке (по нагреву). Сечение провода, вы-

бранное 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:

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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.

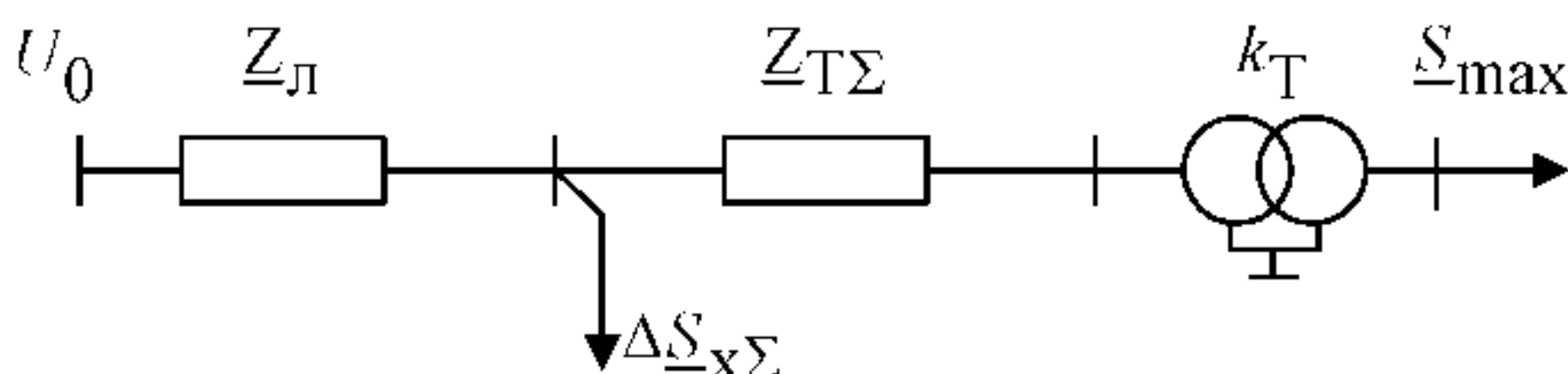


Рис. 2. Схема замещения электрической сети

Определяются параметры схемы замещения. Сопротивление линии

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

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 сопротивления обмоток трансформатора; суммарные потери холостого хода трансформаторов

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

где ΔP_X и ΔQ_X - активные и реактивные потери холостого хода трансформатора.

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. Федин. — Минск : Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — ISBN 978-985-06-1597-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

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

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подгото

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: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

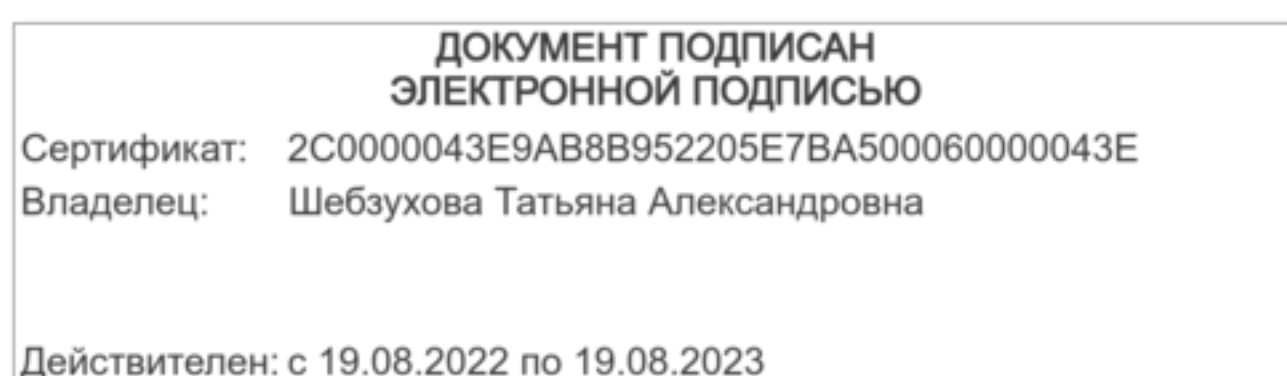
№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции	
2.	Задание на курсовое проектирование	
3.	Структура курсового проекта	
3.1	Расчет напряжения электрической сети	
3.2	Выбор и проверка сечений ВЛ	
3.3	Выбор трансформаторов	
3.4	Анализ и обоснование схем электрической сети и понизитель- 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.

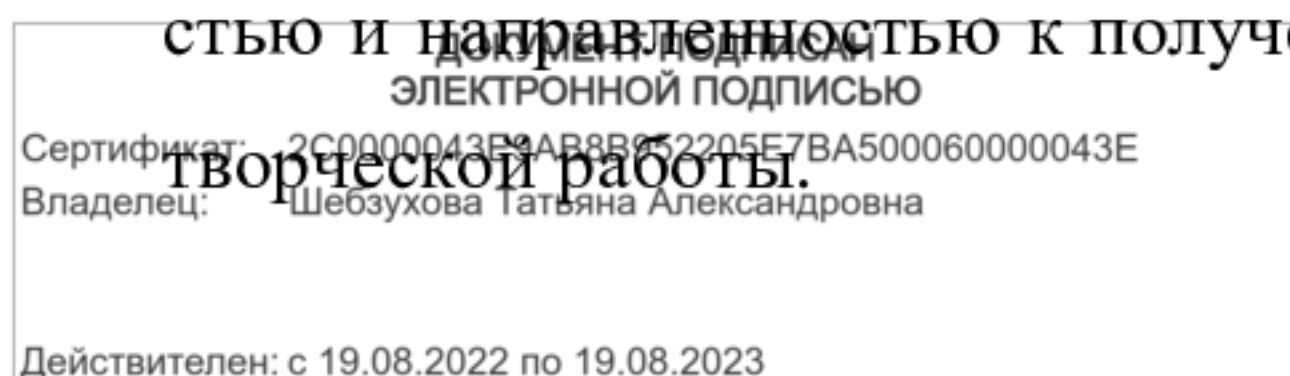
В результате освоения дисциплины у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

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

троснабжения	электроснабжения	ских сетей, простые конструкции электроэнергетических объектов питающих энергосистем.
	ИД-3ПК-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-5ПК-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-1ПК-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-2ПК-2 Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения	Знает технические и экономические расчеты, современные аналитические методы комплексного инженерного анализа. Владеет навыками технико-экономических расчётов 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, современностью и направленностью к получению студентами навыков самостоятельной творческой работы.



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 , час	L_1 , км	L_2 , км	L_3 , км	L_4 , км	γ_p	Θ_{min} °C	Θ_{max} °C	Θ_{cp} °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.

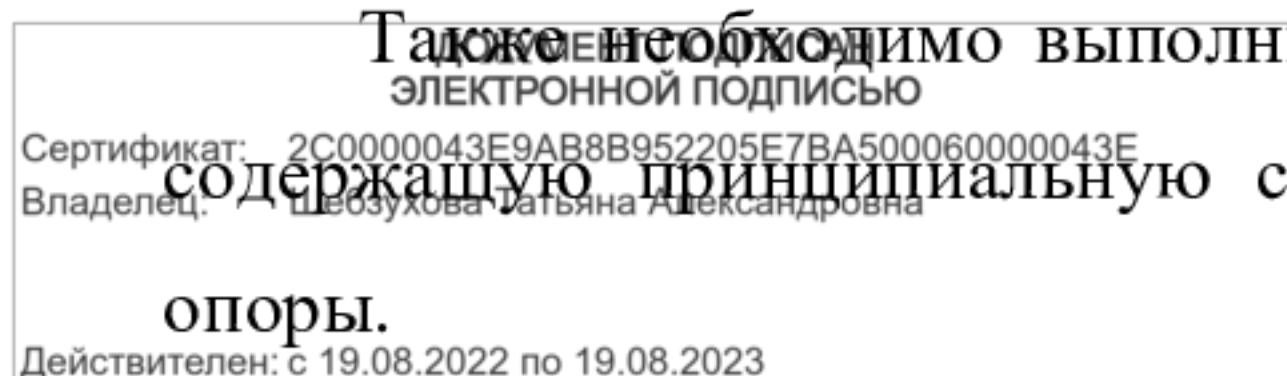
В общих чертах задания к каждому разделу курсовой работы можно представить следующим образом:

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.

Также необходимо выполнить графическую часть курсового проекта, содержащую принципиальную схему, чертёж промежуточной одноцепной опоры.



Структура выполнения курсового проекта

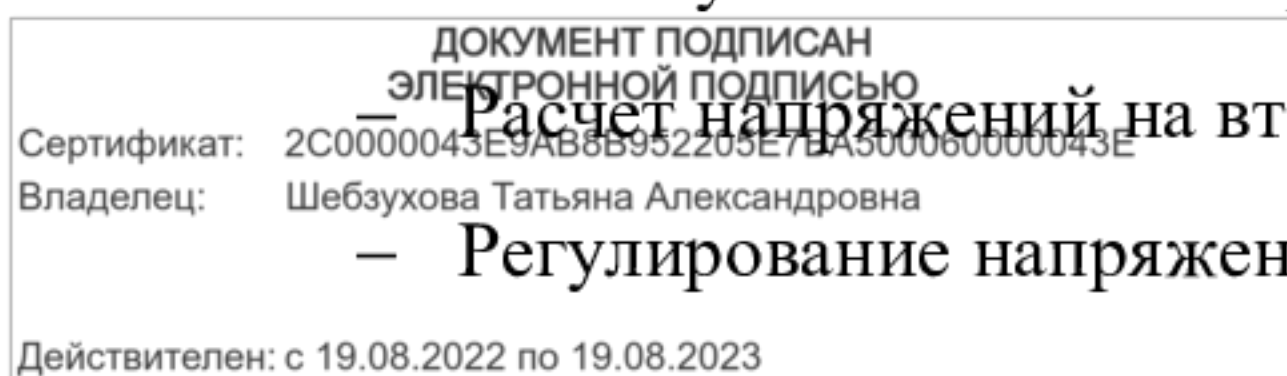
Курсовой проект должен состоять из введения, теоретической части, эмпирической (практической, расчетно-графической) части, заключения, списка литературы и приложения.

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
 - Расчет напряжений на вторичной обмотке трансформаторов
 - Регулирование напряжения



- 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

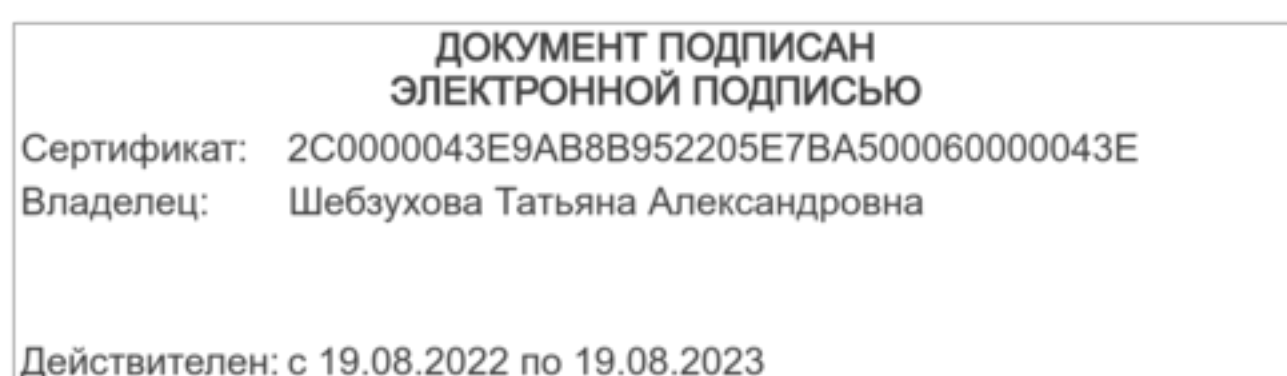
Приложения

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 и параграфа. Например, если таблица или рисунок включены в текст первого параграфа второй главы, нумерация следующая: Таблица

