

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2025 17:52:49

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486432ab2ba50

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

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ»

для студентов направления подготовки /специальности

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль): «Передача и распределение электрической энергии в системах
электроснабжения»

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

ПЕРЕЧЕНЬ АППАРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ	4
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ.....	5
НАСТРОЙКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	6
УСТАНОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	7
1. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	11
1.1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора	16
1.2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи.....	16
1.3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки	17
2. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	18
2.1. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием	22
2.2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием	22
3. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	24
3.1. Встречное регулирование напряжения.....	28
3.2. Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи	28
4. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МЕСТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	30
4.1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме	34
4.2. 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	34

4.3. Оценка влияния места разрыва (разреза) местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, на потерю в ней активной мощности	35
4.4. Определение точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, по критерию минимума потери активной мощности	35
4.5. Работа местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора точки нормального разрыва (разреза) по критерию минимума потери активной мощности	37
5. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАЙОННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	38
5.1. Измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети	42
5.2. Определение оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети по критерию минимума потери активной мощности	42

Перечень аппаратуры, используемой в экспериментах

Количество аппаратуры определённого типа, используемой в конкретных экспериментах, приведено в таблице 1.

Таблица 1

Тип аппаратуры	Номер эксперимента														
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3
218.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
218.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
313.3		1	1	2	3	2	2	5	5	5	5	5	3	3	3
317.3			1				1							2	
349				1	1								1		
372.1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3356	4	3	1	2	2	1	1	4	4	4	4	4	2	2	2
542	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1456	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3305												1			

Программное обеспечение, используемое в экспериментах

Таблица 2

	Название	Ссылки	Назначение
1	Драйвер к преобразователю интерфейсов AC4	http://www.owen.ru/catalog/54245280	—
2	Master OPC Universal Modbus Server Demo	http://www.insat.ru	Бесплатная демо-версия OPC-сервера протокола Modbus
3	Kassl-dOPC4Delphi	http://www.dopc.kassl.de	Компоненты для доступа к OPC-тегам для Delphi
4	Конфигуратор M110	http://www.owen.ru/catalog/19095788	—
5	«Распределительная сеть»	—	Пульт управления моделью распределительной сети

Настройка оборудования для сбора данных и автоматического управления

В эксперименте 4.5. настоящего руководства используется компьютеризованный сбор данных и автоматическое управление оборудованием. Связь комплекта оборудования с компьютером осуществляется посредством интерфейса RS-485 по протоколу ModBus. Для правильного функционирования программного обеспечения необходимо задать параметры связи для каждого прибора, присутствующего в сети RS-485. Оборудование поставляется полностью настроенным, однако в случае необходимости следует самостоятельно задать параметры связи.

Параметры приборов Omix P94-MX блоков 3356 и 542 задаются с помощью клавиатуры на лицевой панели прибора так, как описано в инструкции к прибору. Параметры устройств цифрового вывода МУ110-8Р блоков 3356 задаются с помощью программы «Конфигуратор М110» так, как описано в инструкции к прибору.

Значения параметров приборов указаны в таблицах 3 и 4.

Переключатели прибора Овен АС-4 блока 3305 следует установить в положение ON.

Таблица 3

Обозначение блока на схеме	Тип блока	Прибор в блоке	Адрес
P1	542	Omix P94-MX	1
P2			6
A3	3356	Omix P94-MX	2
		МУ110-8Р	7
A4		Omix P94-MX	3
		МУ110-8Р	8
A5		Omix P94-MX	4
		МУ110-8Р	9
A6		Omix P94-MX	5
		МУ110-8Р	10

Таблица 4 – Общие параметры для всех приборов

Параметр	Значение
Скорость	9600
Четность (Par)	0
Стоп-бит (Stb)	1
Задержка	8

Установка программного обеспечения

1. Установите драйвер преобразователя RS485-USB. Для этого 32-битных ОС следует запустить файл из папки «Диск_AC4_v.3.00», для 64-битных – из папки «Диск AC4_v4» (здесь и далее имеется ввиду, что все файлы находятся на прилагаемом компакт-диске). **Для Windows 8 сначала отключите проверку цифровой подписи драйвера, как описано, например, здесь: <http://pazzoit.ru/archives/873>** (информация была актуальна на январь 2014 года, попробуйте поискать более правильный драйвер на сайте производителя прибора).
2. Подключите преобразователь AC-4 к компьютеру.
3. Используя «Диспетчер устройств» убедитесь, что в системе появился новый COM-порт, запомните его номер (Рис. 1).
4. Установите OPC-сервер. Для этого запустите файл MODBUS OPC_SERVER_SETUP_DEMO32TAGS.exe.
5. Запустите сервер (ярлык «MasterOPC Universal Modbus Server») и загрузите в него конфигурацию «Распределительная сеть.mbc».
6. На вкладке COM_PORT измените поле «Порт» на значение, запомненное в п.2. (Рис. 2)

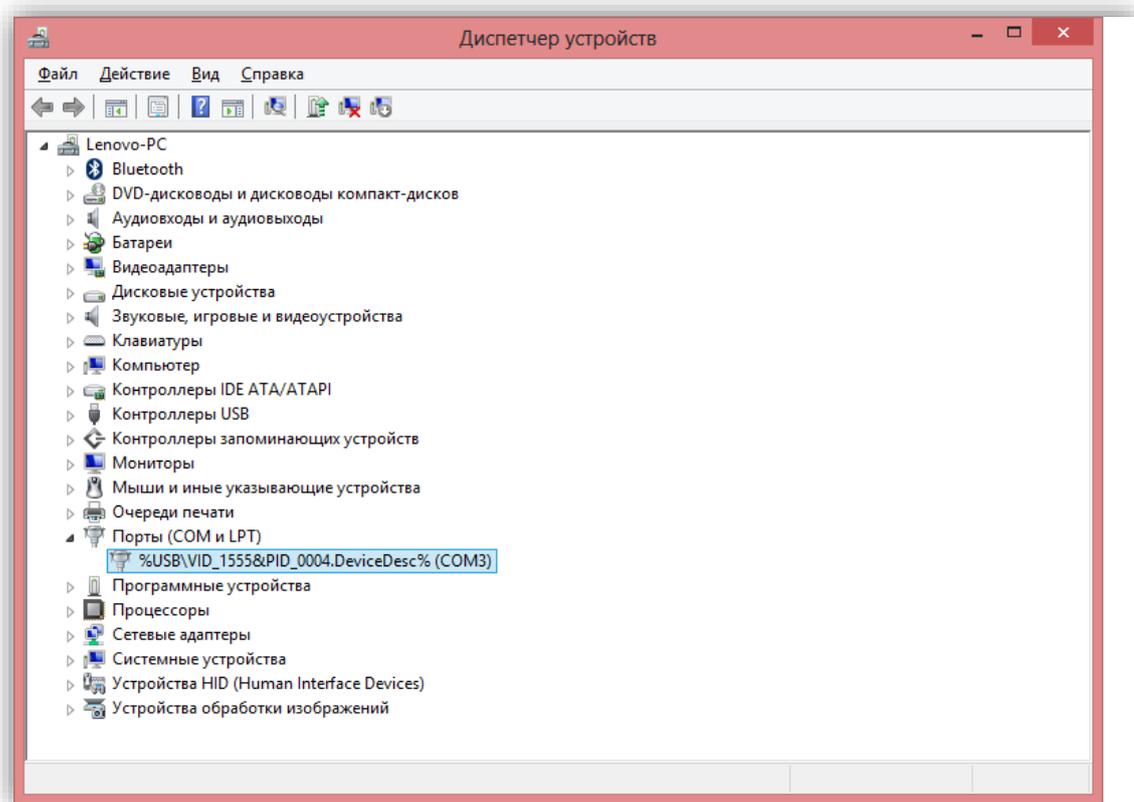


Рис. 1

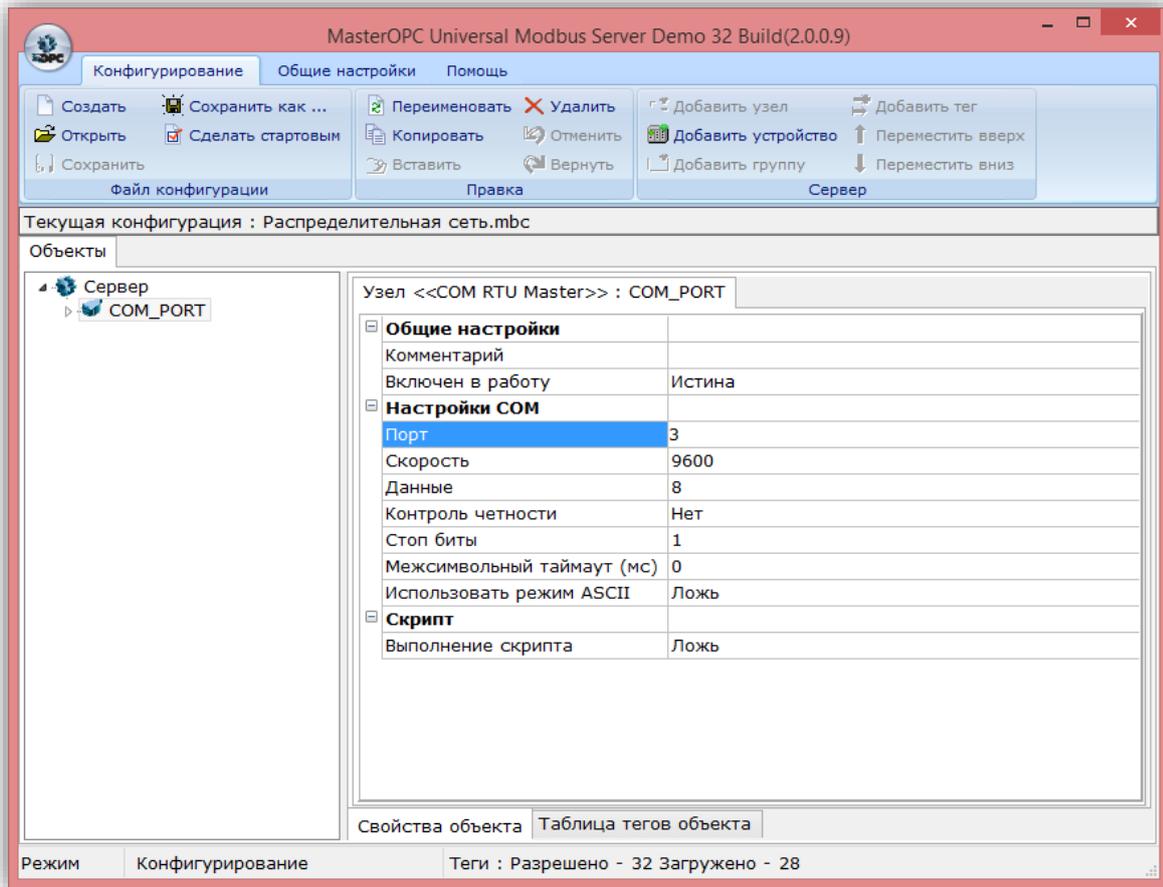


Рис. 2

7. Следуя указаниям эксперимента 4.5, выполните их до примечания в тексте.
8. На экране компьютера нажмите кнопку «ОПС» в верхнем левом углу окна, затем «Старт» (Рис. 3).

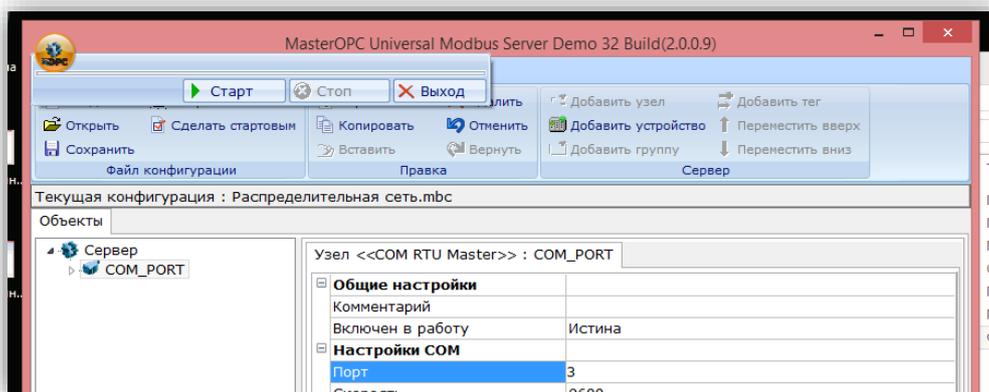


Рис. 3

9. На экране должны отобразиться считываемые теги и их текущие значения (Рис. 4).

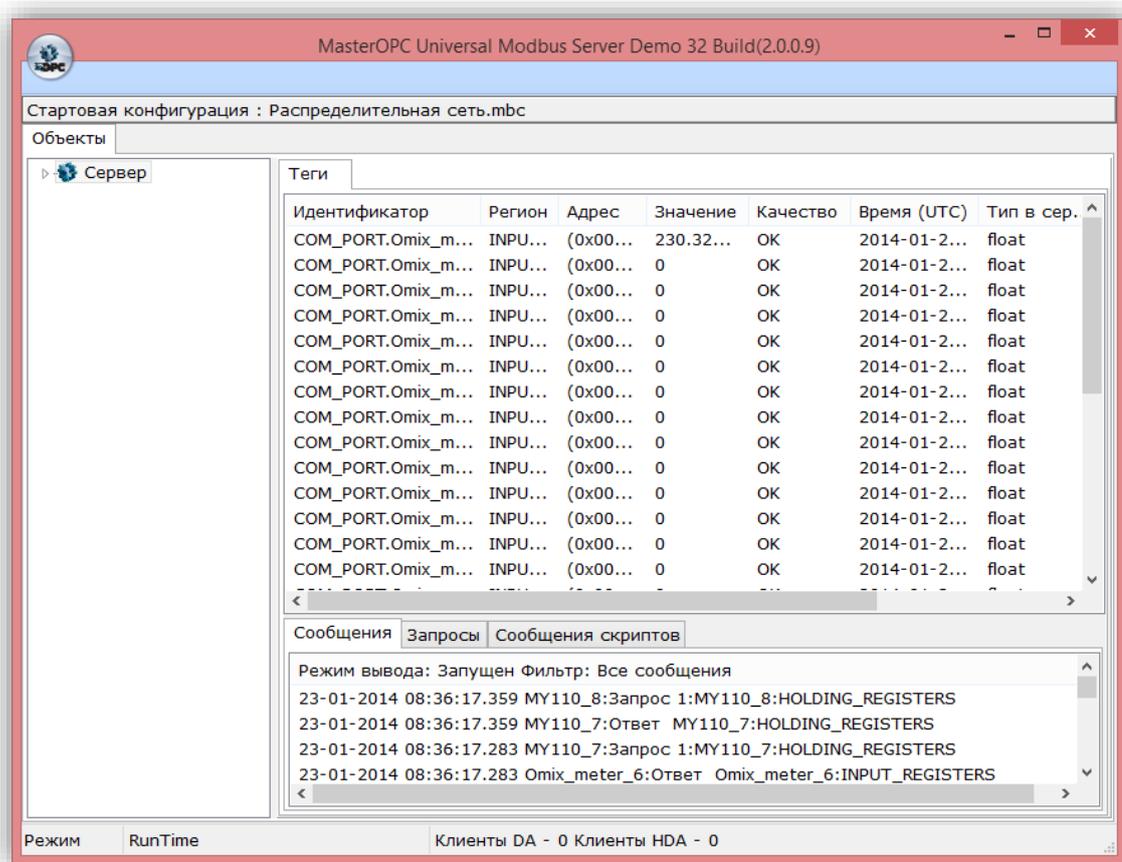


Рис. 4

10. Установите набор компонентов для связи OPC-сервера и программы, написанной в среде Delphi. Для этого запустите и установите Kassl-dOPC4Delphi-Trial-Setup.exe, не меняя состав выбранных для установки компонентов.
11. Запустите «Setup распределительная сеть.exe» и установите прикладную программу «Распределительная сеть». После ее запуска (Пуск/программы/Учебная техника/Распределительная сеть) на экране должно появиться окно с пользовательским интерфейсом (Рис. 5).

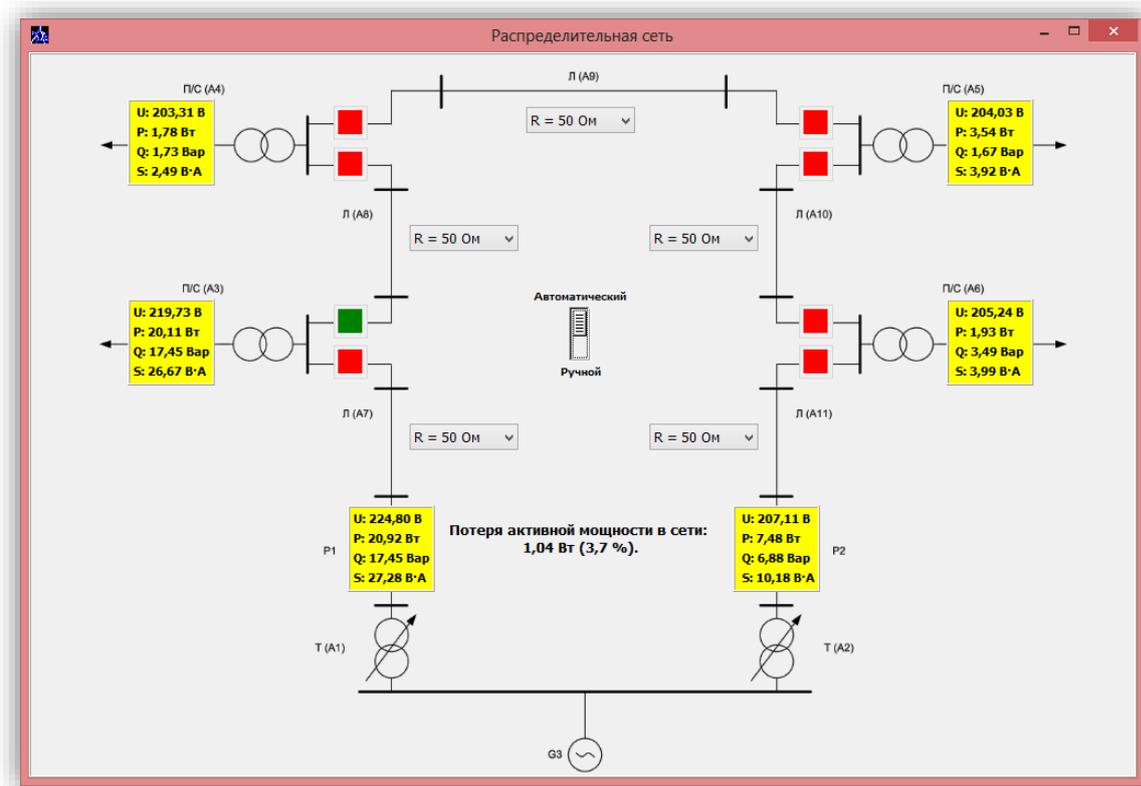


Рис. 5

1. Установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети

- Схемы электрические соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению экспериментов

Схемы электрические соединений

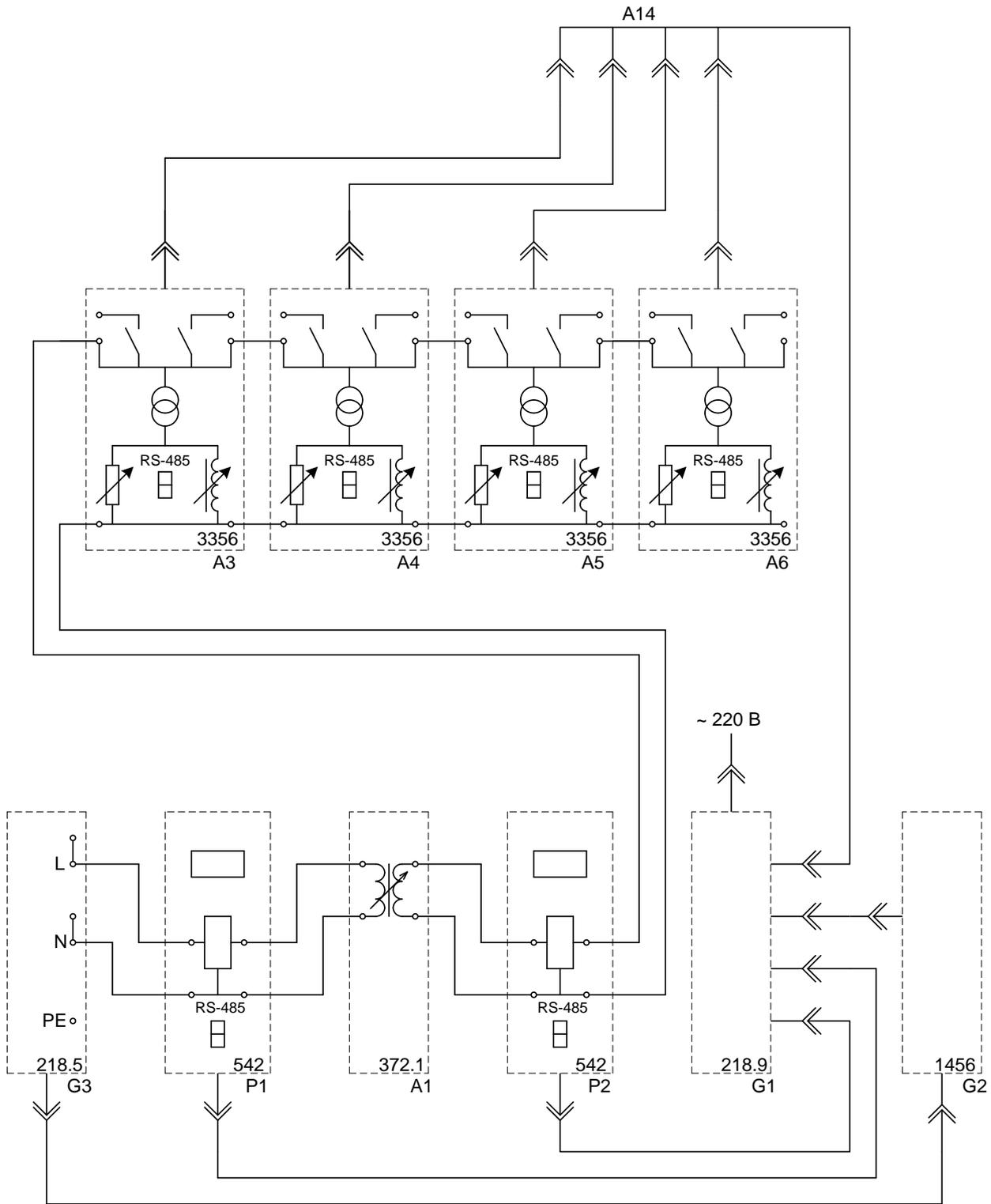


Рис.1.1. Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора.

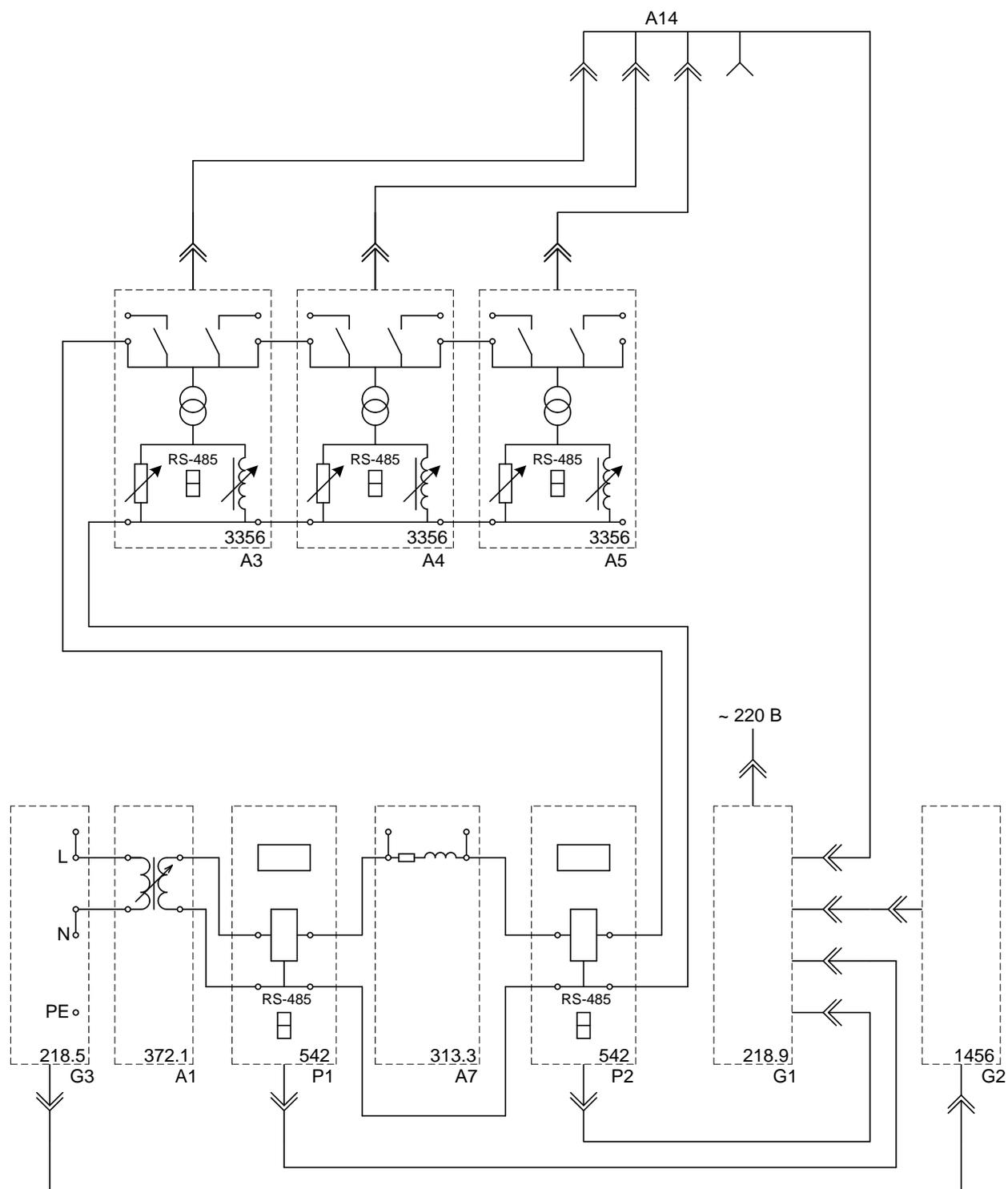


Рис.1.2. Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы линии электропередачи.

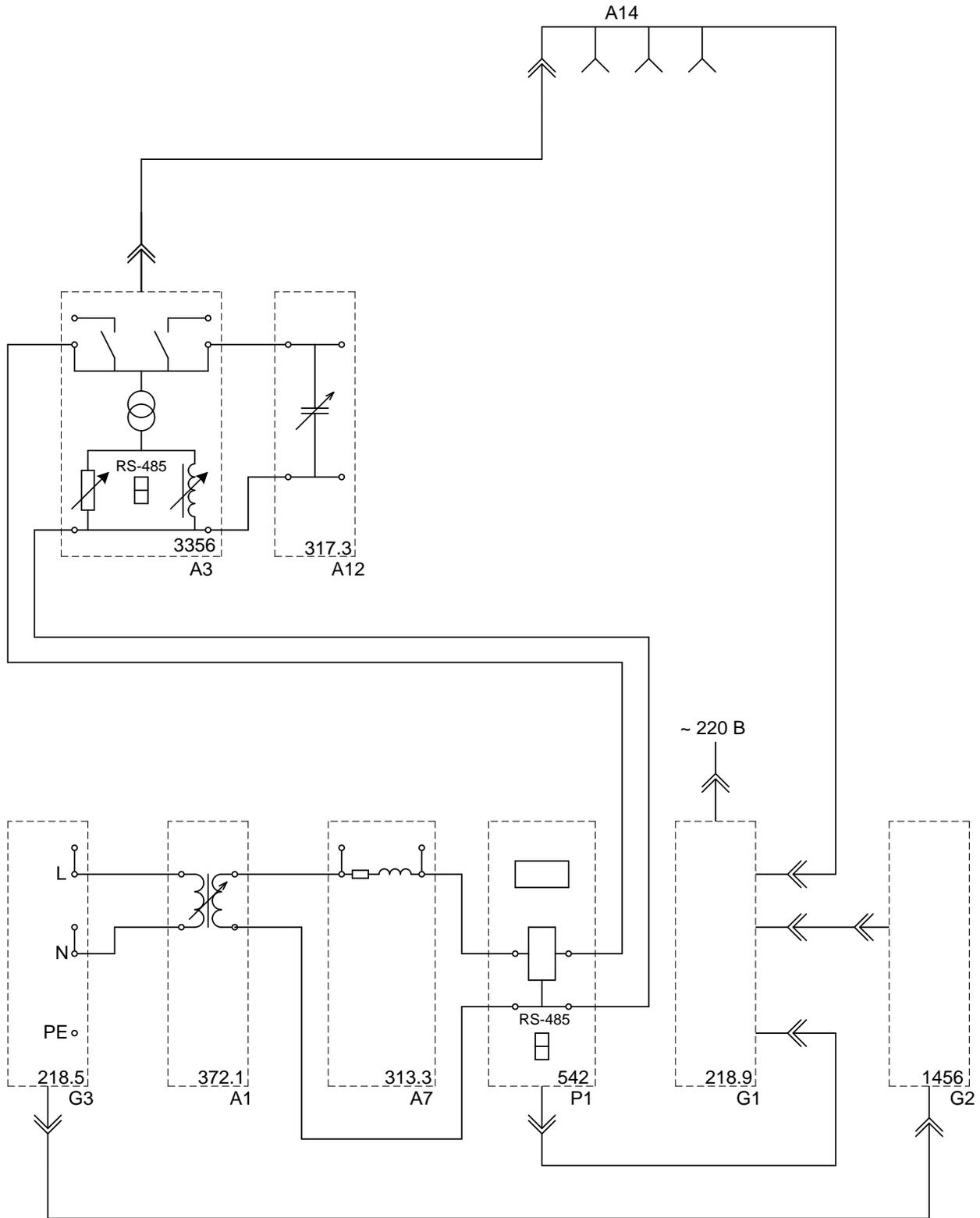


Рис.1.3. Схема для снятия статической характеристики мощности по напряжению статической нагрузки.

Перечень аппаратуры

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...A6	Модель трансформаторной подстанции и нагрузки	3356	~ 220 В / 0...20 Вт / 0...20 ВАр
A7	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A12	Емкостная нагрузка	317.3	~ 220 В / 0...30 ВАр
A14	Удлинитель переносной четырехместный	-	~ 220 В / 16 А
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

Указания по проведению экспериментов

1.1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.1.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в моделях A3...A6 равными, например, 10 Вт и 0 ВАр.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- Кнопкой « < » измерителей P1 и P2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима на первичной и вторичной сторонах трансформатора A1 (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности, коэффициенты мощности, частоту напряжения).
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6, однофазный источник питания G1.

1.2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.2.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- 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.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A5.

- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- 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).
- 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.

1.3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- Установите переключателями параметры модели A7, линии электропередачи соответственно равными 50 Ом и 0,15 Гн.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в модели A3, например, соответственно равными 10 Вт, 10 Вар.
- Установите переключателями желаемую емкостную нагрузку A12, например, 0 %.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и модели A3.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- 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 1.3.

Таблица 1.3

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 1.3, постройте искомые статические характеристики мощности нагрузки P(U) и Q(U).

2. Установившиеся режимы распределительных электрических сетей

- Схемы электрические соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению экспериментов

Схемы электрические соединений

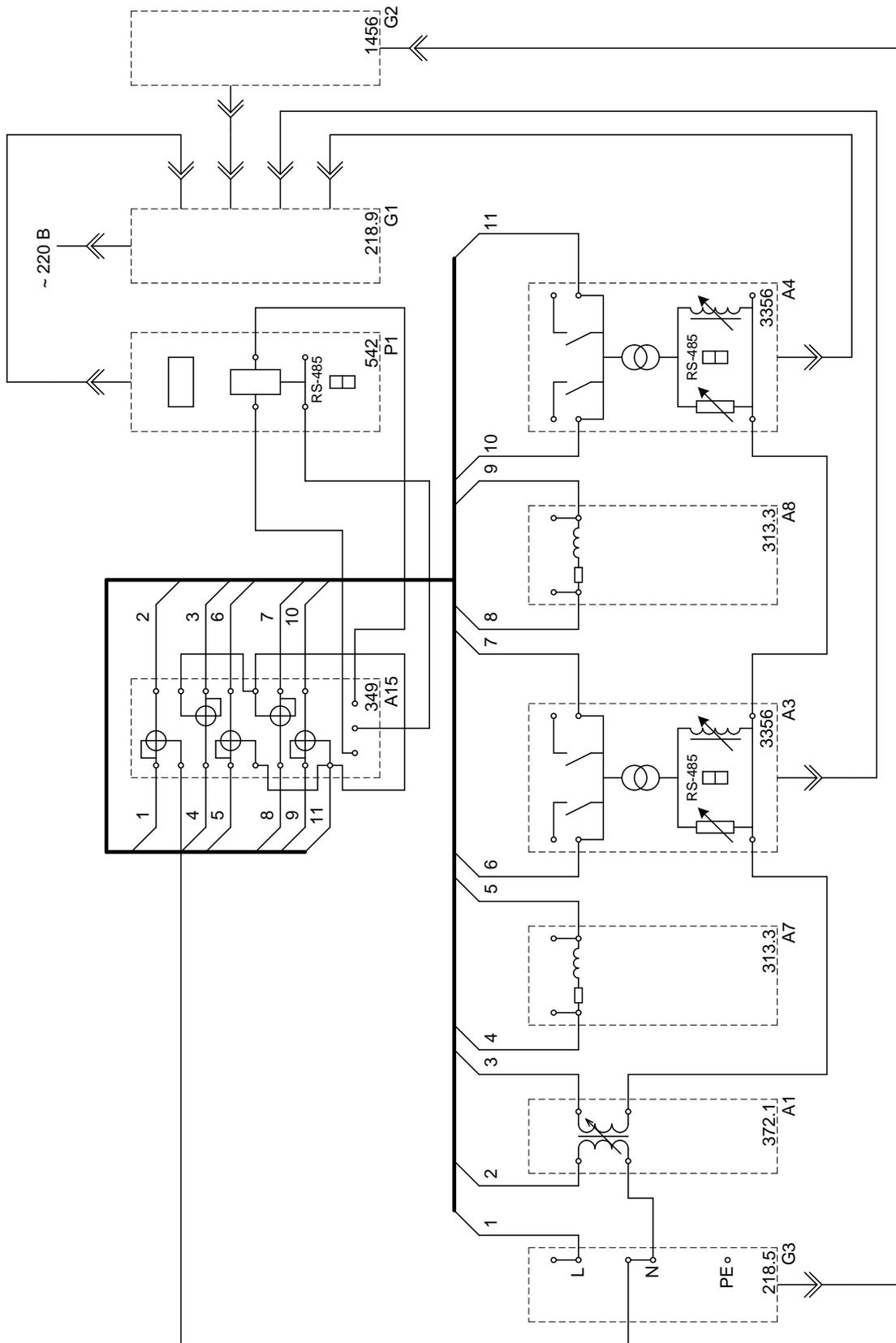


Рис.2.1. Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием.

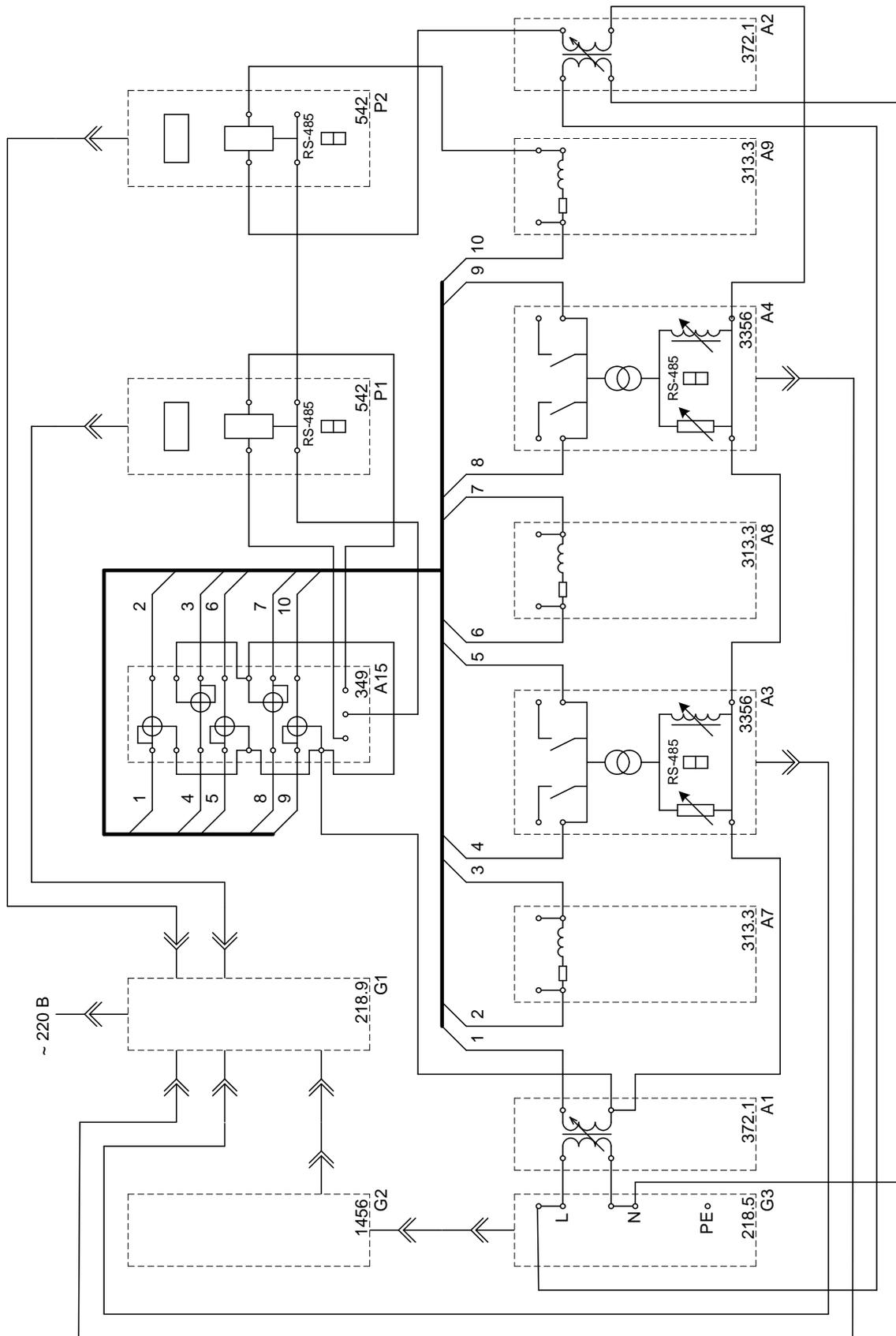


Рис.2.2. Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием.

Перечень аппаратуры

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
A15	Коммутатор измерителя мощностей	349	5 положений
P1, P2	Измеритель параметров однофазной сети	542	0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА

Указания по проведению экспериментов

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- 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.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и моделей A3, A4.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой « < », определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима соответственно на входе трансформатора A1, в начале и конце линии электропередачи A7, начале и конце линии электропередачи A8).
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и моделей A3, A4, однофазный источник питания G1.

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.2.
- Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
- 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.

-
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
 - Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
 - Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
 - Включите однофазный источник питания G3.
 - 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).
 - С помощью измерителя P2, манипулируя кнопкой « < », определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей в конце линии электропередачи A9.
 - 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.

3. Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях

- Схемы электрические соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению экспериментов

Схемы электрические соединений

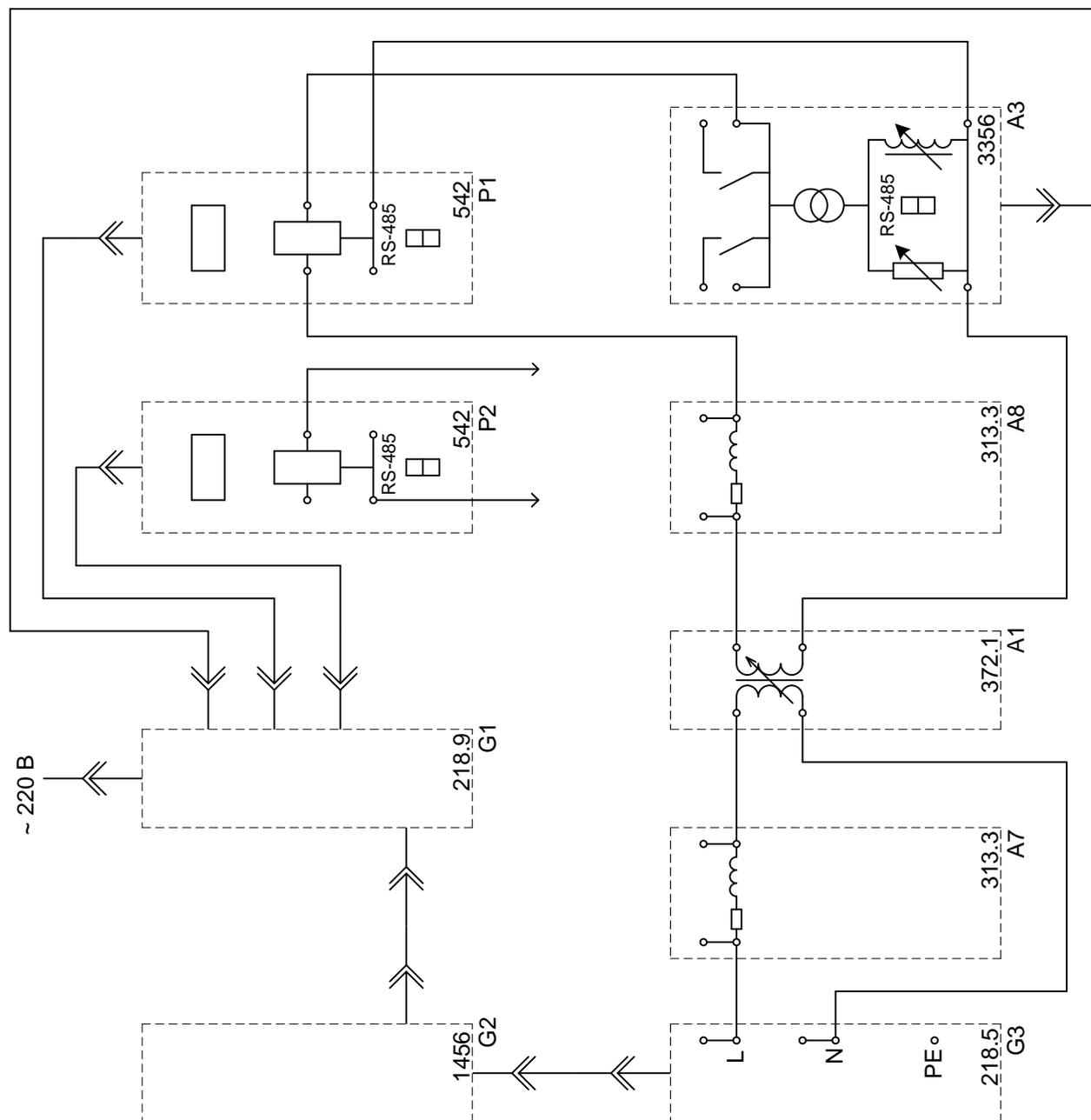


Рис.3.1. Схема для изучения встречного регулирования напряжения.

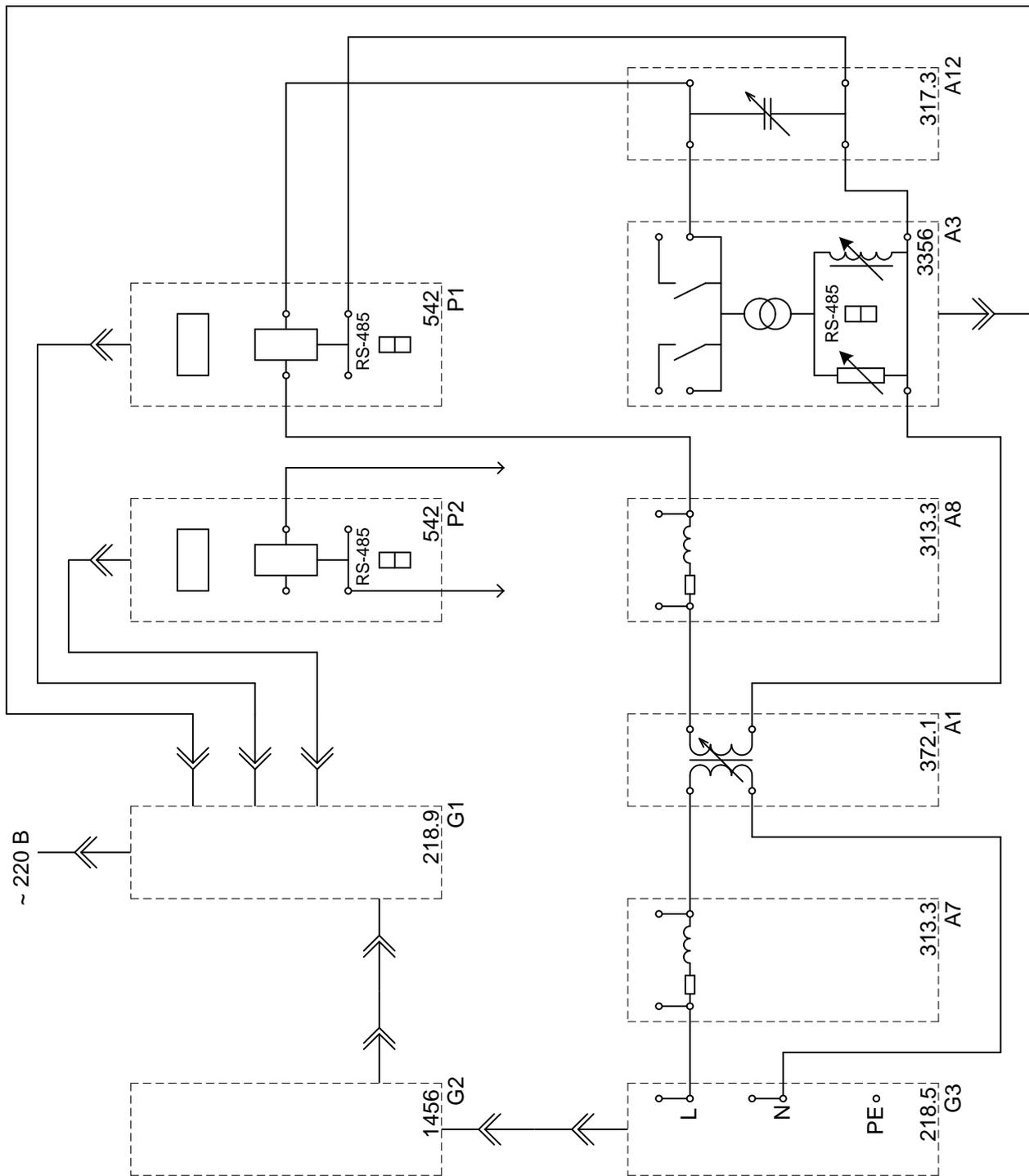


Рис.3.2. Схема для изучения регулирования напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности.

Перечень аппаратуры

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

Указания по проведению экспериментов

3.1. Встречное регулирование напряжения

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.1.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- 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.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
- С помощью измерителя P1 определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.
- Встречное регулирование напряжения осуществляйте изменением коэффициента трансформации трансформатора A1.
- 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.

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.2.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- 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.
- Переключатель емкостной нагрузки A12 установите в положение «0».
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

-
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и модели A3.
 - Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
 - Включите однофазный источник питания G3.
 - С помощью измерителя P2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
 - С помощью измерителя P1 определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.
 - Регулирование напряжения осуществляйте изменением реактивной мощности, генерируемой емкостной нагрузкой A12.
 - 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.

4. Оптимизация режима местной распределительной электрической сети

- Схемы электрические соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению экспериментов

Схемы электрические соединений

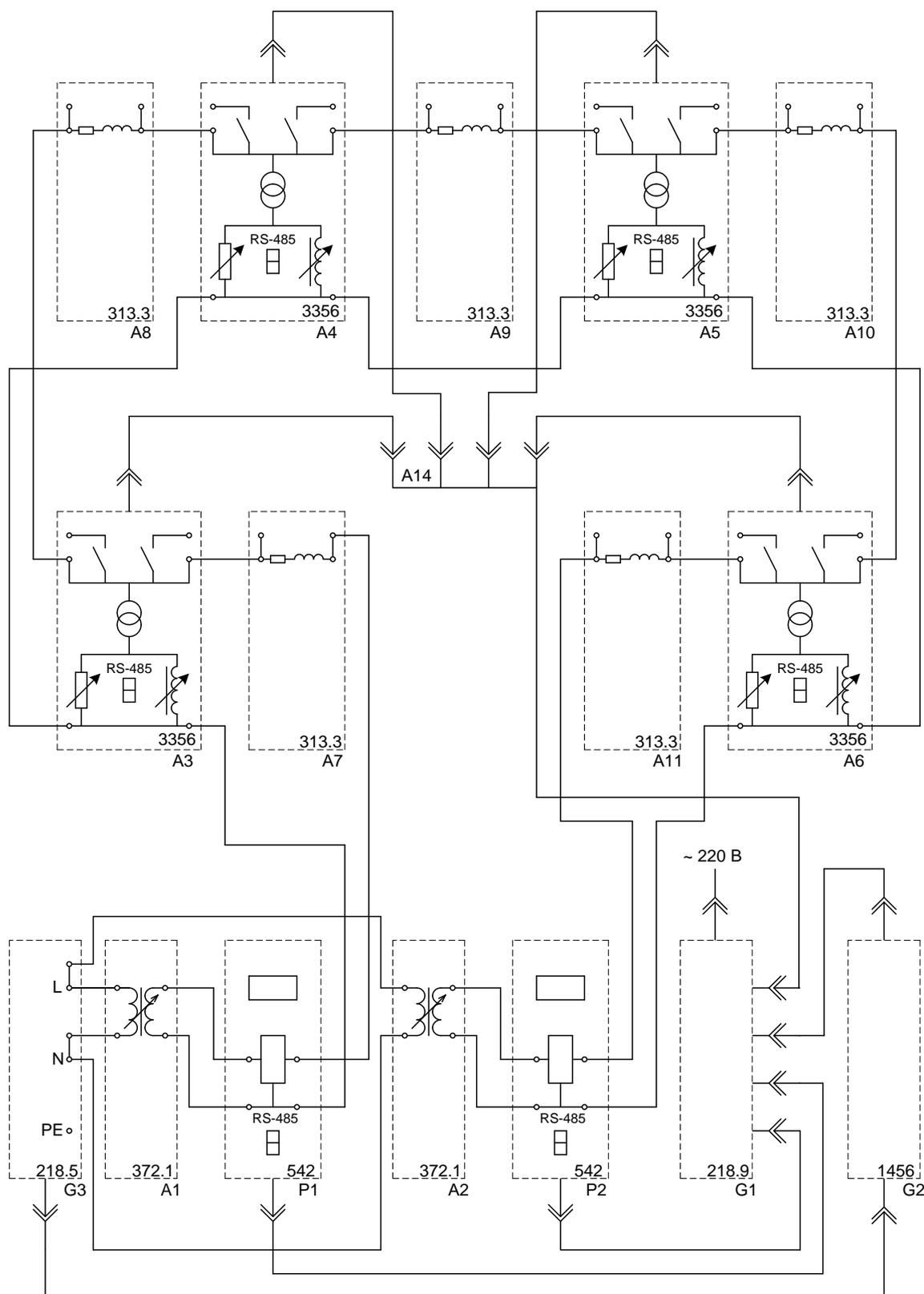


Рис. 4.1. Схема для определения точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети.

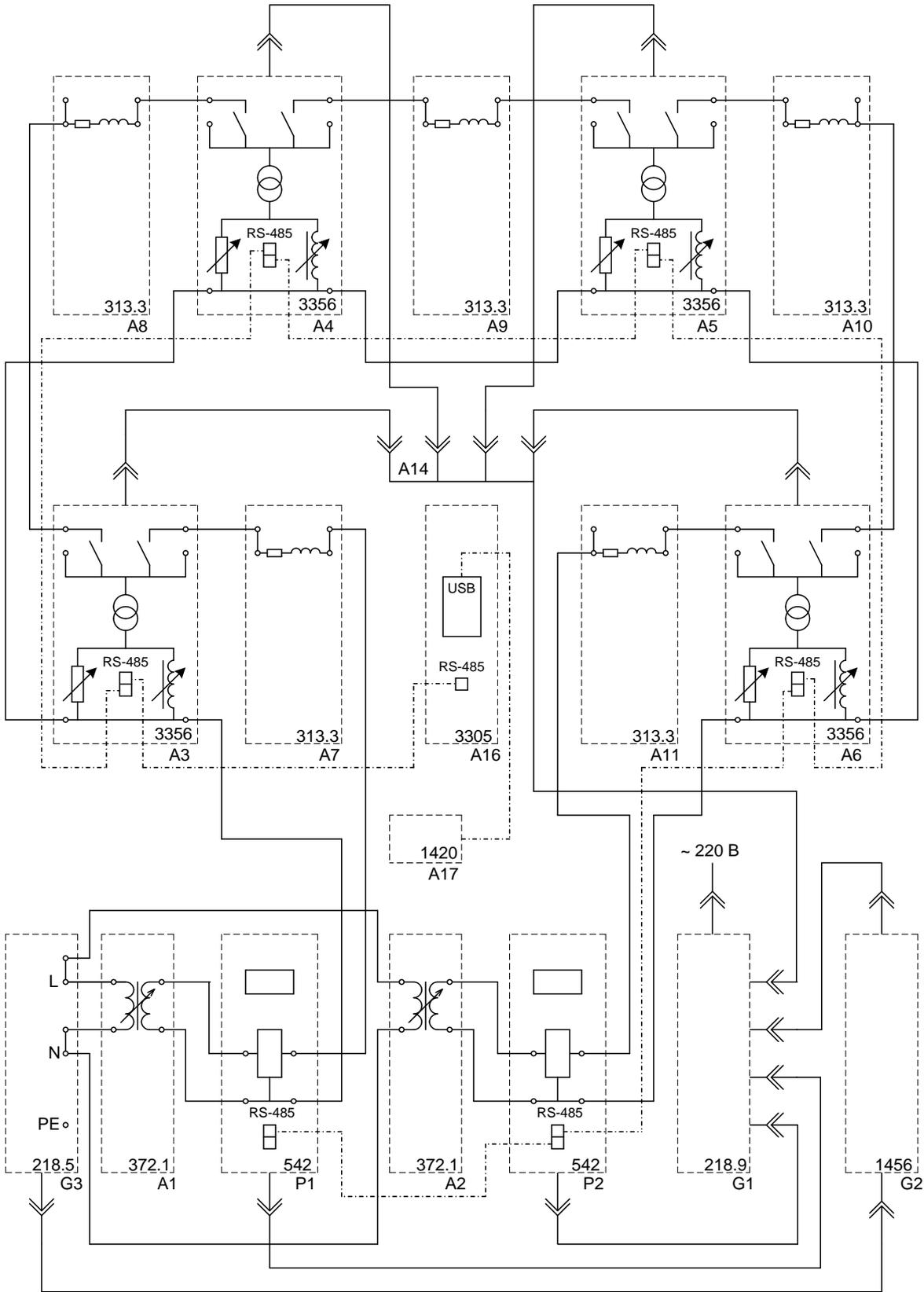


Рис. 4.2. Схема для изучения работы местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, в режиме автоматического выбора точки нормального разрыва (разреза).

Перечень аппаратуры

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
A14	Удлинитель переносной четырехместный	-	~ 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 проведению экспериментов

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис.4.1.
- Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A11 линий электропередачи равными, например, 50 Ом; 0,09 Гн.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3...A6 равными, например, 20 Вт и 10 ВАр.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- С помощью измерителей P1 и P2 измерьте активные мощности P_1 и P_2 , поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы A1 и A2 первого и второго центров питания.
- С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций A3...A6 измерьте соответствующие активные мощности $P_3...P_6$, потребляемые нагрузками этих подстанций.
- Вычислите искомую потерю активной мощности в электрической сети в именованных единицах по выражению

$$\Delta P = (P_1 + P_2) - (P_3 + P_4 + P_5 + P_6).$$
- Вычислите искомую потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) по выражению

$$\Delta P^* = 100 \times \Delta P / (P_1 + P_2).$$
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6, однофазный источник питания G1.

4.2. 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

- Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равных 1,0, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах) ΔP^*_1 .

- 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 .
- 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.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис.4.1.
- Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равными 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей А7...А11 линий электропередачи соответственно равными, например, $R_7 = 50$ Ом и $L_7 = 0,03$ Гн, $R_8 = 50$ Ом и

$L_8 = 0,03$ Гн, $R_9 = 50$ Ом и $L_9 = 0,03$ Гн, $R_{10} = 100$ Ом и $L_{10} = 0,06$ Гн, $R_{11} = 100$ Ом и $L_{11} = 0,06$ Гн.

- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей А3...А6 соответственно равными, например, 10 Вт и 8 Вар, 10 Вт и 8 Вар, 20 Вт и 16 Вар, 20 Вт и 16 Вар.
- Выполните разрыв (разрез) в электрической сети между моделью подстанции А4 и моделью линии электропередачи А9, принимая его нормальным (оптимальным) в предшествующем режиме работы сети.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей А3...А6.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- С помощью измерителей P1 и P2 измерьте полные мощности S_1 и S_2 , поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы А1 и А2 первого и второго центров питания.
- С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций А3...А6 измерьте соответствующие полные мощности $S_3...S_6$, потребляемые нагрузками этих подстанций.
- Вычислите поток полной мощности от первого центра питания (трансформатора А1) по модели линии электропередачи А7 к модели подстанции и нагрузок А3 по выражению

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

- Вычислите поток полной мощности от второго центра питания (трансформатора А2) по модели линии электропередачи А11 к модели подстанции и нагрузок А6 по выражению

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

- Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи А8 от модели подстанции А3 к модели подстанции А4 по выражению

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

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

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

- Вычислите поток полной мощности по модели линии электропередачи А10 от модели подстанции А5 к модели подстанции А6 по выражению

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

- Выявите поток мощности из числа S_{34} , S_{45} , S_{56} с отрицательным знаком, что означает его противоположное направление предварительно выбранному.
- Определите узел потокораспределения – узел, к которому мощности притекают с разных сторон.

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

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

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

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

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер и запустите прикладную программу «Распределительная сеть».
- С помощью выпадающих списков на экране ПК установите значения активных сопротивлений линий электропередачи равными реальным активным сопротивлениям моделей A7...A11 линий электропередачи.
- Дистанционно управляйте выключателями моделей подстанций A3...A6 и определяйте потери активной мощности в сети.
- Переведите программу в автоматический режим работы соответствующим переключателем.
- Изменяйте параметры моделей A7...A11 линий электропередачи и параметры нагрузок моделей A3...A6 подстанций соответствующими рукоятками и наблюдайте процесс автоматического выбора точки разреза сети.

5. Оптимизация режима районной распределительной электрической сети

- Схемы электрические соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению экспериментов

Схемы электрические соединений

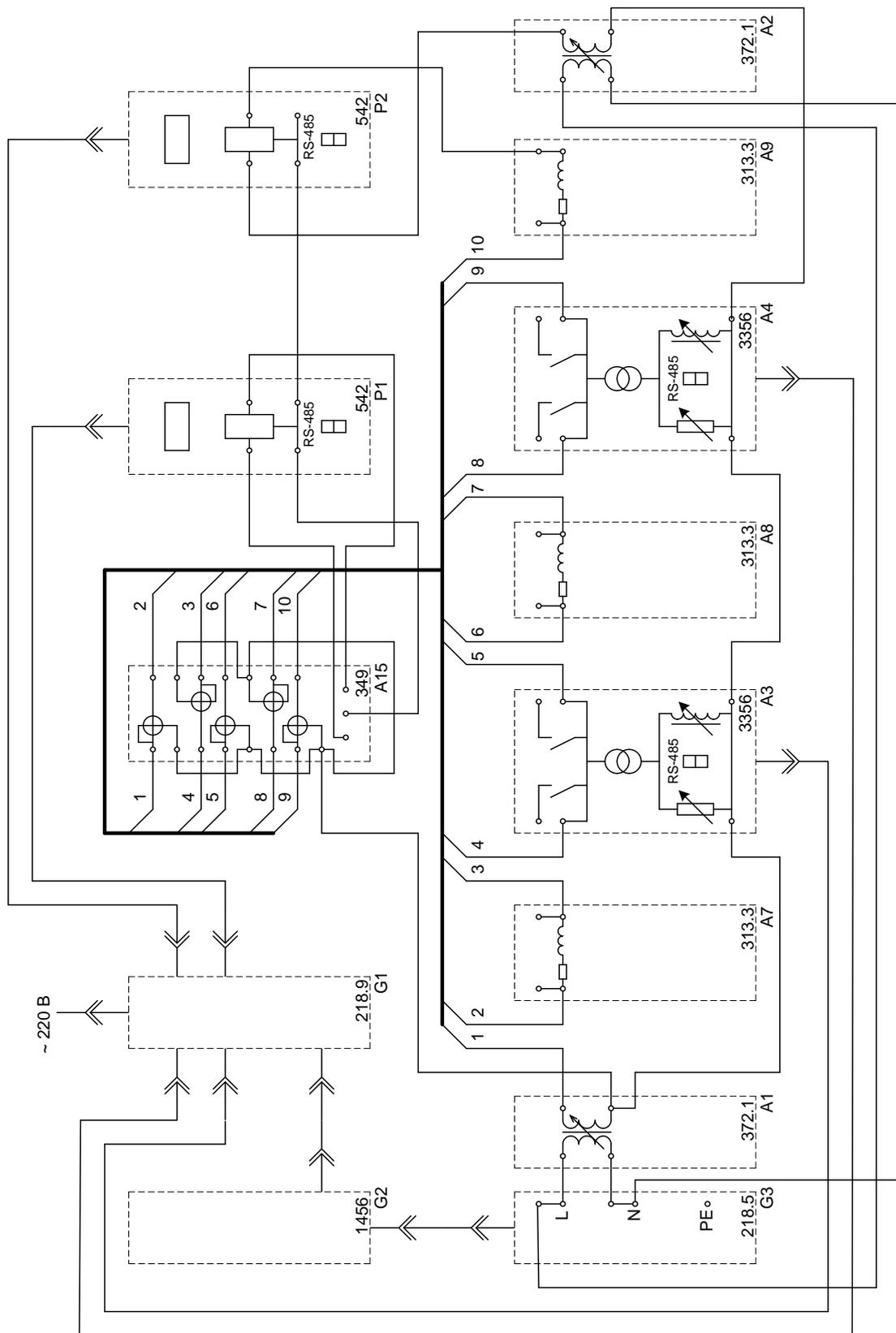


Рис.5.1. Схема для измерения потокораспределения и определения потерь мощности в замкнутой (кольцевой) распределительной электрической сети.

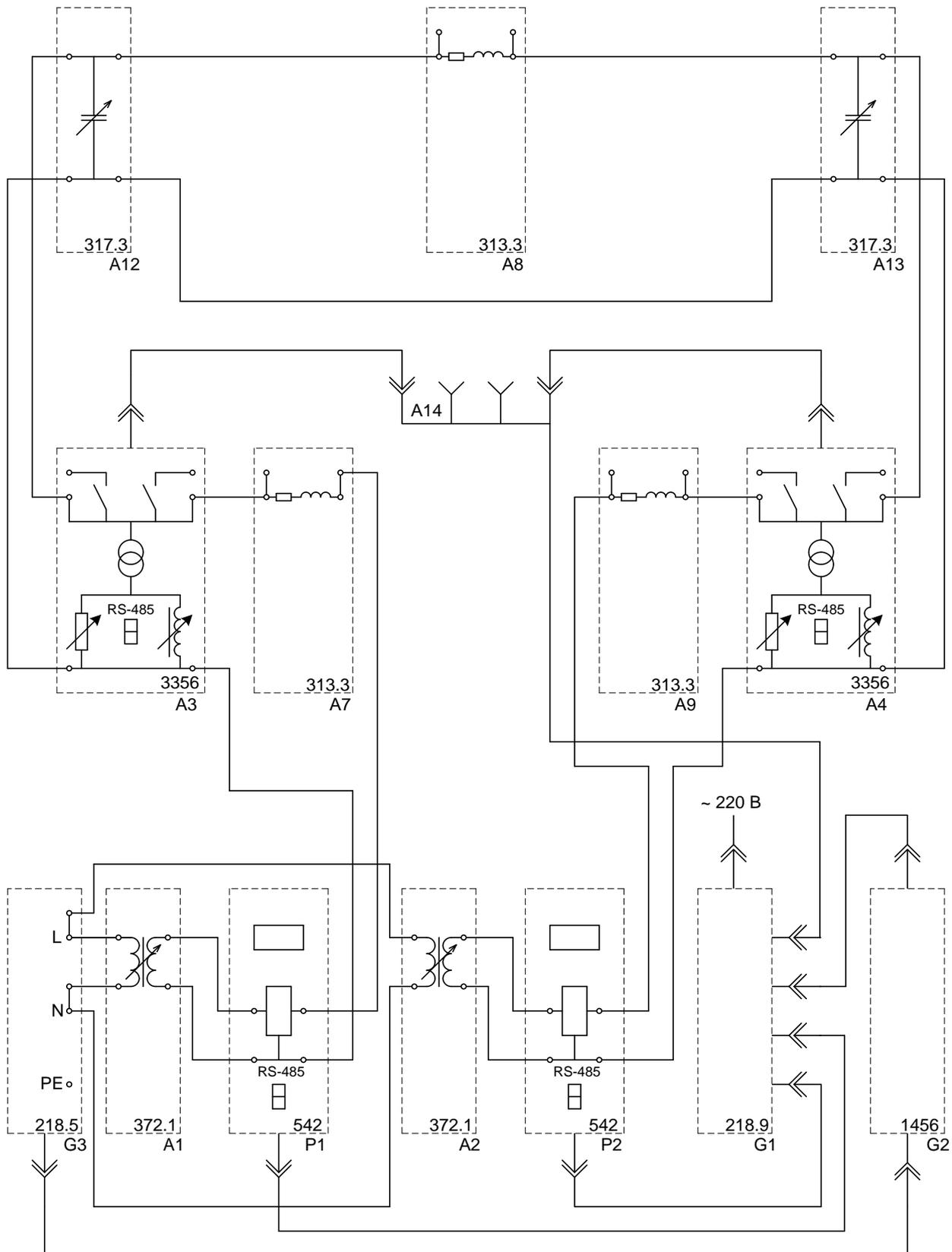


Рис.5.2. Схема для определения оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов устройств в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети.

Перечень аппаратуры

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	Емкостная нагрузка	317.3	~ 220 В / 0...30 ВАр
A14	Удлинитель переносной четырехместный	-	~ 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 проведению экспериментов

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

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 5.1.
- Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
- 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.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- 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).
- С помощью измерителя P2, манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей в конце линии электропередачи A9.
- С помощью измерителей моделей подстанции A4, A4 , манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, активной, реактивной и полной мощностей нагрузок.
- 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 A1 и A2 и суммой активных (реактивных) мощностей, потребляемых нагрузками моделей A3 и A4.
- 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.

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

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

- Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.2.
- Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов A1 и A2, например, равными 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A7...A9 линий электропередачи равными, например, 50 Ом и 0,15 Гн.
- Установите переключатели емкостных нагрузок A12 и A13 в крайнее против часовой стрелки положение.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3, A4 соответственно равными, например, 15 Вт, 10 ВАр и 20 Вт, 15 ВАр.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3, A4.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- Меняя положение переключателя емкостной нагрузки A12, увеличивайте ее мощность Q₁₂, определяйте согласно п. 5.1 настоящего руководства потерю мощности ΔP в сети и заносите их в таблицу 5.2.1.

Таблица 5.2.1

Q ₁₂ , ВАр										
ΔP, Вт										

- Верните переключатель емкостной нагрузки A12 в крайнее против часовой стрелки положение.
- Меняя положение переключателя емкостной нагрузки A13, увеличивайте ее мощность Q₁₂, определяйте согласно п. 5.1 настоящего руководства потерю мощности ΔP в сети и заносите их в таблицу 5.2.2.

Таблица 5.2.2

Q ₁₂ , ВАр										
ΔP, Вт										

- 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.
- 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.