

Подписан: Шебзухова Татьяна Александровна

Дата: 2021-08-27 14:04:33

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

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

Дата подписания: 12.09.2023 16:42:41

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

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

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## Содержание

| №<br>п/п |                                                                                                                                  | Стр. |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                         |      |
| 1        | Лабораторная работа №1 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ                                      |      |
| 1.1      | Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора                                         |      |
| 1.2      | Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи                                         |      |
| 1.3      | Часть 3. Снятие статических характеристик мощности по напряжению статической нагрузки                                            |      |
| 2        | Лабораторная работа №2 УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ                                               |      |
| 2.1      | Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием |      |
| 2.2      | Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием  |      |
| 3        | Лабораторная работа №3 РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ                                          |      |
| 3.1      | Часть 1. Встречное регулирование напряжения                                                                                      |      |
| 3.2      | Часть 2. Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи              |      |
| 4        | Лабораторная работа №4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МЕСТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ                                           |      |

- 4.1 Часть 1. Определение потери активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме
- 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
- 4.3 Часть 3 Оценка влияния места разрыва (разреза) местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, на потерю в ней активной мощности
- 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
- 4.5 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
- 5 Лабораторная работа №5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАЙОННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
  - 5.1 Часть 1 Измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети
  - 5.2 Часть 2 Определение оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети по критерию минимума потери активной мощности

## **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.

## Лабораторная работа №1

**Тема:** установившиеся режимы элементов распределительной электрической сети

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

**Формируемые компетенции:**

ПК-2

**Теоретическая часть:**

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

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

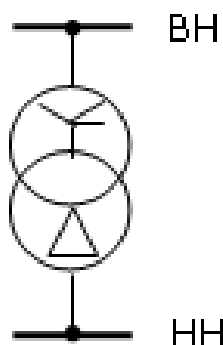


Рисунок 1.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

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

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

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

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

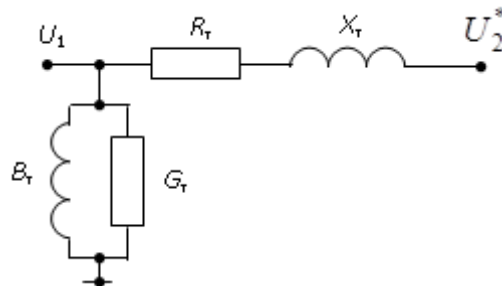


Рисунок 1.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

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

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

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

Поперечная ветвь схемы замещения представлена активной  $G_{\text{т}}$  и реактивной  $B_{\text{т}}$  проводимостями. Проводимости обычно подключают со стороны первичной обмотки: для повышающих трансформаторов – со стороны обмотки низшего напряжения, для понижающих – со стороны обмотки высшего напряжения.

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

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

электрической сети проводимости заменяются нагрузкой, равной потерям холостого хода.

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

- потери активной мощности в режиме холостого хода  $\Delta P_x$  в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания  $\Delta P_k$  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  $\Delta P_x$ , 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:



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

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

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

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

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

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

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

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

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

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

где:  $S_{\text{в}}$ ,  $S_{\text{с}}$ ,  $S_{\text{н}}$  – 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<br>~ 230 В |

|         |                                               |       |                                  |
|---------|-----------------------------------------------|-------|----------------------------------|
| G3      | Однофазный источник питания                   | 218.5 | ~ 220 В / 10 А                   |
| A1      | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>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 /<br>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    |

***Указание по технике безопасности:***

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

#### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

#### ***Часть 1. Натурное моделирование установившегося режима работы однофазного трансформатора***

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

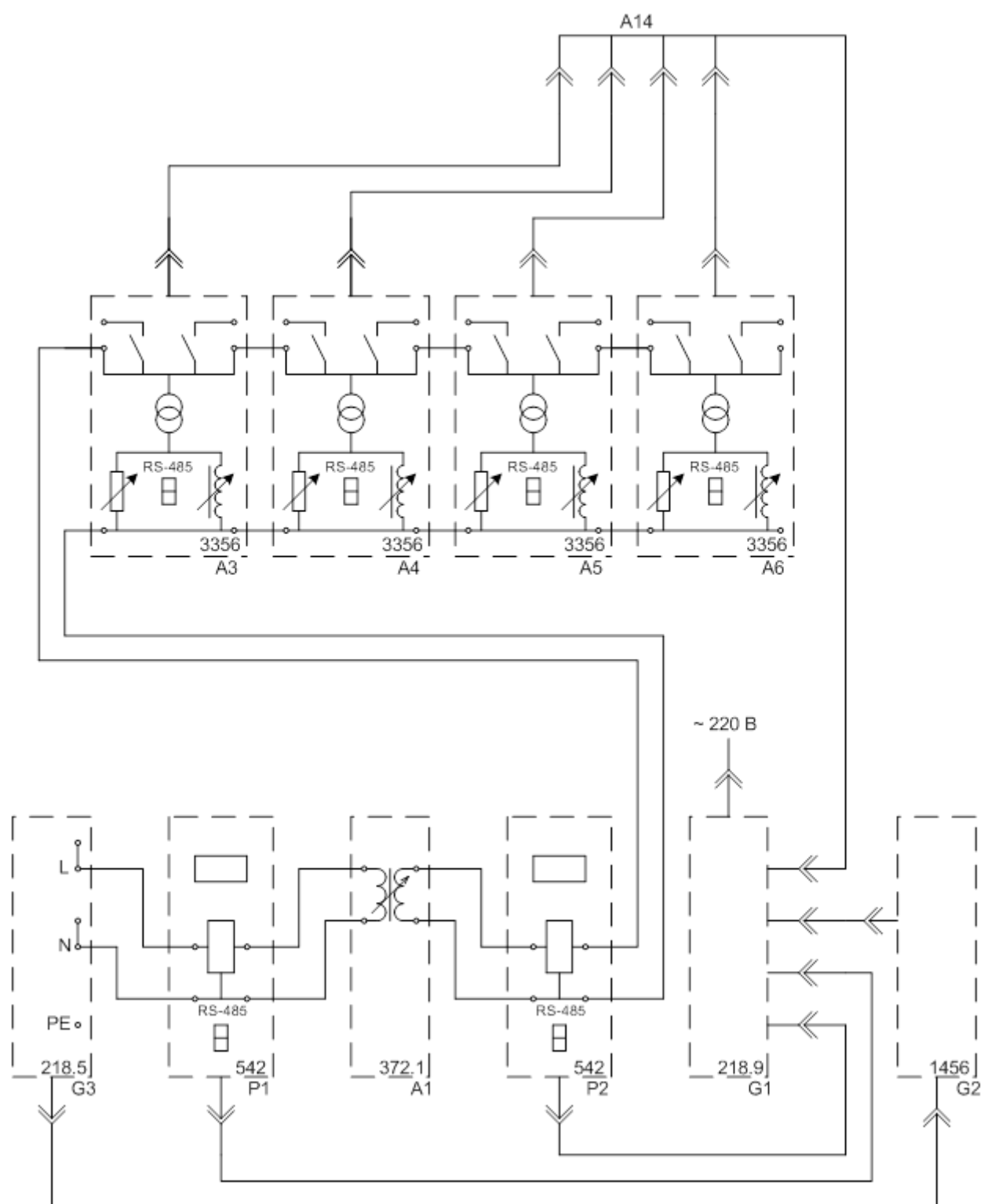


Рисунок 1.3 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора

## ***Часть 2. Натурное моделирование установившегося режима работы фазы линии электропередачи***

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " 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 Р1, Р2 и моделей А3...А5, однофазный источник питания G1.

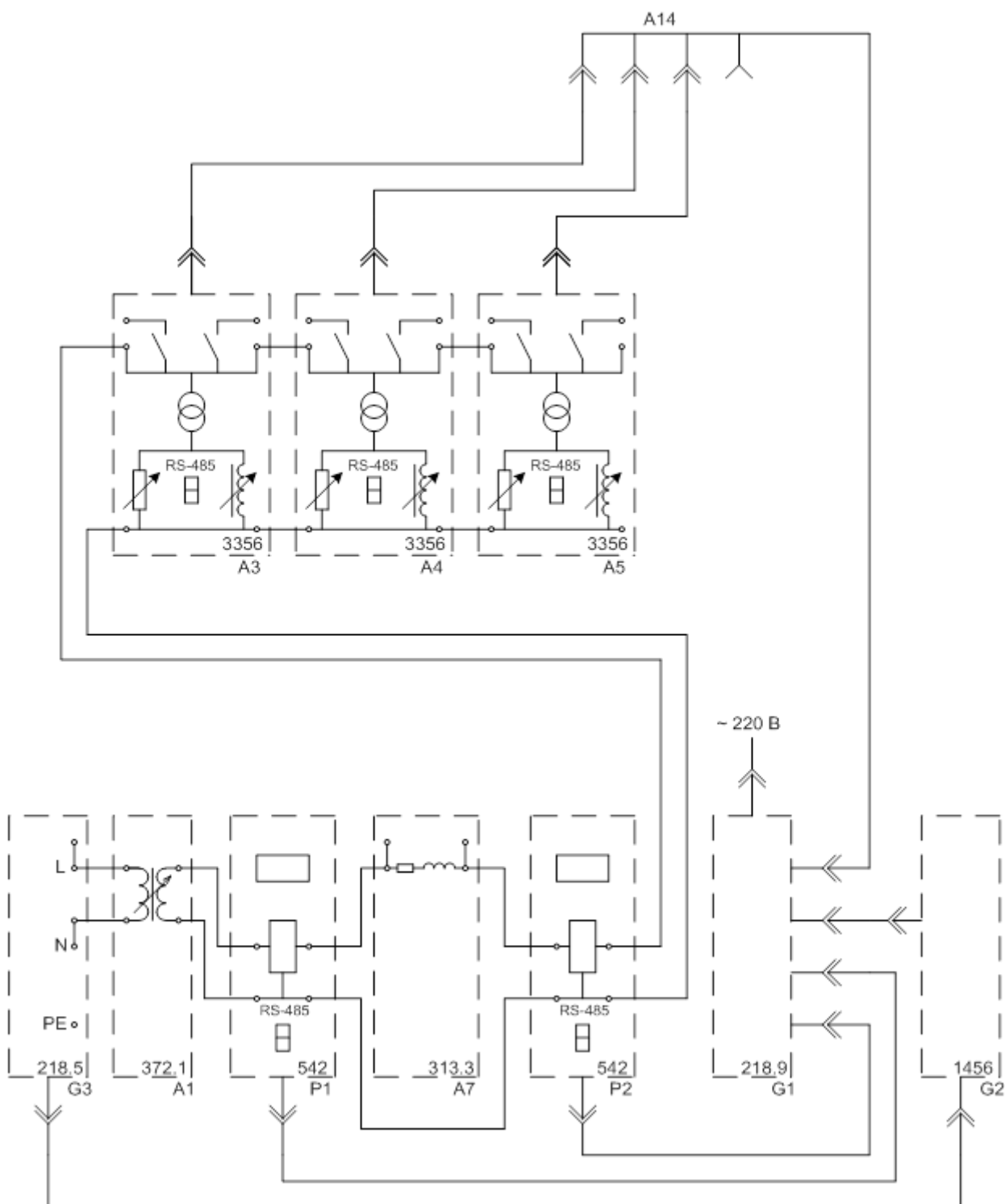


Рисунок 1.4 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы линии электропередачи.



### ***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

|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>U, В</b>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>P, Вт</b>  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Q, ВАр</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

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

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

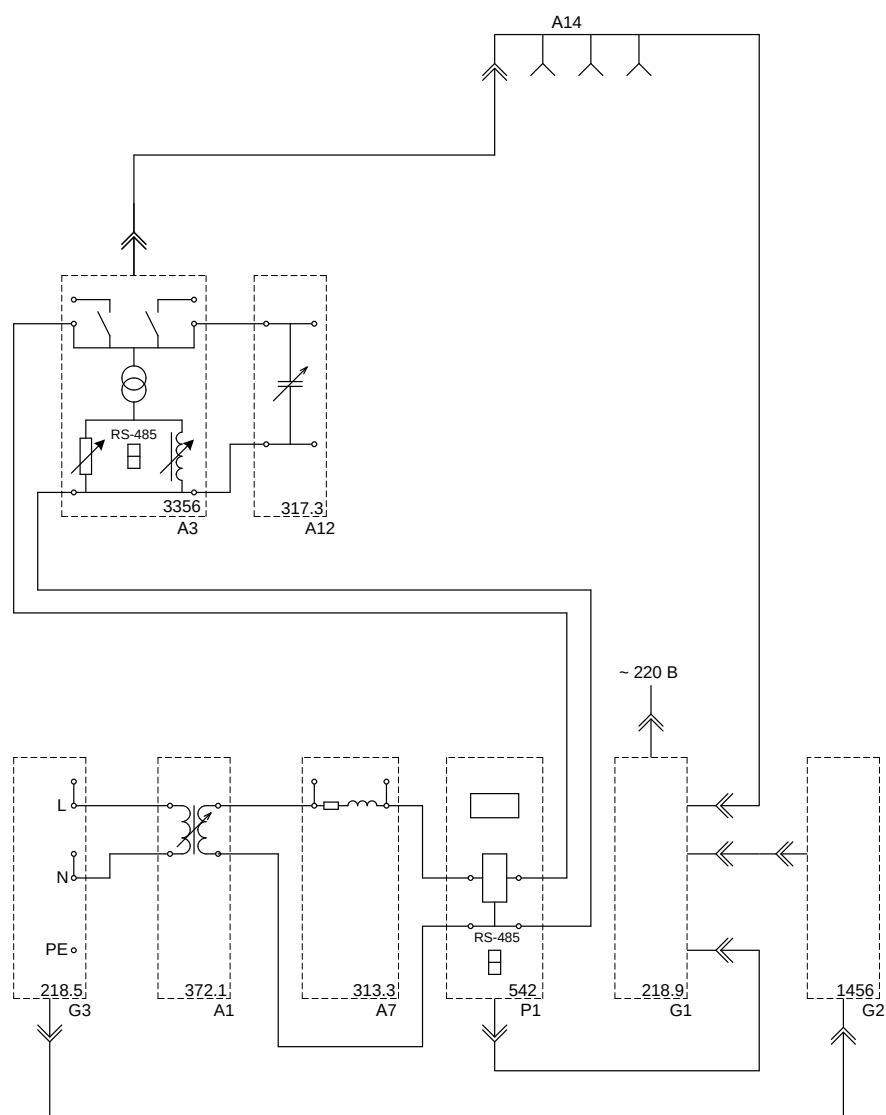


Рисунок 1.5 – Схема для снятия статической характеристики мощности по напряжению статической нагрузки.

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие схемы замещения 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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

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. 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>

1. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — 978-985-06-1597-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

## Лабораторная работа № 2

**Тема:** Установившиеся режимы распределительных электрических сетей.

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

**Формируемые компетенции:**

ПК-2

**Теоретическая часть:**

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

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

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

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

$$\sum_{i=1}^n S_i^* Z_i = 0,$$

где:  $S_i$  – 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 потокораздела 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 потокораздела в направлении балансирующего узла, производят расчёт всех потоков мощности в сети.

Определив мощность вблизи балансирующего узла, можно найти напряжения во всех точках сети. Например, если известны мощности в начале участка 1-2  $P_{H12}$  и  $Q_{H12}$ , 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<br>~ 230 В                              |
| G3          | Однофазный источник питания                   | 218.5 | ~ 220 В / 10 А                                  |
| A1, A2      | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>220 / 198...242<br>В                   |
| A3, A4      | Модель трансформаторной подстанции и нагрузки | 3356  | ~ 220 В / 0...20<br>Вт / 0...20 ВА <sub>р</sub> |
| 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<br>А / 2500 ВА                |

***Указание по технике безопасности:***

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

### ***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 " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
4. Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей A7, A8 линий электропередачи и нагрузок в моделях A3, A4 соответственно равными, например, 50 Ом, 0,15 Гн и 10 Вт, 10 ВАр.
6. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителя параметров P1 и моделей A3, A4.
8. Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
9. Включите однофазный источник питания G3.
10. Меняя положение переключателя коммутатора A15, с помощью измерителя P1, манипулируя кнопкой «<>», определяйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей на интересующих участках исследуемой сети (при положениях 1, 2, 3, 4, 5 переключателя коммутатора A15 измеряются параметры режима

соответственно на входе трансформатора A1, в начале и конце линии электропередачи A7, начале и конце линии электропередачи A8).

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

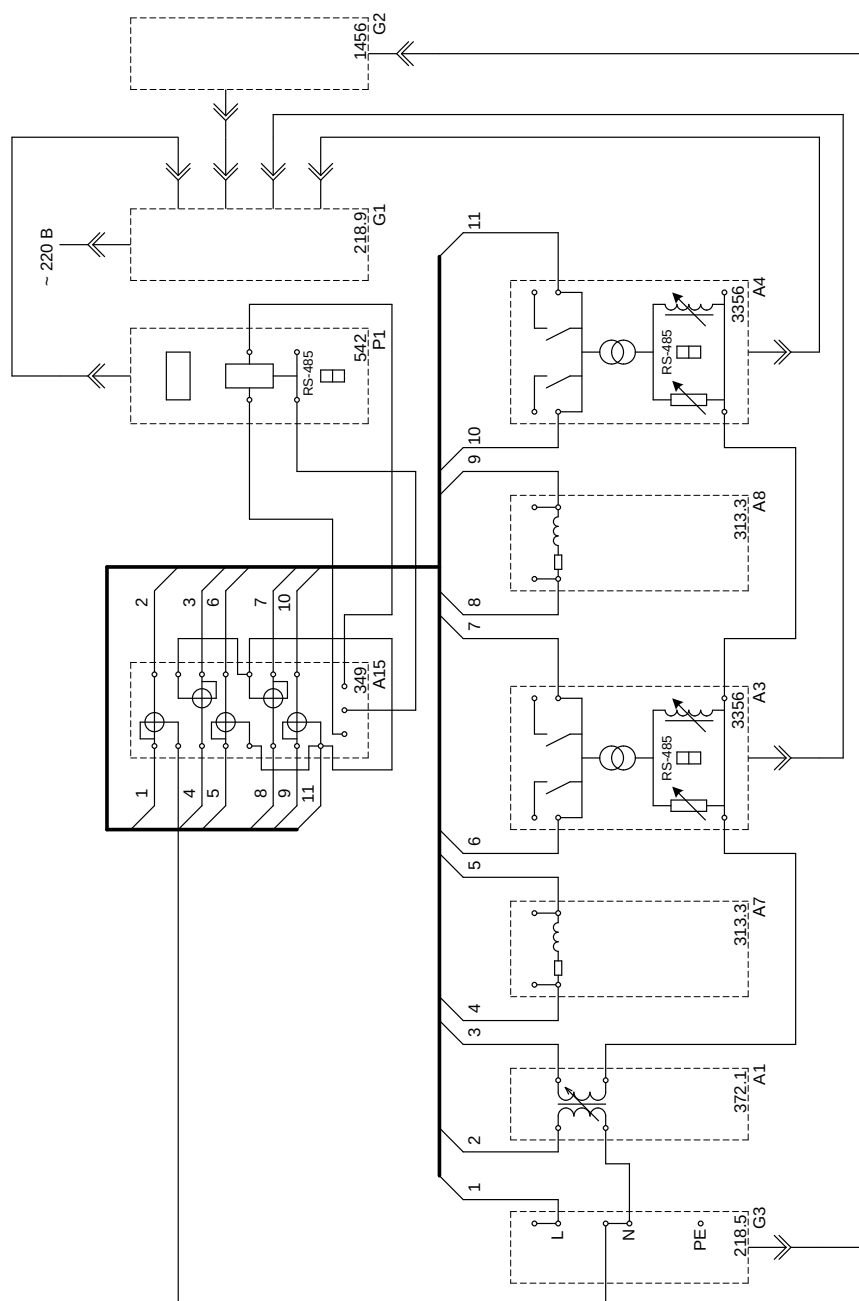


Рисунок 2.1 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием.

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

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

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

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

12. 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.

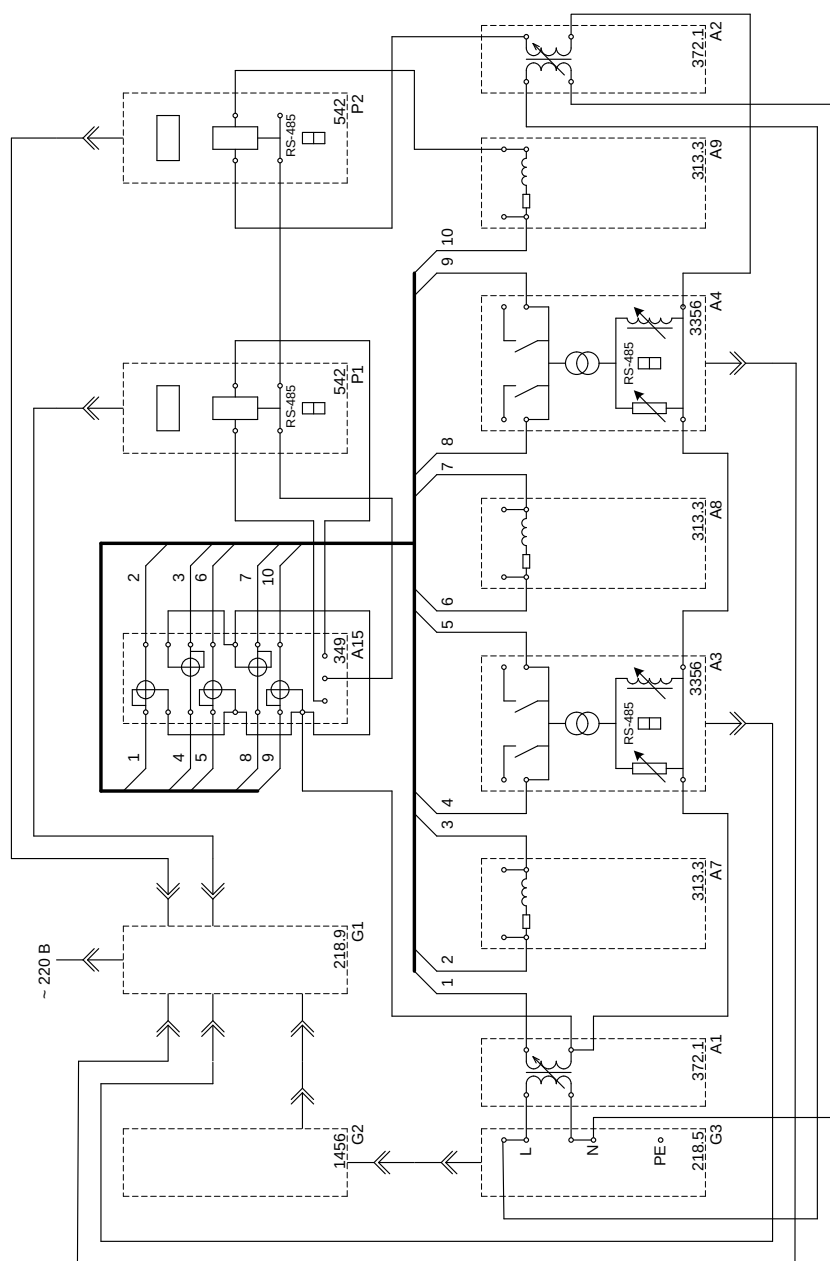


Рисунок 2.2 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием.

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

***Контрольные вопросы:***

1. Какая точка в сети называется точкой потоко раздела?
2. В чем отличие расчёта замкнутых сетей от разомкнутых?

***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

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. 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>

3. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — 978-985-06-1597-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>



### Лабораторная работа №3

**Тема:** Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях

**Цель:** Приобрести навыки регулирования в распределительных электрических сетях

**Формируемые компетенции:**

**ПК-2**

**Теоретическая часть:**

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

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

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:

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

Эта ЭДС будет создавать уравнительную мощность:

$$\underline{S}_{\text{уп}} = P_{\text{уп}} + jQ_{\text{уп}} = \sqrt{3} U_1 I_{\text{уп}}^* = \sqrt{3} U_1 \frac{\underline{E}^*}{\sqrt{3} Z_{\text{к}}^*} = \frac{U_1 \underline{E}^*}{Z_{\text{к}}^*},$$

Если в контуре создаётся только продольная ЭДС, то:

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                                  | Тип   | Параметры                                    |
|-------------|-----------------------------------------------|-------|----------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                   | 218.9 | ~ 220 В / 16 А                               |
| G2          | Источник бесперебойного питания               | 1456  | 1000 ВА<br>~ 230 В                           |
| G3          | Однофазный источник питания                   | 218.5 | ~ 220 В / 10 А                               |
| A1          | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>220 / 198...242 В                   |
| A3          | Модель трансформаторной подстанции и нагрузки | 3356  | ~ 220 В / 0...20 Вт / 0...20 ВА <sub>р</sub> |
| A7, A8      | Модель линии электропередачи                  | 313.3 | ~ 220 В / 0,3 А                              |
| A12         | Емкостная нагрузка                            | 317.3 | ~ 220 В / 0...30 ВА <sub>р</sub>             |
| P1, P2      | Измеритель параметров однофазной сети         | 542   | 0...500 В / 0...5 А / 2500 ВА                |

***Указание по технике безопасности:***

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

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется

студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

#### ***Часть 1. Встречное регулирование напряжения***

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "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 А1, например, равным 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей А7, А8 линий электропередачи и нагрузок модели А3 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 Р1, Р2 и модели А3.
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 Р2 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
11. С помощью измерителя Р1 определяйте величины активной, реактивной и полной мощностей, потребляемых нагрузкой.

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

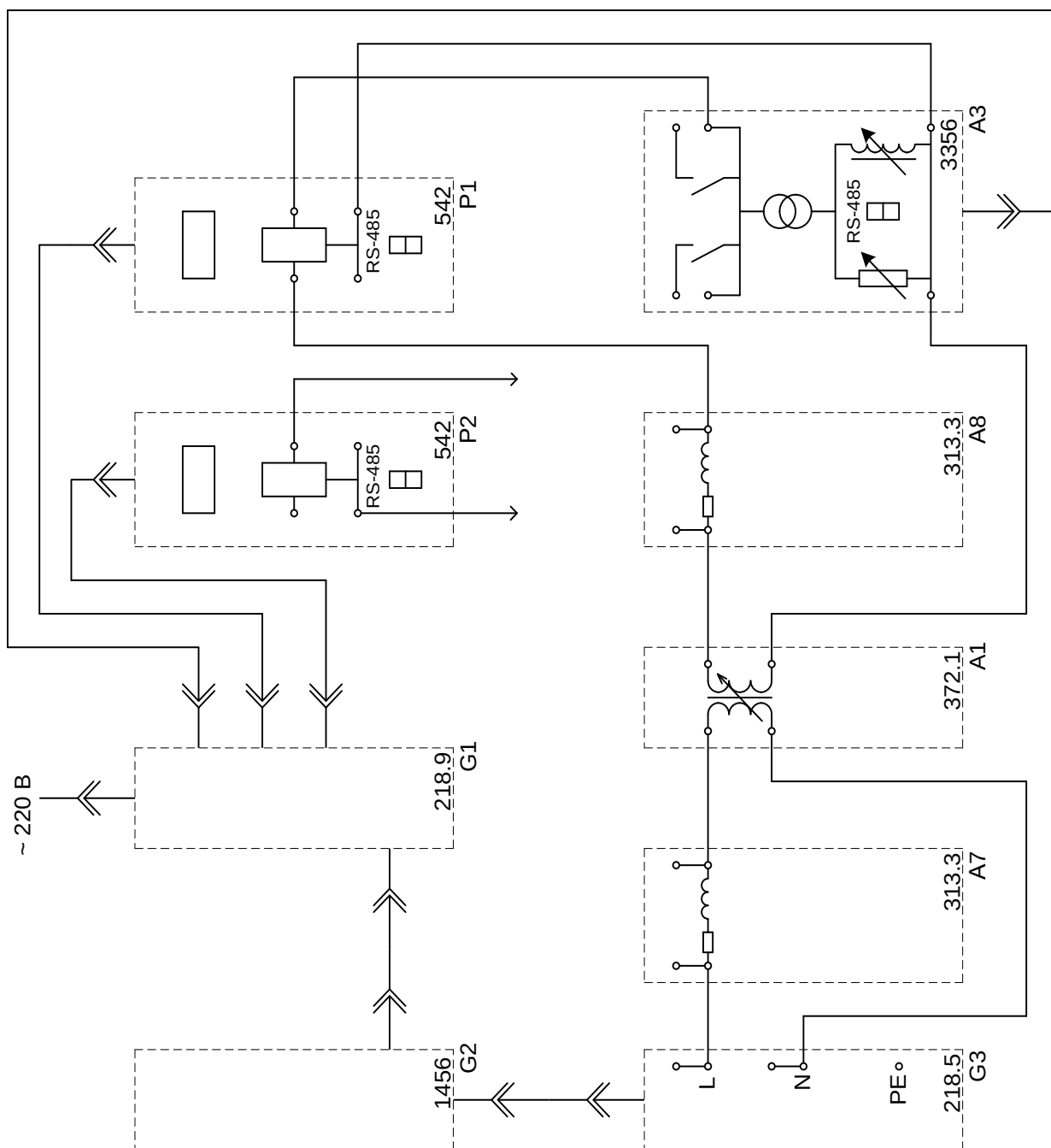


Рисунок 3.7 – Схема для изучения встречного регулирования напряжения.

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

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

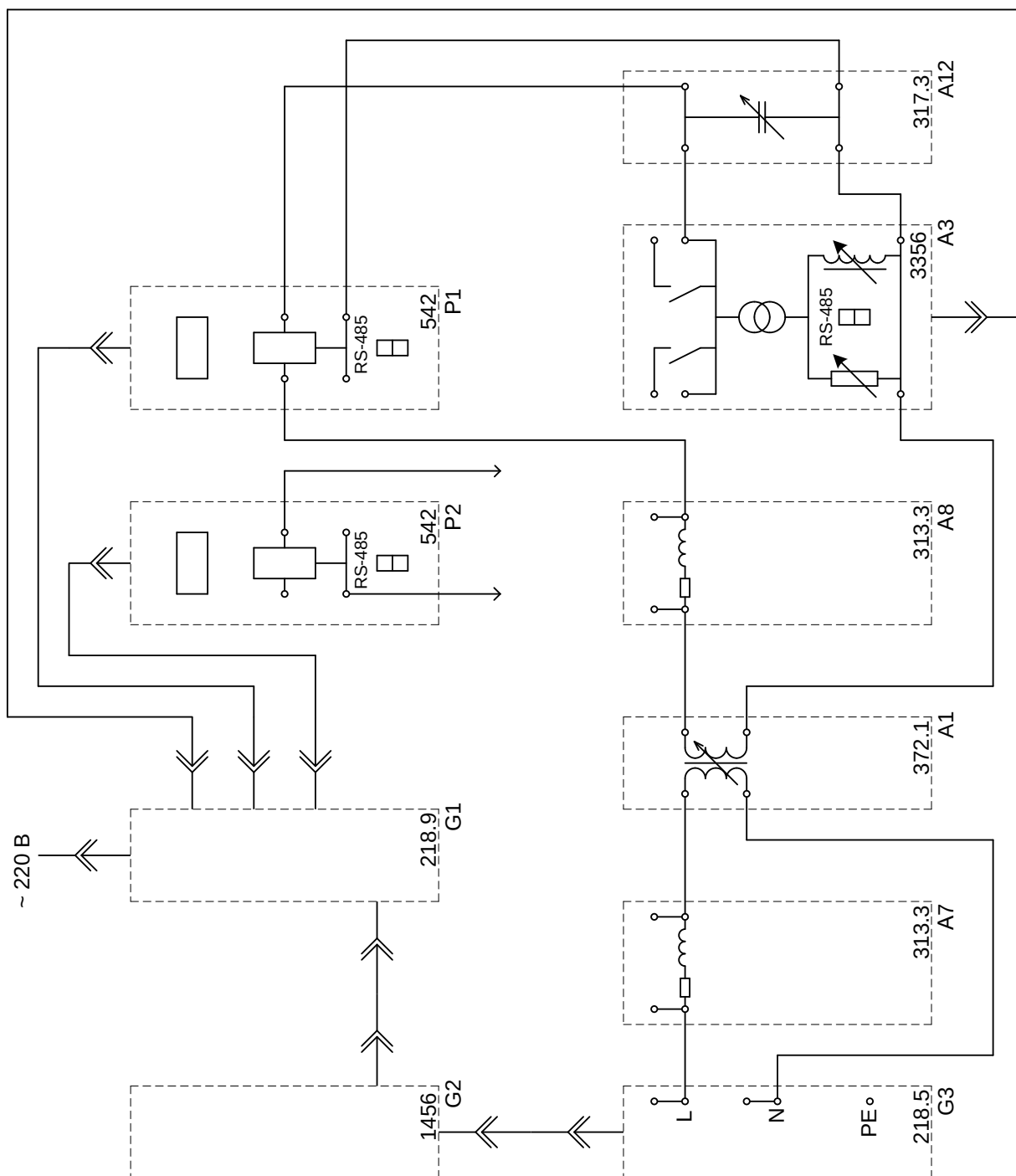


Рисунок 3.8 – Схема для изучения регулирования напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности.



### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

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. 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>

3. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — 978-985-06-1597-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

## Лабораторная работа №4

**Тема:** Оптимизация режима местной распределительной электрической сети

**Цель:** Приобрести навыки оптимального управления нормальными режимами в ЭС

**Формируемые компетенции:**

**ПК-2**

**Теоретическая часть:**

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

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

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

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

В действительности от момента сбора информации, расчета на ЭВМ

до реализации режима проходит время. Поэтому можно говорить лишь о темпе выдачи управляющих воздействий (ежечасной, через каждые 10 минут, каждую минуту).

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

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

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

Три вида задач оптимизации режимов:

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

2) оптимизация режима электрической сети, уменьшение  $\Delta P$  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  $\Delta P$  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 | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                        |
| G2          | Источник бесперебойного питания               | 1456  | 1000 ВА<br>$\sim 230 \text{ В}$                            |
| G3          | Однофазный источник питания                   | 218.5 | $\sim 220 \text{ В} / 10 \text{ А}$                        |
| A1, A2      | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>220 / 198...242<br>В                              |
| A3...A6     | Модель трансформаторной подстанции и нагрузки | 3356  | $\sim 220 \text{ В} / 0...20$<br>Вт / $0...20 \text{ ВАр}$ |
| A7...A11    | Модель линии электропередачи                  | 313.3 | $\sim 220 \text{ В} / 0,3 \text{ А}$                       |
| A14         | Удлинитель переносной четырехместный          | -     | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                        |
| A16         | Преобразователь интерфейсов USB / RS-485      | 3305  | ОВЕН АС4                                                   |
| A17         | Нетбук                                        | 1420  | -                                                          |
| P1, P2      | Измеритель параметров однофазной сети         | 542   | $0...500 \text{ В} / 0...5$<br>А / 2500 ВА                 |

### ***Указание по технике безопасности:***

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

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

- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

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

- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

#### ***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 А1 и А2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей А7...А11 линий электропередачи равными, например, 50 Ом; 0,09 Гн.
6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей А3...А6 равными, например, 20 Вт и 10 ВАр.



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

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

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

10. Включите однофазный источник питания G3.

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

12. С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций A3...A6 измерьте соответствующие активные мощности  $P_3... P_6$ , 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 G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6, однофазный источник питания G1.

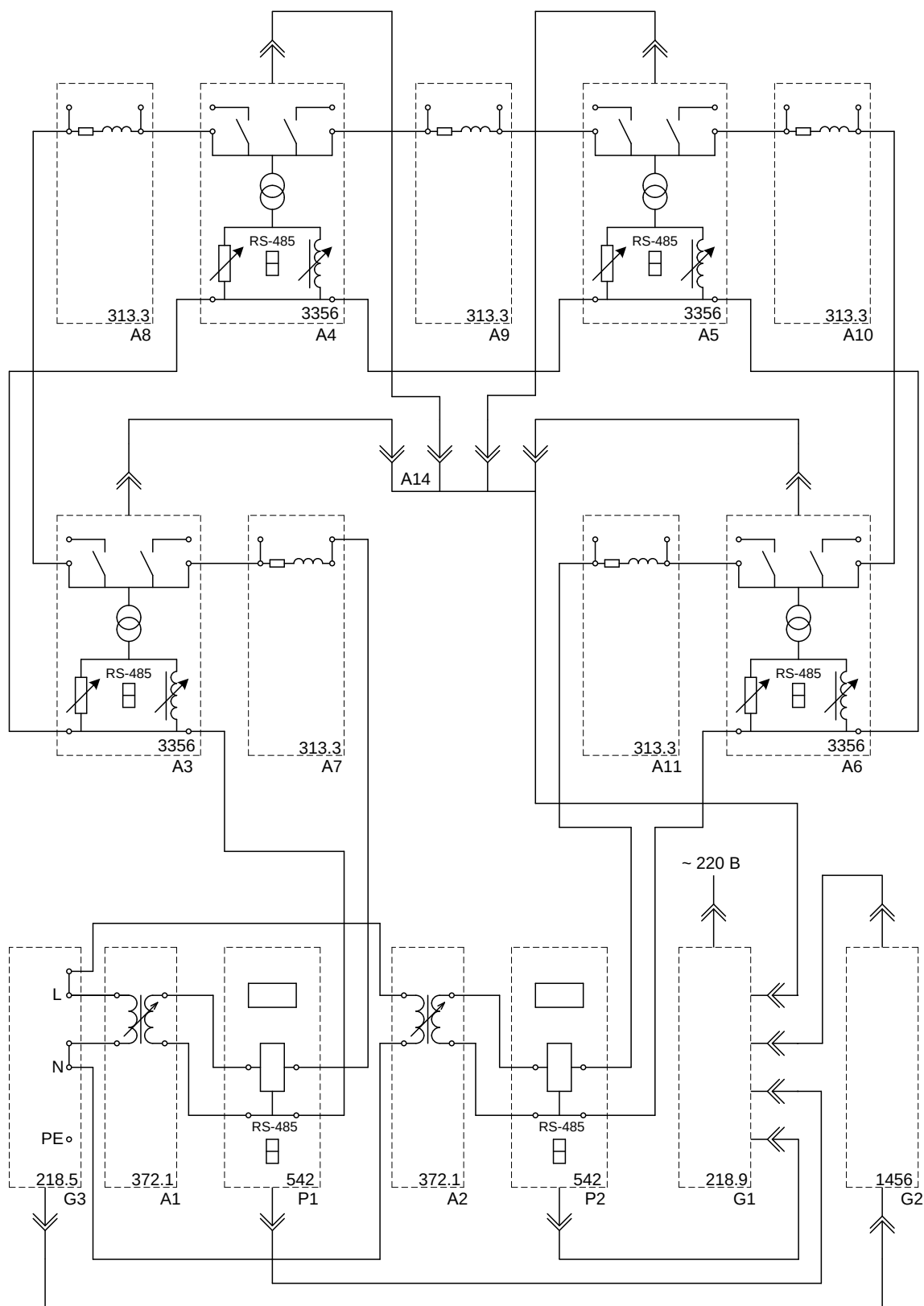


Рисунок 4.1 – Схема для определения точки нормального (оптимального) разрыва (разреза) в местной распределительной электрической сети.

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

1. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равных 1,0, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах (процентах)  $\Delta P^*_1$ .
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)  $\Delta P^*_2$ .
3. Сравните потери активной мощности  $\Delta P^*_1$  и  $\Delta P^*_2$ , 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)  $\Delta P^*_1$  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)  $\Delta P^*_2$  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)  $\Delta P^*_3$  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)  $\Delta P^*_4$  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)  $\Delta P^*_5$  при разрыве (разрезе) электрической сети между моделью трансформаторной подстанции А6 и моделью линии электропередачи А11.

6. Сравните потери активной мощности  $\Delta P^*_1... \Delta P^*_5$ , 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.

5. 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.

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

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

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

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

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

11. Включите однофазный источник питания G3.

12. С помощью измерителей P1 и P2 измерьте полные мощности  $S_1$  и  $S_2$ , поступающие в электрическую сеть соответственно через трансформаторы А1 и А2 первого и второго центров питания.

13. С помощью измерителей моделей трансформаторных подстанций А3...А6 измерьте соответствующие полные мощности  $S_3... S_6$ , потребляемые нагрузками этих подстанций.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

22. Определите согласно п. 4.1 настоящих указаний, потерю активной мощности в электрической сети в относительных единицах

(процентах)  $\Delta P^*_1$  при разрыве (разрезе) электрической сети в точке нормального (оптимального) разрыва (разреза).

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " 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,  $R_7 = 50$  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.
6. Установите переключателями желаемые параметры нагрузок моделей A3...A6 соответственно равными, например, 10 Вт и 8 Вар, 10 Вт и 8 Вар, 20 Вт и 16 Вар, 20 Вт и 16 Вар.
7. Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3...A6.

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

10. Включите однофазный источник питания G3.

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

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

12. С помощью выпадающих списков на экране ПК установите значения активных сопротивлений линий электропередачи равными реальным активным сопротивлениям моделей A7...A11 линий электропередачи.

13. Дистанционно управляйте выключателями моделей подстанций A3...A6 и определяйте потери активной мощности в сети.

14. Переведите программу в автоматический режим работы соответствующим переключателем.

15. Изменяйте параметры моделей A7...A11 линий электропередачи и параметры нагрузок моделей A3...A6 подстанций соответствующими рукоятками и наблюдайте процесс автоматического выбора точки разреза сети.

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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



***Контрольные вопросы:***

1. 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

***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

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. 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>
3. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — 978-985-06-1597-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>

## Лабораторная работа №5

**Тема:** Оптимизация режима районной распределительной электрической сети

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

**Формируемые компетенции:**

**ПК-2**

**Теоретическая часть:**

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

$$Q_{\text{с}} = U^2 B;$$

– потеря напряжения

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

где: Р 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<br>~ 230 В                  |
| G3          | Однофазный источник питания                   | 218.5 | ~ 220 В / 10 А                      |
| A1, A2      | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>220 / 198...242<br>В       |
| A3, A4      | Модель трансформаторной подстанции и нагрузки | 3356  | ~ 220 В / 0...20<br>Вт / 0...20 ВАр |
| A7...A9     | Модель линии электропередачи                  | 313.3 | ~ 220 В / 0,3 А                     |
| A12, A13    | Ёмкостная нагрузка                            | 317.3 | ~ 220 В /<br>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<br>А / 2500 ВА    |

### ***Указание по технике безопасности:***

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

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

- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

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

- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

#### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.1.
4. Установите переключателями желаемые значения коэффициентов трансформации трансформаторов А1 и А2, например, равными 1,0.
5. Установите переключателями желаемые параметры моделей А7...А9 линий электропередачи и нагрузок моделей А3, А4 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 P2, манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, потоков активной, реактивной и полной мощностей в конце линии электропередачи A9.

12. С помощью измерителей моделей подстанции A4, A4 , манипулируя кнопкой « < », измеряйте величины напряжения, активной, реактивной и полной мощностей нагрузок.

13. Потерю активной (реактивной) мощности  $\Delta P$  ( $\Delta Q$ ) 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.

14. 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.

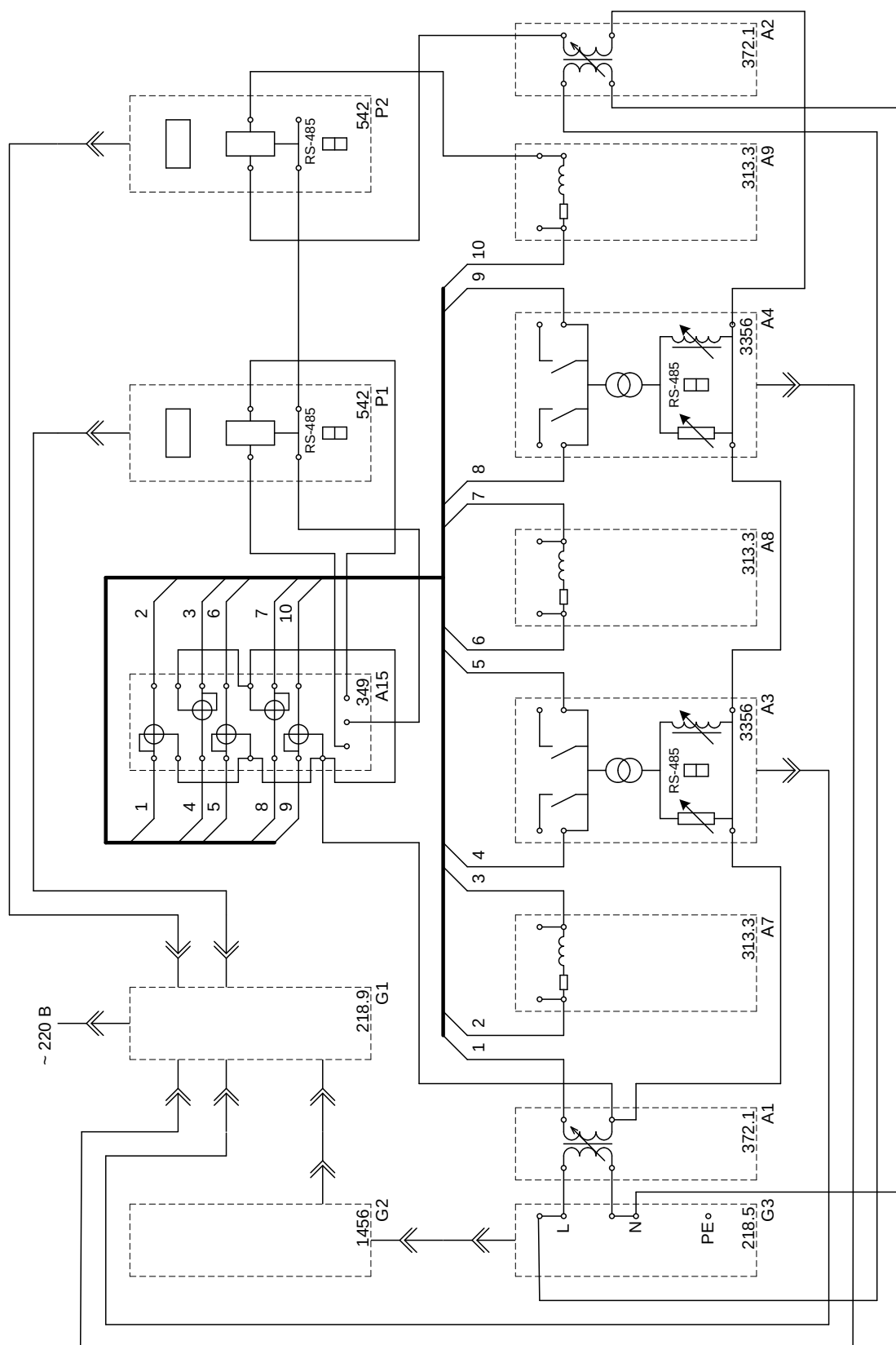


Рисунок 5.1 – Схема для измерения потокораспределения и определения потерь мощности в замкнутой (кольцевой) распределительной электрической сети.



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

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1 (G3).
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 5.2.
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  $\Delta P$  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  $\Delta P$  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  $\Delta P$  минимальна.

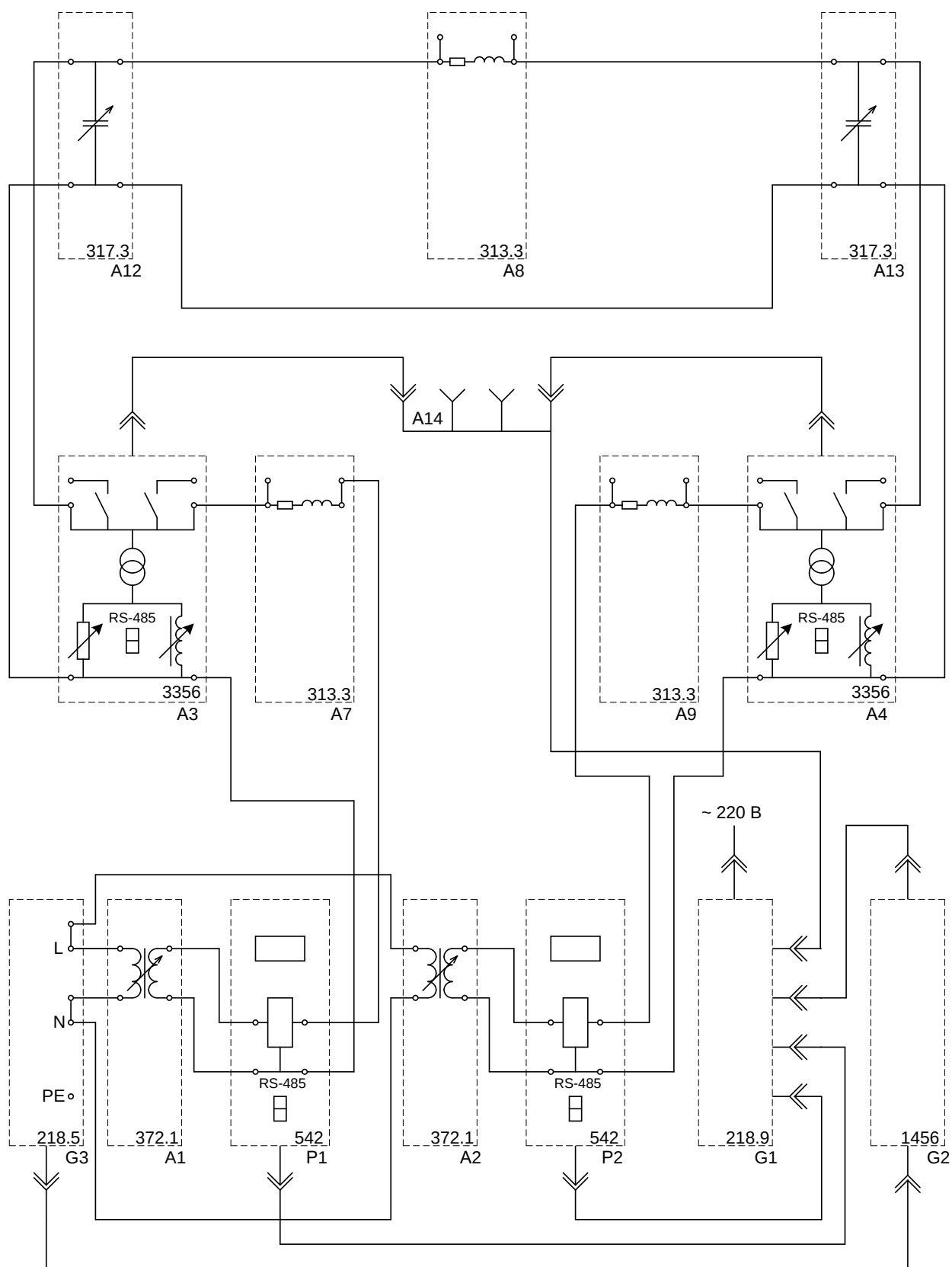


Рисунок 5.2 – Схема для определения оптимальной мощности компенсирующих конденсаторов устройств в замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети.

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

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. 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>

3. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2009. — 365 с. — 978-985-06-1597-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20124.html>