

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

В.Б. Шлейников

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧАСТЬ 1

Практикум

Рекомендовано к изданию Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 140211.65 Электроснабжение

Оренбург
2012

УДК 621.3.016.3(07)
ББК 31.29-5я7
Ш 68

Рецензент – доцент, кандидат технических наук С.Н. Бравичев

Шлейников, В.Б.
Ш 68 Электроснабжение промышленных предприятий: в 2 ч. Практикум / В.Б. Шлейников; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – Ч.1 99 с.

В практикуме приведены описание и методика выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» первой части, в которых на практике закрепляются знания по базовым вопросам дисциплины.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 140211.65 - Электроснабжение.

УДК 321.3.016.3(07)
ББК 31.29-5я7

© Шлейников В.Б., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа №1 Построение графика электрических нагрузок промышленного предприятия и определение его основных показателей	6
2 Лабораторная работа №2 Учет электрической энергии в сетях промышленных предприятий	24
3 Лабораторная работа №3 Определение показателей качества электроэнергии	59
4 Лабораторная работа №4 Компенсация реактивной мощности в цеховой сети	77
5 Варианты индивидуальных заданий	95
Список использованных источников	97
Приложение А Правила техники безопасности	98
Приложение Б Требования к оформлению отчета.....	99

Введение

Лабораторные работы являются неотъемлемой частью курса «Электроснабжение промышленных предприятий». На лабораторных занятиях студент совершенствует навыки схемотехники, выполняет электрические измерения, учится распознавать нормальные и аварийные режимы работы оборудования, получает опыт безопасного обращения с электрическим током. Кроме того, лабораторные работы являются иногда единственным средством понимания некоторых процессов.

Вопросам разработки лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» посвящено немало учебных изданий, которые содержат некоторый набор заданий для выполнения на определенном лабораторном оборудовании, как правило, существующем в единственном экземпляре в отдельно взятом учебном заведении. Кроме того, многие методические указания используют темы лабораторных работ, относящиеся к смежным дисциплинам: электропривод, релейная защита, электрические машины и др.

Данный набор лабораторных работ предусматривает использование в качестве лабораторного оборудования стендов, разработанных ООО «ИПЦ «Учебная техника», представляющих собой унифицированные модули, монтируемые в раме настольного исполнения. Для каждой лабораторной работы разработана электрическая схема, собираемая на базе указанных стендов и методика выполнения эксперимента. Темы работ имеют непосредственное отношение к дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» и ориентированы на закрепление материала лекционных занятий. Для удобства использования весь материал лабораторного практикума разделен на две части содержащих по четыре лабораторные работы каждая.

В каждой работе приводится краткий теоретический материал, который при подготовке к выполнению работы и обработке результатов должен быть расширен сведениями, приводимыми в литературе, рекомендуемой для изучения темы. Контроль полноты и качества освоения представленного материала выполняется при защите каждой лабораторной работы с использованием контрольных вопросов.

Выполнение лабораторной работы предполагается бригадой, состоящей из двух или трех студентов. Распределение обязанностей между членами бригады выполняется студентами самостоятельно, но под контролем преподавателя. Как правило, одному члену бригады поручается общее руководство выполнением и защитой работы, один студент – оператор стенда, должен отвечать за выполнение присоединений блоков стенда и операции включения и выключения питания схемы. Каждый член бригады несет персональную ответственность за соблюдение правил техники безопасности, приведенных в приложении А.

Защита лабораторной работы проходит в форме собеседования всех членов бригады, выполнявших лабораторную работу с преподавателем на тему работы в виде ответов на контрольные вопросы. При защите лабораторной работы представляется отчет, выполненный согласно требованиям, изложенным в приложении Б.

Срок выполнения каждой работы отражается в графике выполнения лабораторных работ. Рекомендуется для выполнения одной работы предусматривать не менее одной недели для подготовки к выполнению и одной недели для подготовки к защите работы.

Успех освоения практической части курса «Электроснабжение промышленных предприятий» во многом зависит от точности следования рекомендациям лабораторного практикума, ритмичности и планомерности выполнения и защиты лабораторных работ.

Предлагаемый практикум является всего лишь промежуточным звеном в совершенствовании лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий», поэтому замечания и недочеты, присутствующие в тексте просьба направлять автору.

1 Лабораторная работа №1. Построение графика электрических нагрузок промышленного предприятия и определение его основных показателей

Цель лабораторной работы - опытное определение показателей графиков электрических нагрузок.

Задачи

- 1 Практическим путем получить в заданном масштабе график активной и реактивной нагрузки.
- 2 Для полученных графиков нагрузок определить основные показатели и коэффициенты, характеризующие эти графики.
- 3 Определить расход электроэнергии.

1.1 Общие положения

Электрическая нагрузка отдельных потребителей, а, следовательно, и суммарная их нагрузка, определяющая режим работы электростанций в энергосистеме, непрерывно меняется. Принято отражать этот факт в виде графика нагрузки, т.е. диаграммой изменения мощности (тока) электроустановки во времени. По виду фиксируемого параметра различают графики активной P , реактивной Q , полной (кажущейся) S мощностей и тока I электроустановки. Как правило, графики отражают изменение нагрузки за определенный период времени. По этому признаку их подразделяют на суточные (24 ч), сезонные, годовые и т. п. По месту изучения или элементу энергосистемы, к которому они относятся, графики можно разделить на следующие группы:

- 1) графики нагрузки потребителей, определяемые на шинах подстанций;
- 2) сетевые графики нагрузки - на шинах районных и узловых подстанций;
- 3) графики нагрузки энергосистемы, характеризующие результирующую нагрузку энергосистемы;

4) графики нагрузки электростанций.

Графики нагрузки используют для анализа работы электроустановок, для проектирования системы электроснабжения, для составления прогнозов электропотребления, планирования ремонтов оборудования, а также в процессе эксплуатации для ведения нормального режима работы.

1.1.1 Суточные графики электрических нагрузок

Суточные графики электрических нагрузок, составляемые потребителями, необходимы для определения:

- нагрузок электрических сетей, трансформаторов и суммарной величины электрической нагрузки предприятия;
- tgφ на отдельных трансформаторах и в целом по предприятию;
- коэффициента заполнения графика нагрузки.

Суточные графики нагрузки позволяют правильно оценить режим работы электрооборудования и предприятия, в целом, выявить узкие места и резервы, установить оптимальный режим их работы.

В соответствии с Правилами пользования электрической энергией все предприятия обязаны составлять суточные графики электрических нагрузок 2 раза в год: первый раз в июне - летние графики, второй раз в декабре - зимние графики.

Предприятия, расчетные электросчетчики которых установлены в головной части питающих их фидеров, обязаны получить протоколы с записями показаний электросчетчиков, с электростанций или подстанций на следующий день после установленного дня составления графиков. По показаниям электросчетчиков, записанным персоналом станций или подстанций, предприятие обязано немедленно произвести вычисления электрических нагрузок фидеров и tgφ. Графики должны составляться по разности, показаний расчетных активных и реактивных электросчетчиков за каждый час. Первая запись должна быть сделана в 0 ч 00 мин и последняя в 24 часа. Одновременно с составлением графиков нагрузки составляются суточные графики напряжения по данным ежечасных записей в протоколах показа-

ний вольтметров. Запись показаний вольтметров предприятие обязано производить еже часно в день составления графика независимо от места расположения счетчиков, в головной части фидера на станции или подстанции или на приемной части фидера у потребителя.

Графики суточных нагрузок и напряжений вместе с протоколами сдаются в Энергосбыт или в соответствующие отделения не позднее пяти дней после дня, установленного для составления суточных графиков.

Запись напряжения необходимо производить на:

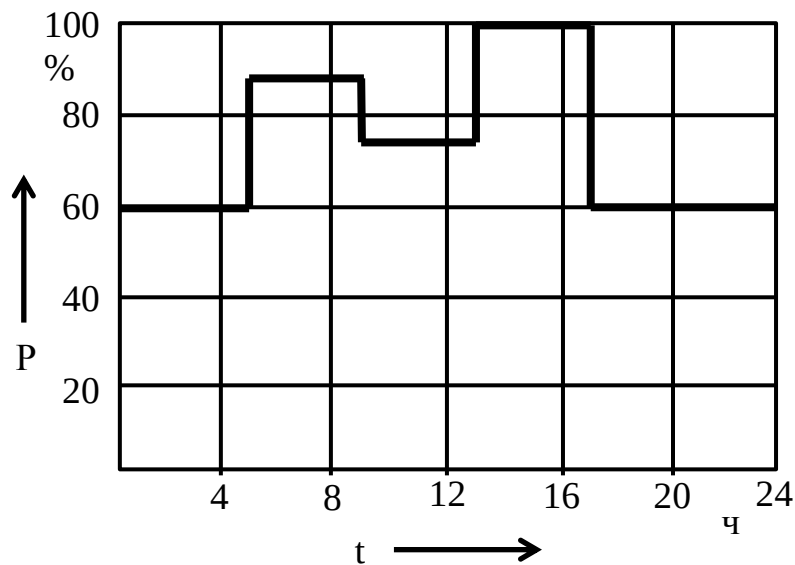
- каждом высоковольтном вводе, питающем предприятие;
- отдаленных сборках низкого напряжения, если на них напряжение занижено;
- шинах низкого напряжения каждого распределительного устройства.

При наличии на предприятии самопишущих вольтметров суточные графики напряжения составляются на основании диаграммных лент самописцев.

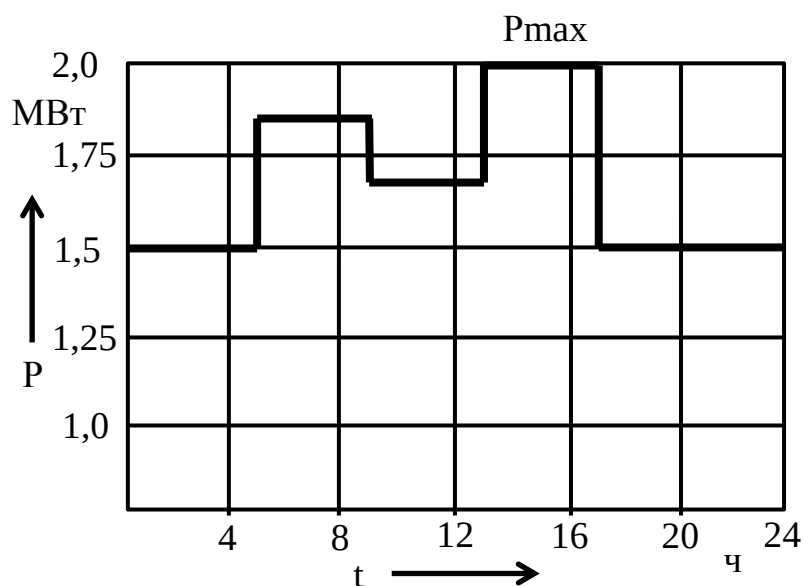
Если на предприятии нет самопишущих вольтметров, записи напряжения производятся по лабораторным стрелочным приборам класса точности 0,5-1,5, подключаемым к шинам низкого напряжения непосредственно или через трансформаторы напряжения класса точности 0,5. На вводах высокого напряжения лабораторные вольтметры включаются во вторичную обмотку трансформаторов напряжения. При отсутствии самопишущих и лабораторных стрелочных вольтметров напряжение записывается по щитовым вольтметрам. Вольтметры, по которым составляются графики напряжения, должны быть исправны, и проверены госповерителем.

Фактический график нагрузки может быть получен с помощью регистрирующих приборов, которые фиксируют изменения соответствующего параметра во времени. Перспективный график нагрузки потребителей определяется в процессе проектирования.

Для построения перспективного графика необходимо знать характер изменения нагрузки потребителя во времени, который при проектировании обычно определяется по типовым графикам. Типовой график нагрузки строится по результатам исследования аналогичных действующих потребителей и приводится в справочной литературе в виде, показанном на рисунке 1.



а)



б)

Рисунок 1 - Суточные графики активной нагрузки потребителя: а - типовой; б - в именованных единицах

Для удобства расчетов график выполняется ступенчатым. Наибольшая возможная за сутки нагрузка принимается за 100 %, а остальные ступени графика показывают относительное значение нагрузки для данного времени суток. При извест-

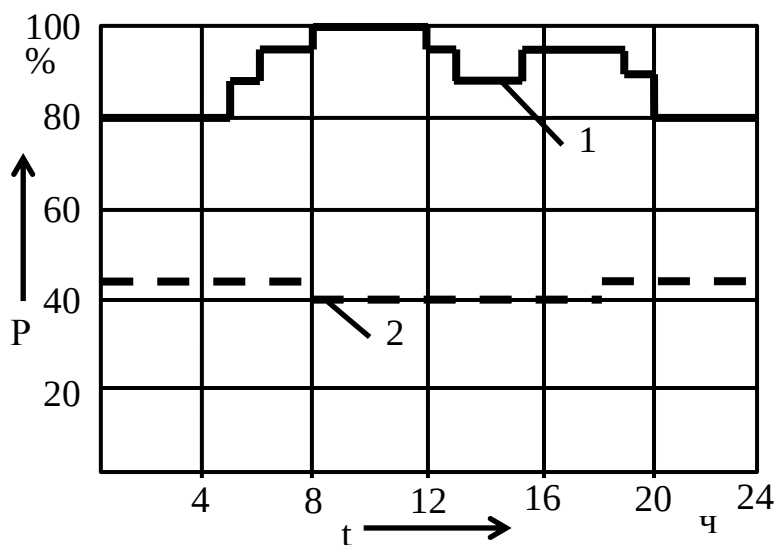
ном $P_{\text{макс}}$ можно перевести типовой график в график нагрузки данного потребителя, используя соотношение для каждой ступени графика в Вт

$$P_{\text{ст}} = \frac{n}{100} \cdot P_{\text{макс}}, \quad (1)$$

где n - ордината соответствующей ступени типового графика, %.

На рисунке 1 б показан график потребителя электроэнергии, полученной из типового, показанного на рисунке 1 а при $P_{\text{макс}} = 2 \text{ МВт}$.

Обычно для каждого потребителя дается несколько суточных графиков, которые характеризуют его работу в разное время года и в разные дни недели. Это - типовые графики зимних и летних суток для рабочих дней, график выходного дня и т.д. Основным является обычно зимний суточный график рабочего дня. Его максимальная нагрузка $P_{\text{макс}}$ принимается за 100 %, и ординаты всех остальных графиков задаются в процентах именно этого значения. На рисунке 2 приведен пример графика электрической нагрузки, полученный по справочным данным.



1 - график рабочего дня; 2 - график выходного дня

Рисунок 2 - Пример типового графика конкретного вида производства (черная металлургия)

Кроме графиков активной нагрузки, используют графики реактивной нагрузки. Типовые графики реактивного потребления также имеют ординаты ступеней, в

процентах абсолютного максимума. Абсолютный максимум реактивной нагрузки определится по выражению в вар

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{макс}}, \quad (2)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{макс}}$ определяется по значению $\cos\varphi_{\text{макс}}$, которое задано, как исходный параметр для данного потребителя.

Суточный график полной мощности можно получить, используя известные графики активной и реактивной нагрузок. Значения мощности по ступеням графика, показанного на рисунке 3, определяются по выражению в В·А

$$S_{\text{ст}} = \sqrt{P_{\text{ст}}^2 + Q_{\text{ст}}^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ст}}$ и $Q_{\text{ст}}$ - активная и реактивная нагрузки данной ступени в именованных единицах.

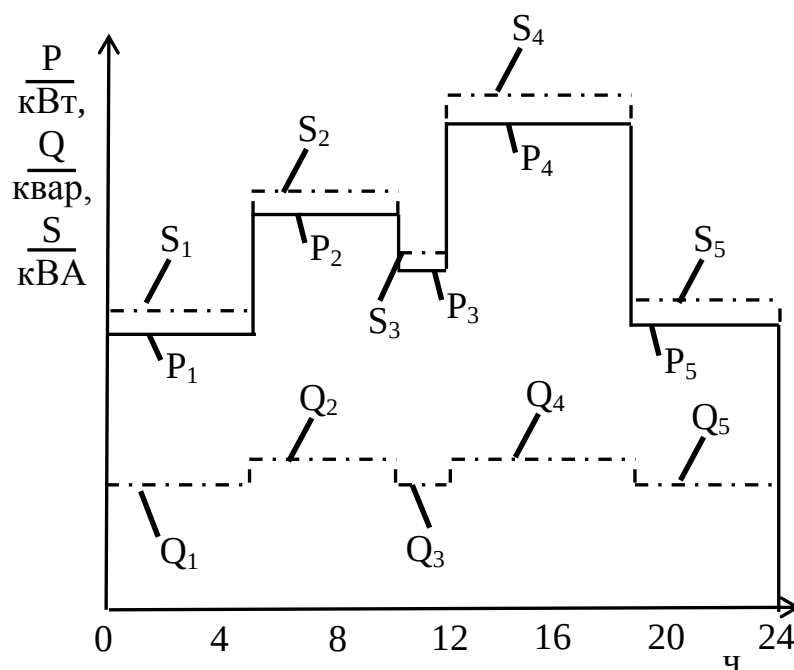


Рисунок 3 - Суточные графики активной, реактивной и полной мощности потребителя

1.1.2 Годовой график электрических нагрузок

Годовой график продолжительности нагрузки показывает длительность работы установки в течение года с различными нагрузками. По оси ординат откладывают нагрузки в соответствующем масштабе, по оси абсцисс - часы года от 0 до 8760. Нагрузки на графике располагают в порядке их убывания от $P_{\text{макс}}$ до $P_{\text{мин}}$ как показано на рисунке 4.

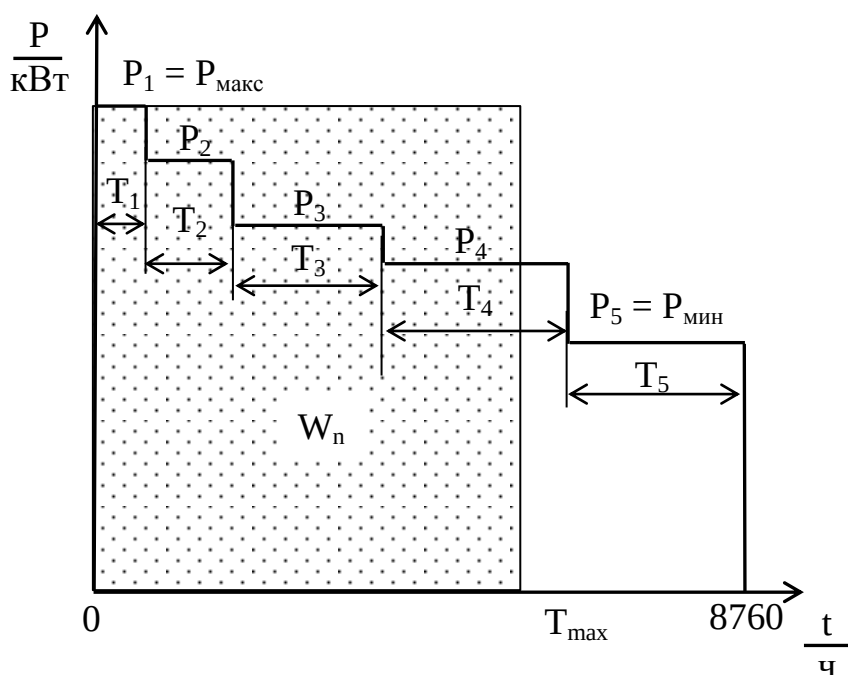
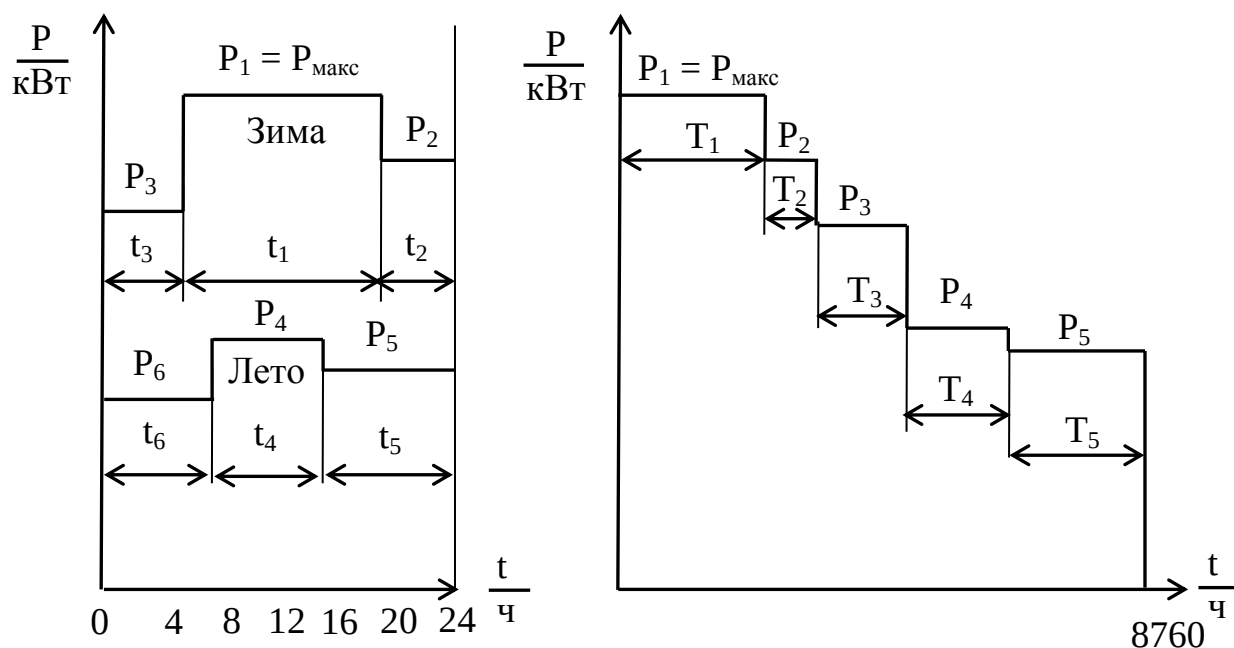


Рисунок 4 - Годовой график продолжительности нагрузок.

Построение годового графика продолжительности нагрузок производится на основании известных суточных графиков. На рисунке 5 показан способ построения графика при наличии двух суточных графиков нагрузки - зимнего (183 дня) и летнего (182 дня).

Для наиболее распространенных потребителей электроэнергии в справочниках приводятся типовые графики активной и реактивной нагрузок по продолжительности. График по продолжительности нагрузок применяют в расчетах технико-экономических показателей установки, расчетах потерь электроэнергии, при оценке использования оборудования в течение года и т. п.



$$T_1 = t_1 \cdot 183; T_2 = t_2 \cdot 183; T_3 = t_3 \cdot 183; T_4 = t_4 \cdot 182; T_4 = t_4 \cdot 182; T_5 = t_5 \cdot 182$$

Рисунок 5 - Построение графика по продолжительности нагрузок

1.2 Описание лабораторной установки РССЭС1-Н-Р

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования РССЭС1-Н-Р (настольное исполнение, ручная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 1.

Таблица 1 - Состав оборудования стенда

Тип аппаратуры	Название
509.2	Блок мультиметров
507.2	Измеритель мощностей
218.2	Однофазный источник питания
359	Автоматический однополюсный выключатель
372.1	Однофазный трансформатор
306.4	Активная нагрузка
324.4	Индуктивная нагрузка

Для выполнения электрических соединений прилагается комплект проводников различной длины красного, черного и желтого с зеленой полоской цветов и U-образных перемычек. Проводники красного, черного цвета и перемычки предназначены для выполнения основных соединений элементов схемы. Проводники желтого с зеленой полоской цвета, предназначены для устройства защитного заземления модулей стенда, служащего защитой оператора от поражения электрическим током. Наконечники проводников и перемычек выполнены с безопасными разъемами.

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 6.

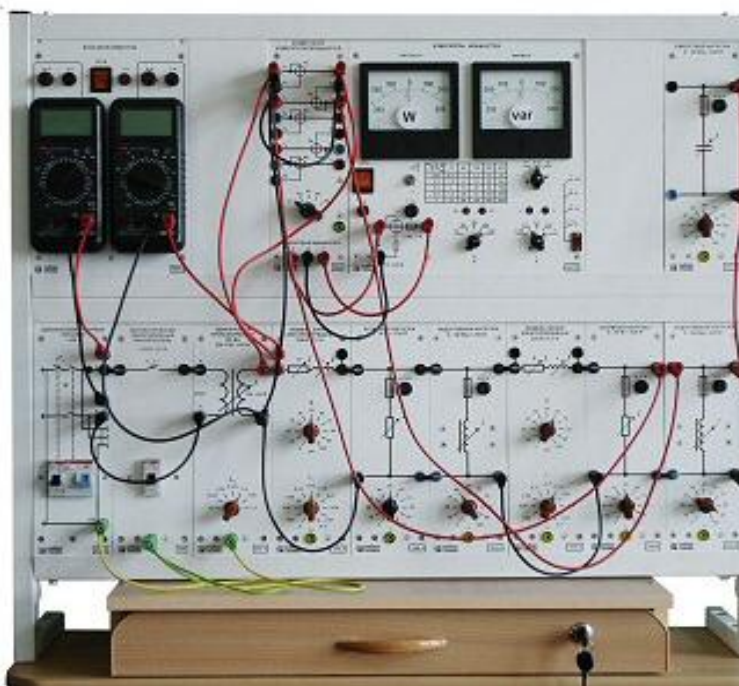


Рисунок 6 – Вид лабораторной установки РССЭС1-Н-Р

1.3 Описание лабораторной установки КЭЭСЭС1-Н-К

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования КЭЭСЭС1-Н-К (настольное исполнение, компьютерная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 2.

Таблица 2 - Состав оборудования стенда

Тип аппаратуры	Название
509.2	Блок мультиметров
507.2	Измеритель мощностей
218.2	Однофазный источник питания
359	Автоматический однополюсный выключатель
372.1	Однофазный трансформатор
306.4	Активная нагрузка
324.4	Индуктивная нагрузка

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 7.

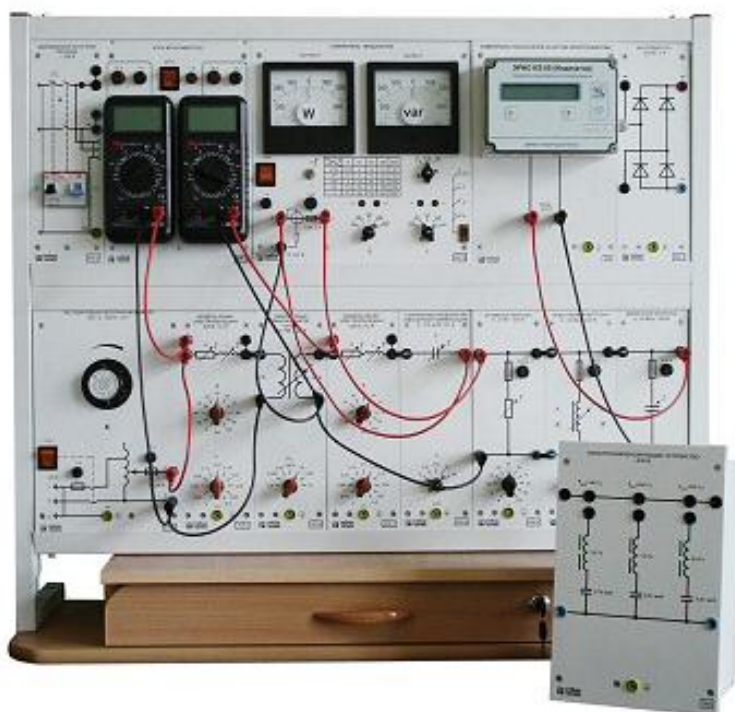


Рисунок 7 - Лабораторная установка КЭЭСЭС1-Н-К

1.4 Основные приемы работы со стендом

Перед выполнением любых коммутаций следует убедиться, что однофазный источник питания выключен.

При выполнении лабораторной работы студент, являющийся оператором стенда, соединяет согласно схеме аппаратные модули. Для этого наконечники проводни-

ков соответствующей длины или перемычки вставляются с небольшим усилием в гнезда. При этом стенд нужно придерживать за раму.

Проводники можно соединять между собой. Присоединение двух и более проводников к одному разъему выполняется при помощи безопасных наконечников проводников. Присоединение мультиметров следует выполнять проводниками с безопасными наконечниками, входящими в комплект стенда.

1.5 Измерительные приборы

При выполнении лабораторной работы необходимо определять напряжение и ток в электрической цепи. Эти измерения выполняются мультиметром. Порядок подключения мультиметра:

- установить род тока (постоянный/переменный) и предел измерения;
- правильно присоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Внешний вид мультиметра приведен на рисунке 8. Расположение и назначение разъемов для измерения различных электрических величин приведены на рисунке 9.

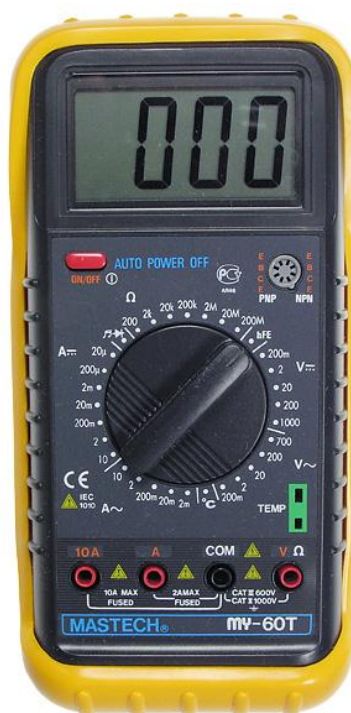


Рисунок 8 - Внешний вид мультиметра MY-60

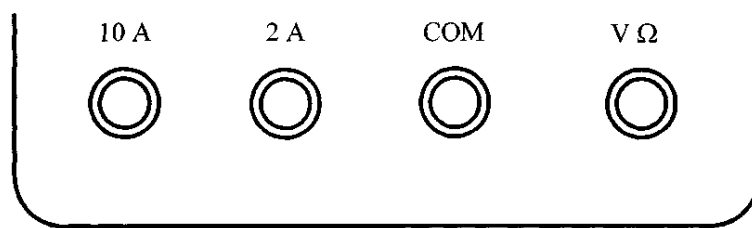


Рисунок 9 - Схема расположения разъемов мультиметра MY-60

Пример 1 - Измерение переменного напряжения

Для измерения напряжения в нашем случае, устанавливаем переключатель диапазонов мультиметра в положение $700\text{ V}_{\sim}$, а присоединение проводников выполняем к разъемам COM и V.

Пример 2 - Изменение силы переменного тока

Устанавливаем переключатель диапазонов мультиметра в положение $2\text{ A}_{\sim}$, а присоединение проводников выполняем к разъемам COM и 2 A.

1.6 Ход работы

Для выполнения измерений потребуется собрать испытательную установку, согласно схеме соединения блоков стенда, показанной на рисунке 10.

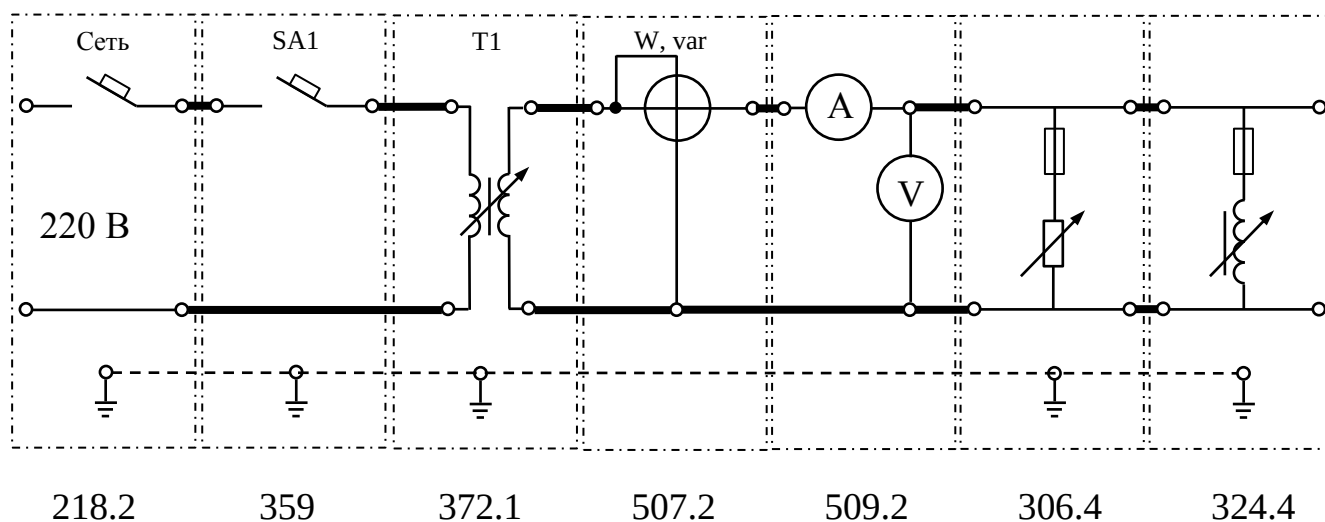


Рисунок 10 - Схема соединений блоков стенда для получения графиков электрических нагрузок

Переключатель мощности активной (блок 306.4) и индуктивной нагрузки (блок 324.4) следует установить в положение - «нет нагрузки».

Собранную схему нужно показать преподавателю и сообщить фамилию оператора стенда. Преподаватель включает питание стенда (или разрешает включить питание). Дальнейшие эксперименты выполняются оператором стенда самостоятельно.

Порядок включения стенда:

- 1) присоединить вилку к розетке;
- 2) включить SF2 (выключатель УЗО) блока 218.2;
- 3) включить SF1 (автоматический выключатель) блока 218.2;
- 4) выполнить контроль зажигания индикатора включения питания (светодиод красного цвета) блока 218.2;
- 5) проверить готовность мультиметров к работе и включить их нажатием кнопки on/off если кнопка находилась в положении on, то потребуется двукратное ее нажатие;
- 6) включить кнопку «Сеть» измерителя мощностей;
- 7) включить тумблер автоматического выключателя SF3, одновременно наблюдая за работой стенда.

ВНИМАНИЕ: При появлении аномальных (для электрического оборудования) явлений немедленно выключить SF1. Срабатывание автомата выключателей SF1, SF3 или SF2 (УЗО) указывает на неправильный монтаж или неисправность оборудования.

1.6.1 Снятие показаний приборов для построения графика

В процессе эксперимента предстоит получить показания ваттметра и варметра в зависимости от ступени нагрузки. Для каждой ступени в задании приводится одно положение переключателя активной (в процентах) и одно положение реактивной (в процентах) нагрузки. Каждому часу суток может соответствовать одна две или несколько ступеней.

Запись показаний ваттметра и варметра выполняется для каждой ступени после установки переключателей мощности нагрузки в положение, согласно варианту. Переключение мощности нагрузки выполняют без отключения питания стенда. Установив требуемую мощность нагрузки, записывают показания ваттметра и варметра в таблицу 3, раздел «Показания приборов».

Таблица 3 - Результаты измерений мощности нагрузки

Задаваемые значения							
$U_H, В$		Коэффициент трансформации $T1$		Коэффициент трансформации трансформатора тока измерителя мощностей			
Показания приборов				Расчетные данные			
Часы суток	$P, кВт$	$Q, квар$		$I_p, А$	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	$S, кВ\cdot А$
1							
...							
24							

Используемые для различных вариантов коэффициенты трансформации приведены в таблице 15.

1.6.2 Построение графика нагрузки

Построение графика нагрузок выполняется в следующем порядке (рекомендуется выполнять средствами MS Excel или MathCAD):

- 1) заполняется расчетная часть таблицы 3;
 - а) определяется суммарный расчетный ток I_p с учетом коэффициента трансформации трансформатора тока измерителя мощностей приведенного в таблице 15;
 - б) определяется величина $\cos\varphi$ и $\tg\varphi$;
 - в) определяется величина полной мощности $S, кВ\cdot А$;
- 2) строятся графики активной, реактивной и полной мощности в масштабе оси абсцисс - 1 час;
- 3) строится годовой график нагрузки по продолжительности.

1.6.3 Определение показателей графика

Для построенных графиков определяются следующие показатели (рекомендуется выполнять средствами MS Excel или MathCAD):

1) максимальные активную $P_{\text{макс}}$ кВт, реактивную $Q_{\text{макс}}$ квар, полную $S_{\text{макс}}$ кВт·А мощность;

2) минимальные активную $P_{\text{мин}}$ кВт, реактивную $Q_{\text{мин}}$ квар, полную $S_{\text{мин}}$ кВт·А мощность;

3) средние

а) активную P_c , кВт

$$P_c = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P \cdot t_n}{t}; \quad (4)$$

б) реактивную Q_c , квар

$$Q_c = \frac{Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + \dots + Q_n \cdot t_n}{t}; \quad (5)$$

в) полную S_c , кВт·А

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}; \quad (6)$$

мощность;

4) среднеквадратичные:

а) активную $P_{c.kв.}$, кВт

$$P_{c.kв.} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{ц}}} (P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n)}; \quad (7)$$

б) реактивную $Q_{c.kв.}$, квар

$$Q_{c.kв.} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{ц}}} (Q_1^2 \cdot t_1 + Q_2^2 \cdot t_2 + \dots + Q_n^2 \cdot t_n)}; \quad (8)$$

в) полную $S_{c.kв.}$, кВт·А

$$S_{c.kв.} = \sqrt{P_{c.kв.}^2 + Q_{c.kв.}^2}; \quad (9)$$

мощность;

5) коэффициент максимума по активной мощности, K_m

$$K_m = \frac{P_m}{P_c}; \quad (10)$$

6) коэффициент заполнения графика по активной мощности, $K_{з.г.а}$

$$K_{з.г.а} = \frac{P_c}{P_m} = \frac{1}{K_m}; \quad (11)$$

7) коэффициент формы графика:

а) активной $K_{ф.а}$.

$$K_{ф.а} = \frac{P_{с.кв}}{P_c}; \quad (12)$$

б) реактивной $K_{ф.р}$.

$$K_{ф.р} = \frac{Q_{с.кв}}{Q_c}; \quad (13)$$

в) полной $K_{ф}$

$$K_{ф} = \frac{S_{с.кв}}{S_c}; \quad (14)$$

8) число часов использования максимума активной нагрузки T_m , ч в год

$$T_m = \frac{365 \cdot (P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n)}{P_m}; \quad (15)$$

9) коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{макс}}$ при максимуме активной нагрузки за сутки;

10) коэффициент мощности средний $\cos\varphi_{\text{ср}}$ за сутки;

11) коэффициент мощности средневзвешенный $\cos\varphi_{\text{ср взв}}$;

12) определить суточное потребление электроэнергии:

а) активной W_a , кВт·ч

$$W_a = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n; \quad (16)$$

б) реактивной W_p , квар·ч

$$W_p = Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + \dots + Q_n \cdot t_n; \quad (17)$$

13) определить годовое потребление электроэнергии:

а) активной W_a , кВт·ч в год

$$W_{a.г} = 365 \cdot (P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n); \quad (18)$$

б) реактивной электроэнергии W_p , квар·ч в год

$$W_{a.г} = 365 \cdot (Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + \dots + Q_n \cdot t_n); \quad (19)$$

14) определить коэффициент сменности энергоиспользования α

$$\alpha = \frac{P_{с.г}}{P_c}, \quad (20)$$

где $P_{с.г}$ – среднегодовая активная нагрузка

$$P_{сг} = \frac{W_{a.г}}{8760}. \quad (21)$$

1.7 Контрольные вопросы

1) Что называется графиком электрической нагрузки?

2) Перечислите разновидности графиков электрических нагрузок.

3) Перечислите способы получения данных для построения графика электрических нагрузок.

4) Приведите алгоритм построения графиков электрической нагрузки различных видов.

5) Как используются графики электрических нагрузок?

6) Перечислите виды мощности, и обозначьте каждую на графике в порядке возрастания (или убывания).

7) Запишите формулы для определения различных видов мощности.

8) Перечислите коэффициенты, характеризующие графики электрических нагрузок.

9) Перечислите коэффициенты, характеризующие особенность потребления электроэнергии приемником.

10) Запишите формулы для определения коэффициентов, характеризующих графики электрических нагрузок.

11) Что называется коэффициентом мощности электроприемника?

12) Перечислите методы расчета электрических нагрузок.

13) Приведите модель системы электроснабжения с подразделением на уровни и охарактеризуйте особенности электропотребления на различных уровнях системы электроснабжения.

14) Поясните применимость методов расчета электрических нагрузок к различным уровням системы электроснабжения.

15) Охарактеризуйте понятие «число часов использования максимума электрической нагрузки» и приведите алгоритм определения его значения

2.5 Литература, рекомендуемая для изучения темы

1 Федоров, А. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов / А. А. Федоров, Э. М. Ристхейн . - М. : Энергия, 1980. - 360 с

2 Лабораторная работа №2. Учет электрической энергии в сетях промышленных предприятий

Цель лабораторной работы – изучение типовых способов измерения мощности и учета электрической энергии в сети промышленного предприятия.

Задачи

1 Изучить принцип действия и типовые схемы включения приборов электро-механического типа для измерения мощности и учета электрической энергии.

2 Изучить принцип действия и типовые схемы включения приборов статического типа для учета электрической энергии.

3 Изучить дополнительные условия и требования к организации учета электрической энергии в сетях промышленных предприятий

2.1 Краткие теоретические сведения

Счетчиком электрической энергии называют интегрирующий по времени прибор для измерения количества электрической энергии.

Электро-механическим счетчиком называется измерительный прибор, в котором токи, протекающие в неподвижных катушках, взаимодействуют с токами, индуцируемыми в подвижном элементе, что приводит последний в движение, при котором число оборотов пропорционально измеряемой энергии.

Статическим счетчиком называется измерительный прибор, в котором ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой энергии.

Историческая справка

В 1885 году Галилео Феррарис обнаружил, что два не совпадающих по фазе поля переменного тока могут заставить вращаться сплошной ротор, например как диск или цилиндр. В 1888 году независимо от него Никола Тесла тоже открыл вра-

шающееся электрическое поле. Эти открытия послужили основой для создания индукционных двигателей и открыли путь индукционным счетчикам.

В 1889 году Отто Титуц Блати, Венгрия, запатентовал «Электрический счетчик для переменных токов» (патент Германии № 52.793, патент США № 423.210). Как описывается в патенте, «Этот счетчик, по существу, состоит из металлического вращающегося тела, такого как диск или цилиндр, на который действуют два магнитных поля, сдвинутые по фазе друг относительно друга. Это смещение фаз является результатом того, что одно поле создается главным током, в то время как другое поле образуется за счет катушки с большой самоиндукцией, шунтирующей те точки цепи, между которыми измеряется потребляемая энергия. Однако магнитные поля не пересекаются в теле вращения, а проходят сквозь разные его части, независимо друг от друга».

Благодаря этому удалось достичь внутреннего смещения фаз почти ровно на 90° , и счетчик отображал ватт-часы более или менее корректно. В счетчике использовался тормозной электромагнит и циклометрический регистр. Первые счетчики крепились на деревянной основе, и весили 23 кг.

В 1894 году Оливер Блэкбурн Шелленбергер (1860-1898) разработал счетчик ватт-часов индукционного типа. В нем катушки тока и напряжения располагались на противоположных сторонах диска, и два постоянных магнита замедляли движение этого диска. Этот счетчик был большим, тяжелым и имел барабанный счетный механизм.

В последующие годы конструкция счетчика претерпела много изменений

2.2 Устройство однофазного электромеханического счетчика индукционного типа

Схематично, устройство однофазного индукционного счетчика показано на рисунке 11.

В зазоре между магнитопроводом 8 обмотки напряжения 7 и магнитопроводом 10 токовой обмотки 13 размещен подвижной алюминиевый диск 17, насаженный на ось 1, установленную в пружинящем подпятнике 15 и верхней опоре 5.

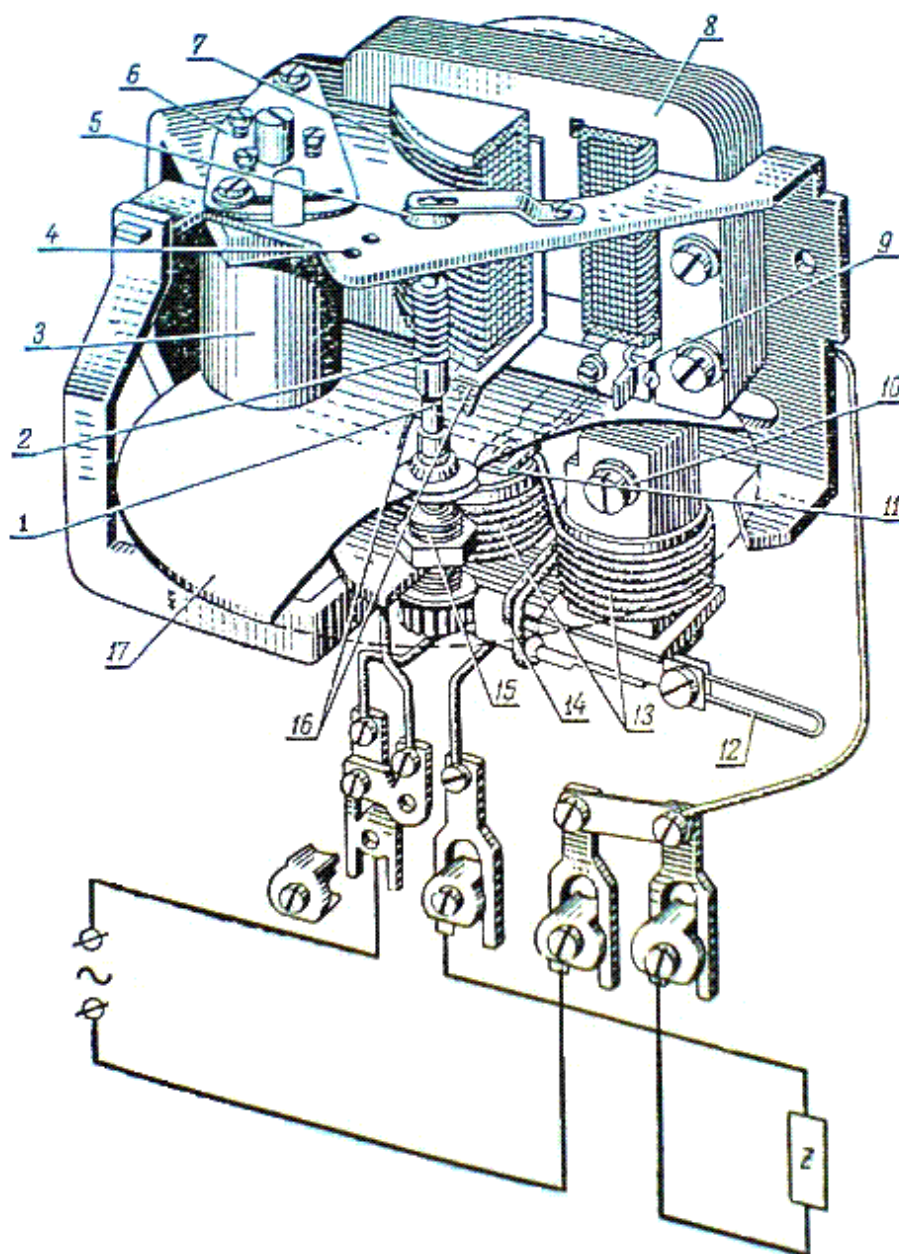


Рисунок 11 – Устройство однофазного индукционного счетчика

Через червяк 2, укрепленный на оси, и соответствующие зубчатые колеса вращение диска 17 передается к счетному механизму. Для прикрепления счетного механизма к счетчику имеется отверстие 4. Токовая обмотка 13, включаемая последовательно в исследуемую цепь, состоит из малого числа витков, намотанных толстым проводом (соответственно номинальному току счетчика). Обмотка напряжения 7, включаемая в цепь параллельно, состоит из большего числа (8000 - 12000) витков, намотанных тонким проводом - диаметром 0,08 - 0,12 мм.

Когда к многовитковой обмотке приложено переменное напряжение, а по токовой обмотке протекает ток нагрузки, в магнитопроводах 8 и 10 появляются переменные магнитные потоки, замыкающиеся через алюминиевый диск. Переменные магнитные потоки, пронизывая диск, наводят в нем вихревые токи. Эти токи, взаимодействуя с соответствующими потоками, образуют вращающий момент, действующий на подвижный алюминиевый диск.

При помощи постоянного магнита 3, в поле которого вращается диск счетчика, создается тормозной (противодействующий) момент. Установившаяся скорость вращения диска наступает при равенстве вращающего и тормозного моментов.

Число оборотов диска за определенное время будет пропорционально израсходованной энергии или установившаяся равномерная скорость вращения диска будет пропорциональна мощности при условии, что вращающий момент, действующий на диск, пропорционален мощности цепи, в которую включен счетчик.

Трение в механизме индукционного счетчика приводит к появлению погрешностей в показаниях. Особенно велико влияние сил трения при малых (5-10% номинальной) нагрузках индукционного счетчика, отрицательная погрешность достигает 12 - 15%.

Для уменьшения влияния сил трения в счетчиках применяют специальные устройства, называемые компенсаторами трения. На рисунке 11 это пластинка 11, перемещая которую, регулируют величину компенсационного момента. Величина этого момента пропорциональна напряжению. Поэтому, при повышении приложенного напряжения, компенсационный момент может оказаться больше момента трения и появляется так называемый самоход, для устранения которого предусмотрено противосамоходное устройство в виде стальных крючка и пластинки 16.

Измеренная активная энергия, кВт·ч, определяется произведением мощности на время

$$W = P \cdot t. \quad (22)$$

Электромагниты напряжения 2 и тока 1 создают переменные магнитные потоки с углом фазового сдвига между ними 90° направленные перпендикулярно к плоскости диска.

Магнитные потоки Φ_U и Φ_I пронизывая алюминиевый диск, индуцируют в нем вихревые токи I_1' и I_U' . Взаимодействие магнитных потоков Φ_U и Φ_I с полем вихревых токов создает момент вращения подвижной части, кгс·м

$$M_{вр} = k \cdot \Phi_U \Phi_I \cdot \sin(90 - \varphi); \quad (23)$$

где k – поправочный коэффициент, зависящий от конструкции счетчика;

Φ_U – магнитный поток, создаваемый обмоткой напряжения;

Φ_I – магнитный поток, создаваемый обмоткой тока.

Магнитный поток Φ_U пропорционален приложенному напряжению U магнитный поток, Φ_I пропорционален току нагрузки I . Тогда $M_{вр}$, в кгс·м определится по

$$M_{вр} = k \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (24)$$

2.3 Устройство статического счетчика

Электронный счетчик содержит датчики тока и напряжения, сигнал с которых поступает в аналогово-цифровой преобразователь и далее перемножается и суммируется микроконтроллером. Полученное значение отображается с помощью жидкокристаллического дисплея или сохраняется во встроенной памяти. Блок-схема электронного счетчика показана на рисунке 12.

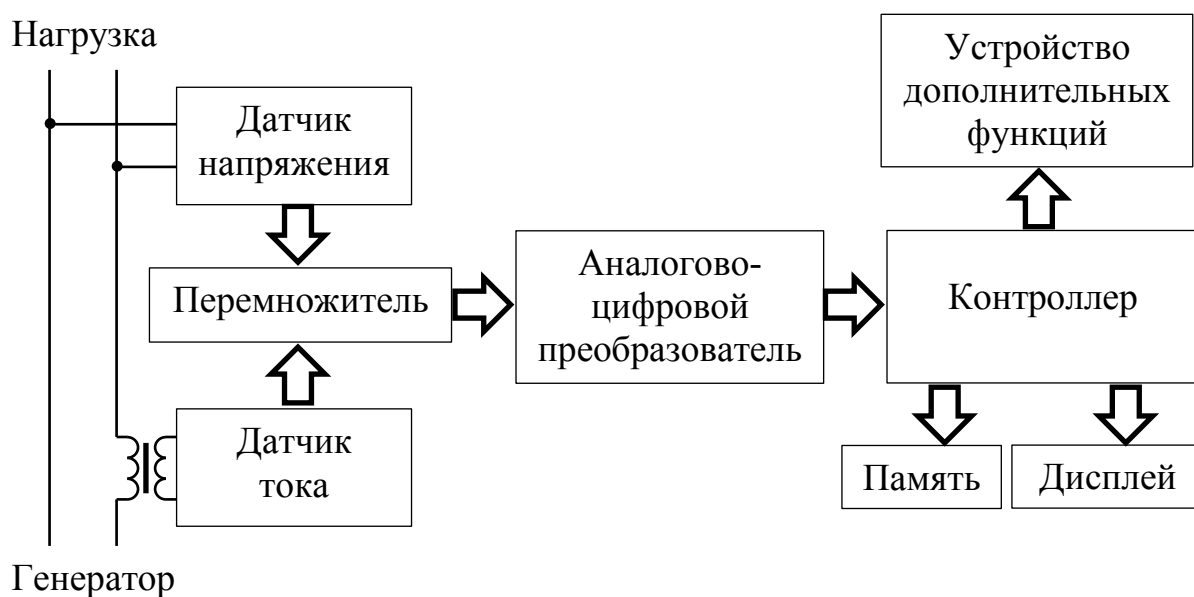


Рисунок 12 – Блок-схема электронного счетчика

Сигналы с датчиков поступают на вход перемножителя, который перемножает входные сигналы, получая мгновенную потребляемую мощность.

Этот сигнал преобразуется в дискретный вид и поступает на вход микроконтроллера, преобразующего его в Вт·ч и, по мере накопления сигналов, изменяющего показания счетчика. Показания счетчика записываются в энергонезависимую память EEPROM для сохранения показаний счетчика.

Алгоритм работы программы для простейшего варианта такого счетчика показан на рисунке 13.

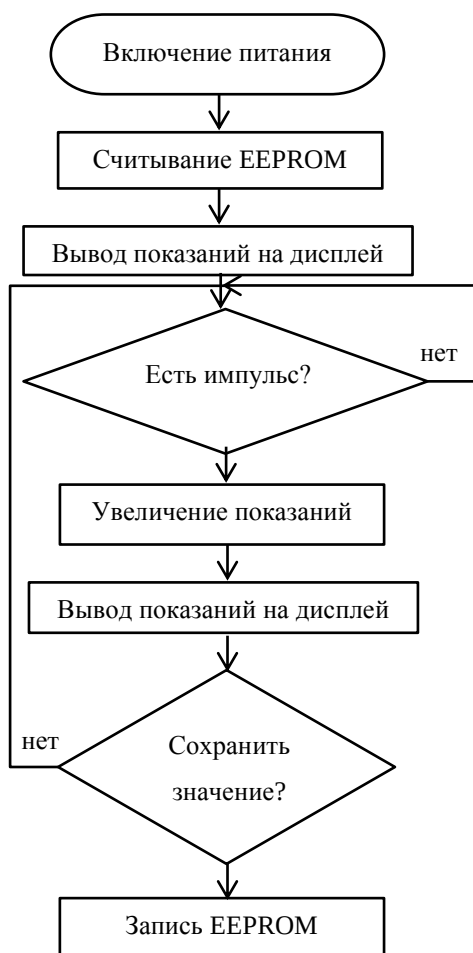


Рисунок 13 – Блок-схема алгоритма работы электронного счетчика

При включении питания микроконтроллер конфигурируется в соответствии с программой, считывает из EEPROM последнее сохраненное значение и выводит его на дисплей. Затем контроллер переходит в режим счета импульсов, поступающих от преобразователя, и, по мере накопления каждого Вт·ч, увеличивает показания счетчика.

Для предохранения от потери данных о накопленной энергии, значение записывается в EEPROM циклически друг за другом через определенное число изменений показаний счетчика.

2.4 Общие положения организации учета электроэнергии на промышленном предприятии

Расчетным учетом электроэнергии называется учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее.

Счетчики, устанавливаемые для расчетного учета, называются **расчетными** счетчиками.

Техническим (контрольным) **учетом** электроэнергии называется учет для контроля расхода электроэнергии внутри предприятий, и пр.

Счетчики, устанавливаемые для технического учета, называются счетчиками **технического** учета.

Учет активной электроэнергии должен обеспечивать:

- определение количества энергии отпущенной потребителям из электрической сети;
- определения поступления электроэнергии в электрические сети разных классов напряжений энергосистемы;
- составления балансов электроэнергии;
- контроля над соблюдением потребителями заданных им режимов потребления и баланса электроэнергии.

Учет реактивной электроэнергии должен обеспечивать возможность определения количества реактивной электроэнергии, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей, только в том случае, если по этим данным производятся расчеты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств.

2.5 Пункты установки средств учета электроэнергии

Счетчики для расчета электроснабжающей организации с потребителями электроэнергии рекомендуется устанавливать на границе раздела сети (по балансовой принадлежности) электроснабжающей организации и потребителя. Расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции энергосистемы должны устанавливаться для каждой отходящей линии электропередачи.

Для линий до 10 кВ во всех случаях должны быть выполнены цепи учета, сборки зажимов, а также предусмотрены места для установки счетчиков.

Расчетные счетчики допускается устанавливать не на питающем, а на приемном конце линии у потребителя в случаях, когда трансформаторы тока на электростанциях и подстанциях, выбранные по току КЗ или по характеристикам дифференциальной защиты шин, не обеспечивают требуемой точности учета электроэнергии.

Расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции, принадлежащей потребителю, должны устанавливаться:

- 1) на вводе (приемном конце) линии электропередачи в подстанцию потребителя при отсутствии электрической связи с другой подстанцией энергосистемы или другого потребителя на питающем напряжении;

- 2) на стороне высшего напряжения трансформаторов подстанции потребителя при наличии электрической связи с другой подстанцией энергосистемы или наличии другого потребителя на питающем напряжении;

- 3) на стороне среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов, если на стороне высшего напряжения применение измерительных трансформаторов не требуется для других целей;

- 4) на границе раздела основного потребителя и стороннего потребителя (субабонента), если от линии или трансформаторов потребителей питается еще посторонний потребитель, находящийся на самостоятельном балансе.

Для потребителей каждой тарификационной группы следует устанавливать отдельные расчетные счетчики.

Допускается установка счетчиков на стороне низшего напряжения трансформаторов в случаях, когда трансформаторы тока, выбранные по току КЗ или по характеристикам дифференциальной защиты шин, не обеспечивают требуемой точности учета электроэнергии, а также когда у имеющихся встроенных трансформаторов тока отсутствует обмотка класса точности 0,5.

Для предприятия, рассчитывающегося с электроснабжающей организацией по максимуму заявленной мощности, следует предусматривать установку счетчика с указателем максимума нагрузки при наличии одного пункта учета, при наличии двух или более пунктов учета - применение автоматизированной системы учета электроэнергии;

Счетчики реактивной электроэнергии должны устанавливаться:

1) на тех же элементах схемы, на которых установлены счетчики активной электроэнергии для потребителей, рассчитывающихся за электроэнергию с учетом разрешенной к использованию реактивной мощности;

2) на присоединениях источников реактивной мощности потребителей, если по ним производится расчет за электроэнергию, выданную в сеть энергосистемы, или осуществляется контроль заданного режима работы.

Если со стороны предприятия производится выдача реактивной электроэнергии в сеть энергосистемы, необходимо устанавливать два счетчика реактивной электроэнергии со стопорами в тех элементах схемы, где установлен расчетный счетчик активной электроэнергии. Во всех других случаях должен устанавливаться один счетчик реактивной электроэнергии со стопором.

Для предприятия, рассчитывающегося с энергоснабжающей организацией по максимуму разрешенной реактивной мощности, следует предусматривать установку счетчика с указателем максимума нагрузки, при наличии двух или более пунктов учета - применение автоматизированной системы учета электроэнергии.

2.6 Требования к расчетным счетчикам

Каждый установленный расчетный счетчик должен иметь на винтах, крепящих кожух счетчика, пломбы с клеймом госповерителя, а на зажимной крышке - пломбу энергоснабжающей организации.

На вновь устанавливаемых трехфазных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 месяцев, а на однофазных счетчиках - с давностью не более 2 лет.

Учет активной и реактивной электроэнергии трехфазного тока должен производиться с помощью трехфазных счетчиков.

Допустимые классы точности расчетных счетчиков активной электроэнергии для прочих объектов учета (сетей промышленных предприятий) - 2,0.

Класс точности счетчиков реактивной электроэнергии должен выбираться на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков активной электроэнергии.

2.7 Учет с применением измерительных трансформаторов

Класс точности трансформаторов тока и напряжения для присоединения расчетных счетчиков электроэнергии должен быть не более 0,5. Допускается использование трансформаторов напряжения класса точности 1,0 для включения расчетных счетчиков класса точности 2,0.

Для присоединения счетчиков технического учета допускается использование трансформаторов тока класса точности 1,0, а также встроенных трансформаторов тока класса точности ниже 1,0, если для получения класса точности 1,0 требуется установка дополнительных комплектов трансформаторов тока.

Трансформаторы напряжения, используемые для присоединения счетчиков технического учета, могут иметь класс точности ниже 1,0.

2.8 Установка счетчиков и электропроводка к ним

Счетчики должны размещаться в легкодоступных для обслуживания сухих помещениях, в достаточно свободном и не стесненном для работы месте с температурой в зимнее время не ниже 0 °С.

Счетчики общепромышленного исполнения не разрешается устанавливать в помещениях, где по производственным условиям температура может часто превышать +40 °С, а также в помещениях с агрессивными средами.

Допускается размещение счетчиков в неотапливаемых помещениях и коридорах распределительных устройств электростанций и подстанций, а также в шкафах наружной установки. При этом должно быть предусмотрено стационарное их утепление на зимнее время посредством утепляющих шкафов, колпаков с подогревом воздуха внутри них электрической лампой или нагревательным элементом для обеспечения внутри колпака положительной температуры, но не выше +20 °С.

Счетчики должны устанавливаться в шкафах, камерах комплектных распределительных устройств (КРУ, КРУН), на панелях, щитах, в нишах, на стенах, имеющих жесткую конструкцию. Допускается крепление счетчиков на деревянных, пластмассовых или металлических щитках.

Высота от пола до коробки зажимов счетчиков должна быть в пределах 0,8 - 1,7 м. Допускается высота менее 0,8 м, но не менее 0,4 м.

Для безопасной установки и замены счетчиков в сетях напряжением до 380 В должна предусматриваться возможность отключения счетчика установленными до него на расстоянии не более 10 м коммутационным аппаратом или предохранителями. Снятие напряжения должно предусматриваться со всех фаз, присоединяемых к счетчику.

Трансформаторы тока, используемые для присоединения счетчиков на напряжении до 380 В, должны устанавливаться после коммутационных аппаратов по направлению потока мощности.

2.9 Технический учет

На предприятиях следует предусматривать техническую возможность установки (в условиях эксплуатации) стационарных или применения инвентарных переносных счетчиков для контроля соблюдения лимитов расхода электроэнергии цехами, технологическими линиями, отдельными энергоемкими агрегатами, для определения расхода электроэнергии на единицу продукции или полуфабриката.

Допускается установка счетчиков технического учета на вводе предприятия, если расчетный учет с этим предприятием ведется по счетчикам, установленным на подстанциях или электростанциях энергосистем. На установку и снятие счетчиков технического учета на предприятиях разрешения энергоснабжающей организации не требуется. Приборы технического учета на предприятиях (счетчики и измерительные трансформаторы) должны находиться в ведении самих потребителей.

Классы точности счетчиков технического учета активной электроэнергии устанавливаемых на предприятии должны соответствовать значениям для прочих объектов учета 2,0. Классы точности счетчиков технического учета реактивной электроэнергии допускается выбирать на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков технического учета активной электроэнергии.

2.10 Схемы соединения приборов

Схемы соединения измерительных приборов внутри блоков стенда показаны на рисунках 14 – 18. На рисунке 14 приведена схема соединения однофазного ваттметра и варметра.

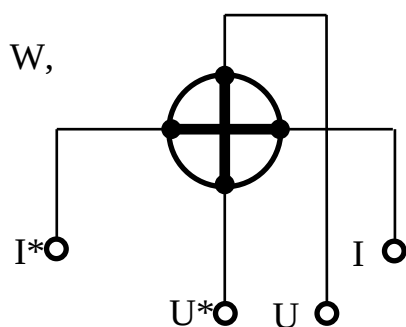


Рисунок 14 - Схема соединения однофазного ваттметра и варметра

Выводы, обозначенные буквами U, соединены с обмоткой напряжения, выводы I соединены с токовой обмоткой. Вывод обозначенный звездочкой является началом обмотки.

Схема включения трехфазного ваттметра и варметра показана на рисунке 15.

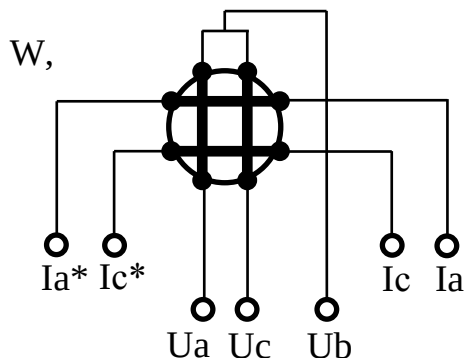


Рисунок 15 - Схема соединения трехфазного ваттметра и варметра

Схема соединения однофазного счетчика показана на рисунке 16.

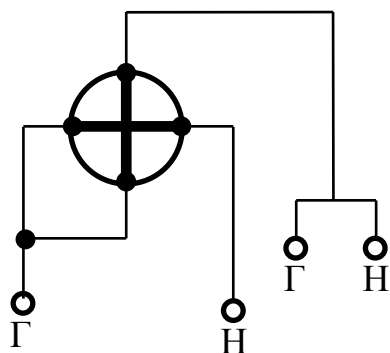


Рисунок 16 - Схема соединения однофазного счетчика активной энергии

Здесь показана только электрическая часть измерительного прибора похожая на электрическую часть однофазного ваттметра (подробно об устройстве однофазного индукционного счетчика и принципе его работы изложено в [6]).

Схема соединения трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии показана на рисунке 17

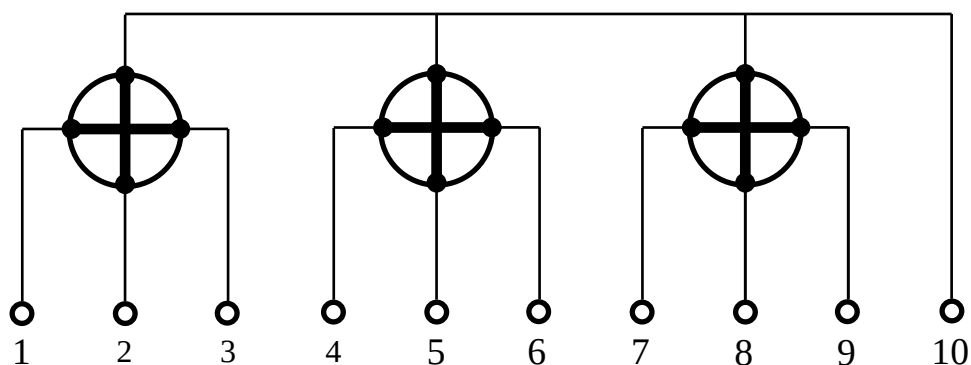


Рисунок 17 - Схема соединения трехфазного счетчика активной энергии

Схема соединения трехфазного трехэлементного счетчика реактивной энергии со сдвигом магнитных потоков 90° показана на рисунке 18.

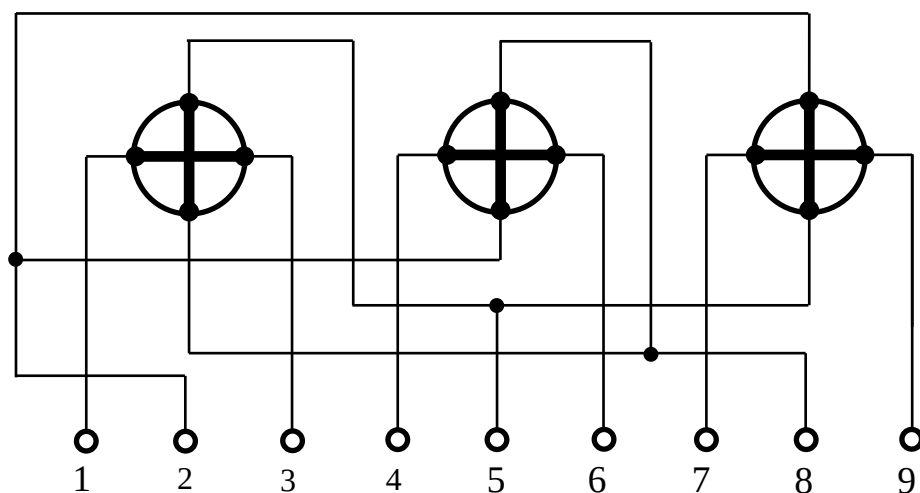


Рисунок 18 - Схема соединения трехфазного счетчика реактивной энергии

2.11 Типовые схемы включения счетчиков

Схемы включения счетчиков выбираются в зависимости от условий симметрии трехфазной системы, условий нагрузки согласно [5] на:

- 1) симметричные, в которых все фазные и линейные напряжения, токи и углы сдвига между фазными напряжениями и токами равны между собой;
- 2) с простой асимметрией, в которой напряжения симметричны, а фазные токи неодинаковы;

3) с полной асимметрией, в которой напряжения несимметричны и токи в фазах различны.

Учет активной энергии одним однофазным счетчиком может быть выполнен согласно схеме, показанной на рисунке 19.

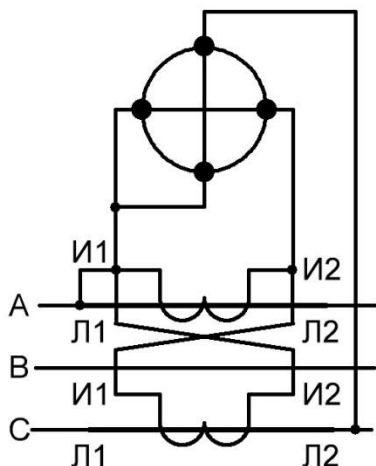


Рисунок 19 - Схема включения однофазного счетчика активной энергии в трехпроводной сети

В приведенной схеме токовая обмотка счетчика включается на разность токов двух фаз, обмотка напряжения – на линейное напряжение тех же фаз.

$M_{вр}$, в кгс·м определится

$$M_{вр} = k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (25)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение.

Учет активной энергии одним однофазным счетчиком для симметричной четырехпроводной системы может быть выполнен согласно схеме, показанной на рисунке 20.

$M_{вр}$, в кгс·м определится

$$M_{вр} = k \cdot U_{ф} \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (26)$$

где $U_{ф}$ – фазное напряжение.

Потребление активной электроэнергии при такой схеме включения счетчика определится как утроенное значение показания счетчика.

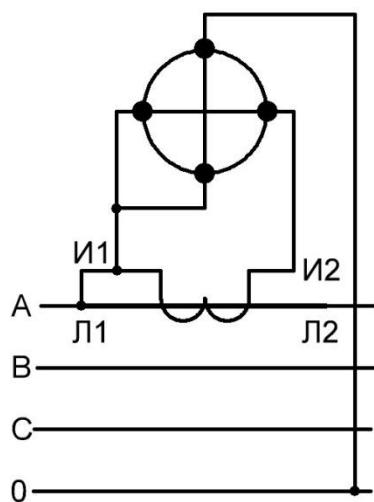


Рисунок 20 - Схема включения однофазного счетчика активной энергии в четырехпроводной симметричной сети

Учет активной электроэнергии в трехфазной трехпроводной системе с простой асимметрией выполнен двумя однофазными счетчиками активной энергии, как показано на рисунке 21

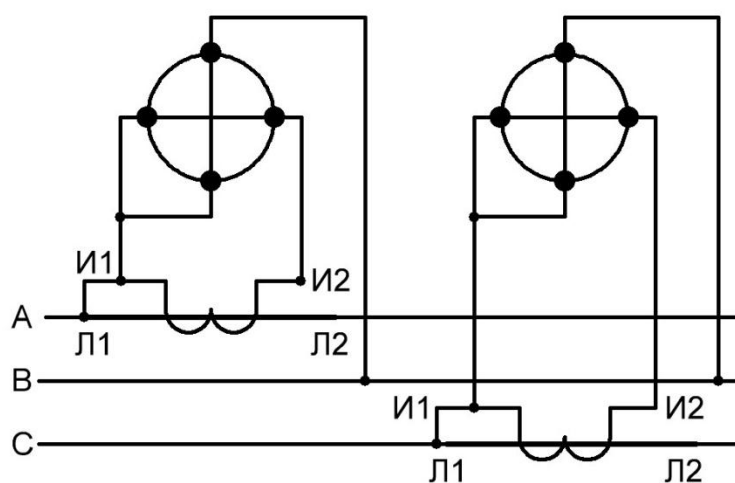


Рисунок 21 - Схема включения двух однофазных счетчиков активной энергии в трехпроводной сети с простой асимметрией

Сумма показаний счетчиков пропорциональна мощности трех фаз. При величине $\cos\varphi$ меньше 0,5 показания левого (на схеме) счетчика убывают, а правого - возрастают. Фактическое потребление электроэнергии трехфазной системой равно разности показаний счетчиков на интервале времени.

Схема включения трехфазного двухэлементного счетчика показана на рисунке 22, также используется для учета электроэнергии в трехпроводной сети с простой асимметрией.

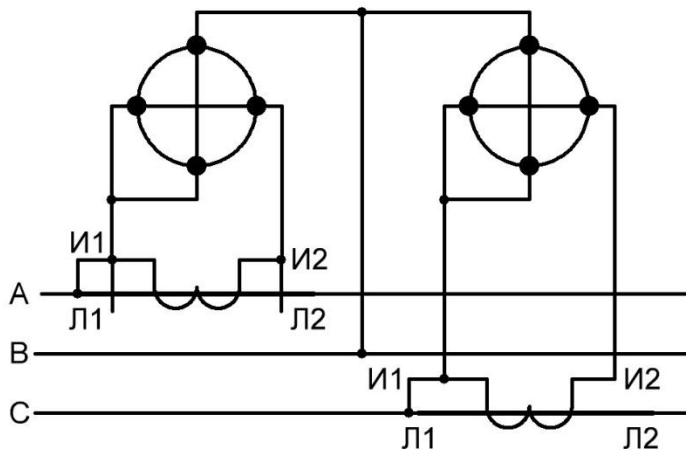


Рисунок 22 - Схема включения трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии в трехпроводной сети с простой асимметрией

При наличии в сети неравномерной нагрузки, создающей сложную несимметрию, следует применять трехэлементный счетчик, схема включения для четырехпроводной системы показана на рисунке 23.

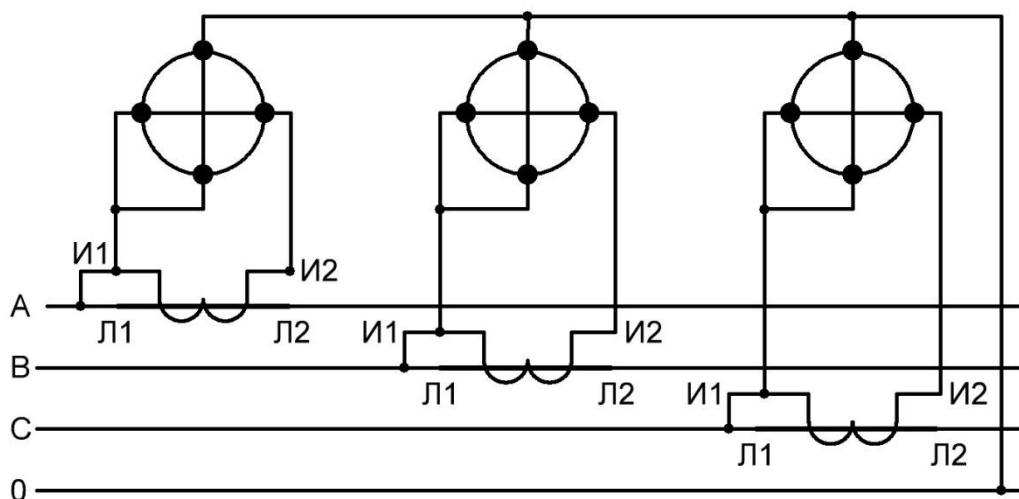


Рисунок 23 - Схема включения трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии в трехпроводной сети с несимметричной нагрузкой

Допускается применение трех однофазных счетчиков в четырехпроводной системе как показано на рисунке 24.

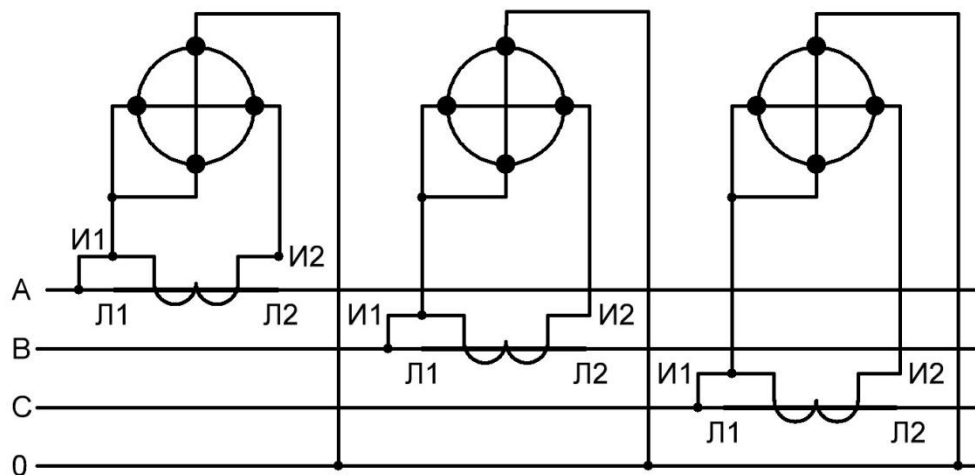


Рисунок 24 - Схема включения трех однофазных счетчиков активной энергии в трехпроводной сети с несимметричной нагрузкой

Показания трех однофазных счетчиков складываются.

Для измерения реактивной электроэнергии в трехфазной системе применяются схемы с одним, двумя или тремя однофазными счетчиками. Схема включения однофазного счетчика для измерения реактивной электроэнергии в симметричной системе показана на рисунке 25.

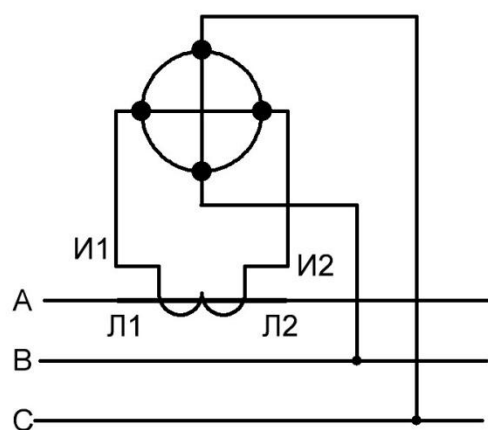


Рисунок 25 - Схема включения однофазного счетчика активной энергии в трехпроводной сети для измерения реактивной энергии

M_{BR} , в кгс·м определится

$$M_{\text{вр}} = k \cdot U_{\text{BC}} \cdot I_A \cdot \cos(90 - \varphi). \quad (27)$$

Потребленная реактивная электроэнергия определяется увеличением показаний счетчика в $\sqrt{3}$ раз.

Схема с использованием трех однофазных счетчиков трехфазной трехпроводной и четырехпроводной системы для сети с простой асимметрией приведена на рисунке 26

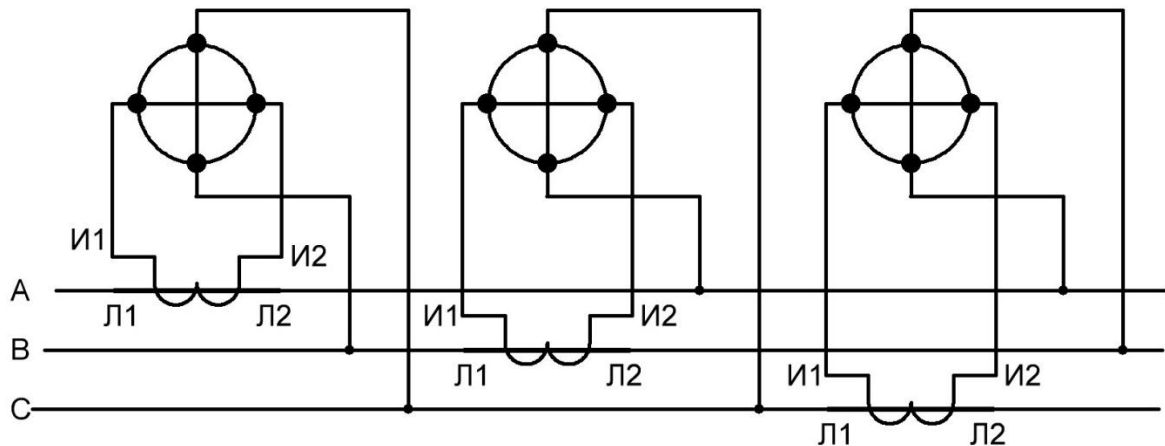


Рисунок 26 – Схема включения трех однофазных счетчиков в трехфазную трехпроводную сеть с простой асимметрией

Сумма показаний трех счетчиков будет пропорциональна сумме мощностей.

$$Q = \frac{(Q_A + Q_B + Q_C)}{\sqrt{3}}. \quad (28)$$

Схема включения трехфазного двухэлементного счетчика реактивной энергии со сдвигом фаз магнитных потоков на 90° показана на рисунке 27.

На счетном механизме отображается непосредственно потребление реактивной электроэнергии с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока.

Схема включения двухэлементного счетчика в трехфазную трехпроводную систему с простой асимметрией с 60° сдвигом фаз магнитных потоков, показана на рисунке 28.

Для обеспечения 60° сдвига между потоками Φ_U и Φ_I , последовательно с обмоткой напряжения включен добавочный резистор R_d .

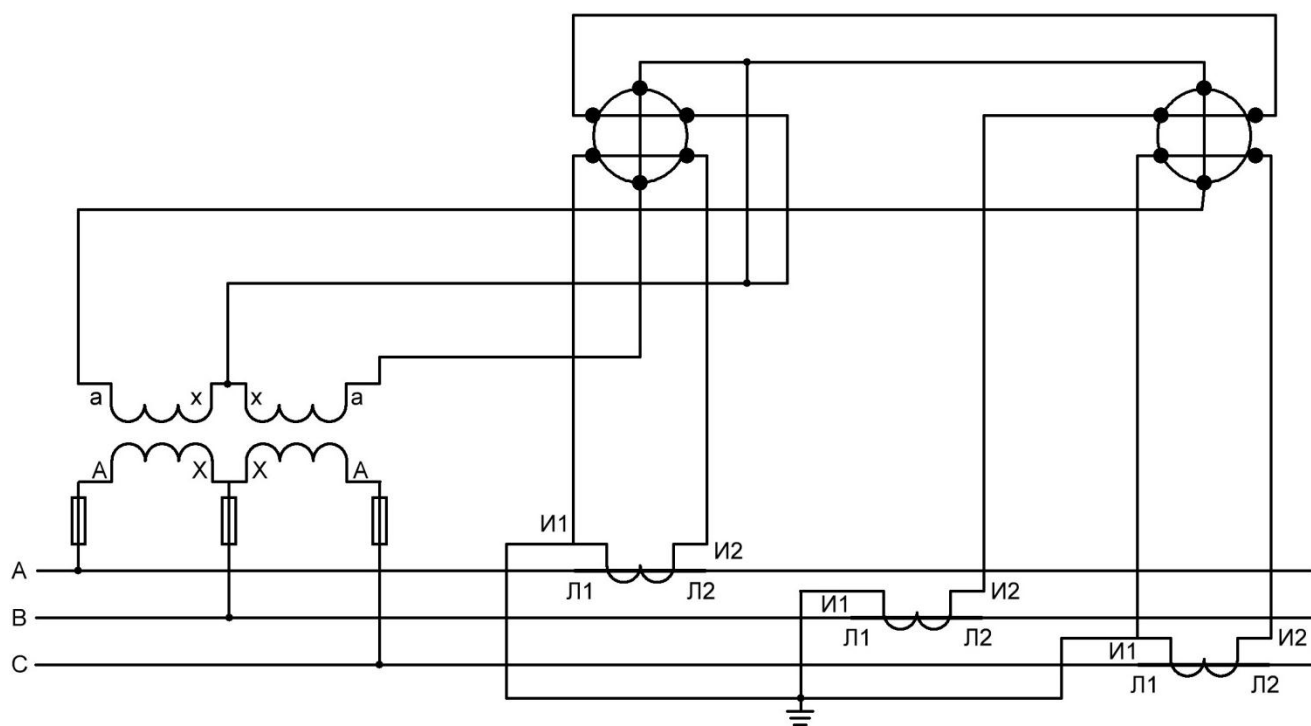


Рисунок 27 – Схема включения трехфазного двухэлементного счетчика в трехфазную трехпроводную сеть с простой асимметрией

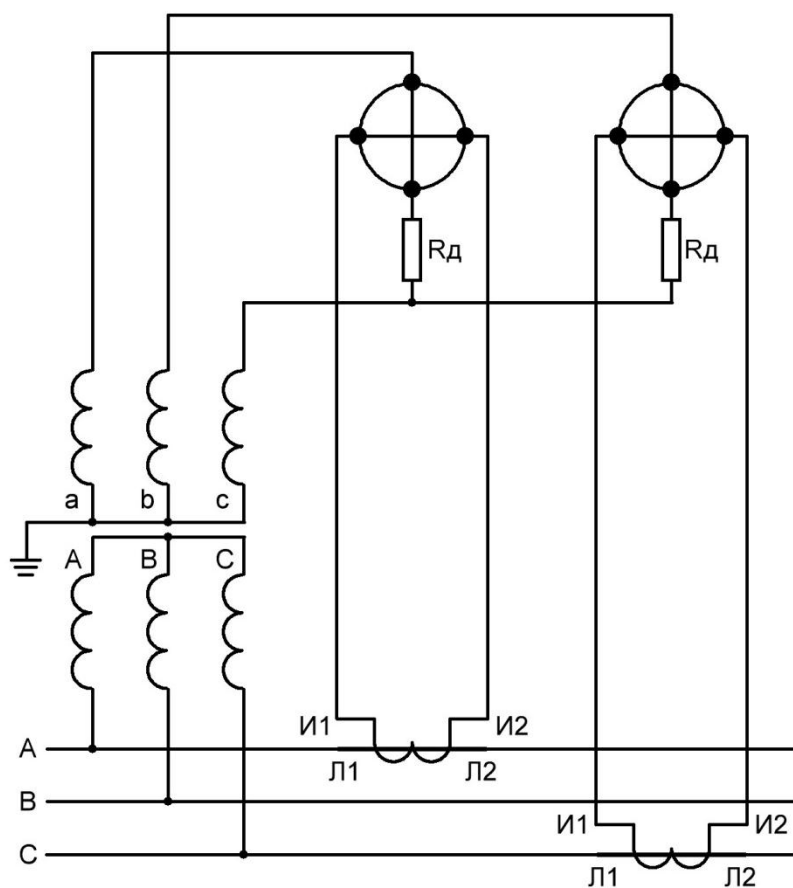


Рисунок 28 – Схема включения трехфазного двухэлементного счетчика с 60° сдвигом в трехфазную трехпроводную сеть с простой асимметрией

2.12 Описание лабораторной установки ИЭМЭ.003

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования ИЭМЭ.003 (настольное исполнение, ручная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 4.

Таблица 4 - Состав оборудования стенда

Номер блока	Название аппаратуры
201.2	Источник питания
324.2	Реактивная нагрузка
340	Активная нагрузка
347.1	Трехфазная трансформаторная группа
403.1	Трансформатор тока
405	Трансформатор напряжения
514	Трехфазный электронный счетчик активной электроэнергии
515	Трехфазный электронный счетчик реактивной электроэнергии
516	Трехфазный трехэлементный счетчик активной энергии
517	Однофазный счетчик активной электроэнергии
519	Трехфазный трехэлементный счетчик реактивной энергии
521	Однофазный ваттметр
522	Трехфазный ваттметр
523	Трехфазный варметр

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 29.

Для выполнения электрических соединений прилагается комплект проводников различной длины красного, черного и желтого с зеленой полоской цветов и U-образных перемычек. Проводники красного и черного цвета и перемычки предназначены для выполнения основных соединений элементов схемы, желтые с зеленой полоской для устройства защитного заземления модулей стенда служащего защитой оператора от поражения электрическим током. Наконечники проводников и перемычек выполнены с безопасными разъемами.

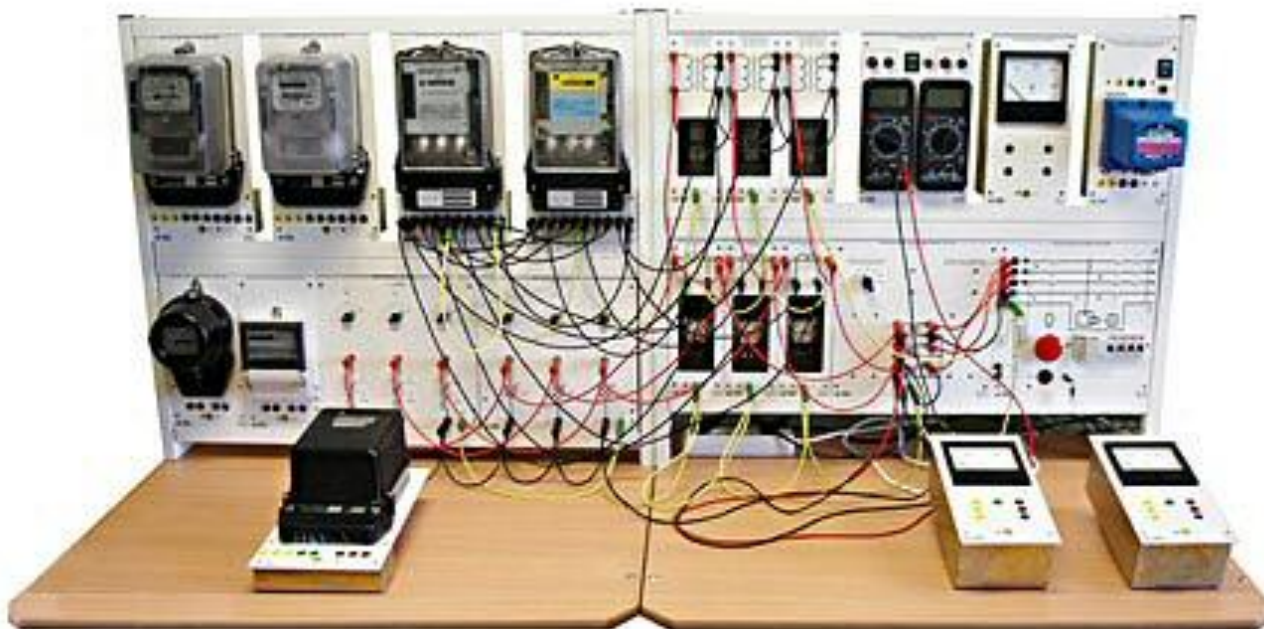


Рисунок 29 - Лабораторная установка ИЭМЭ.003

При выполнении лабораторной работы студент, являющийся оператором стенда, соединяет согласно схеме аппаратные модули. Для этого наконечники проводников соответствующей длины или перемычки вставляются с небольшим усилием в гнезда. При этом стенд следует придерживать за раму.

Перед выполнением любых коммутаций следует убедиться, что трехфазный источник питания выключен.

Включение трехфазного источника питания выполняется при нажатии кнопки «Вкл». Выключение – нажатием кнопки «Красный гриб».

ВНИМАНИЕ Включение стенда может выполнять только оператор стенда, убедившись, что никто из членов бригады не прикасается к проводникам и блокам стенда. Отключить стенд разрешается любому студенту в случае необходимости.

ВНИМАНИЕ: При появлении аномальных (для электрического оборудования) явлений немедленно выключить SF1. Срабатывание автомата выключателей SF1, SF3 или SF2 (УЗО) указывает на неправильный монтаж или неисправность оборудования.

2.13 Измерение активной мощности в однофазной сети

Схема соединения блоков стенда при включении однофазного ваттметра непосредственно в сеть приведена на рисунке 30.

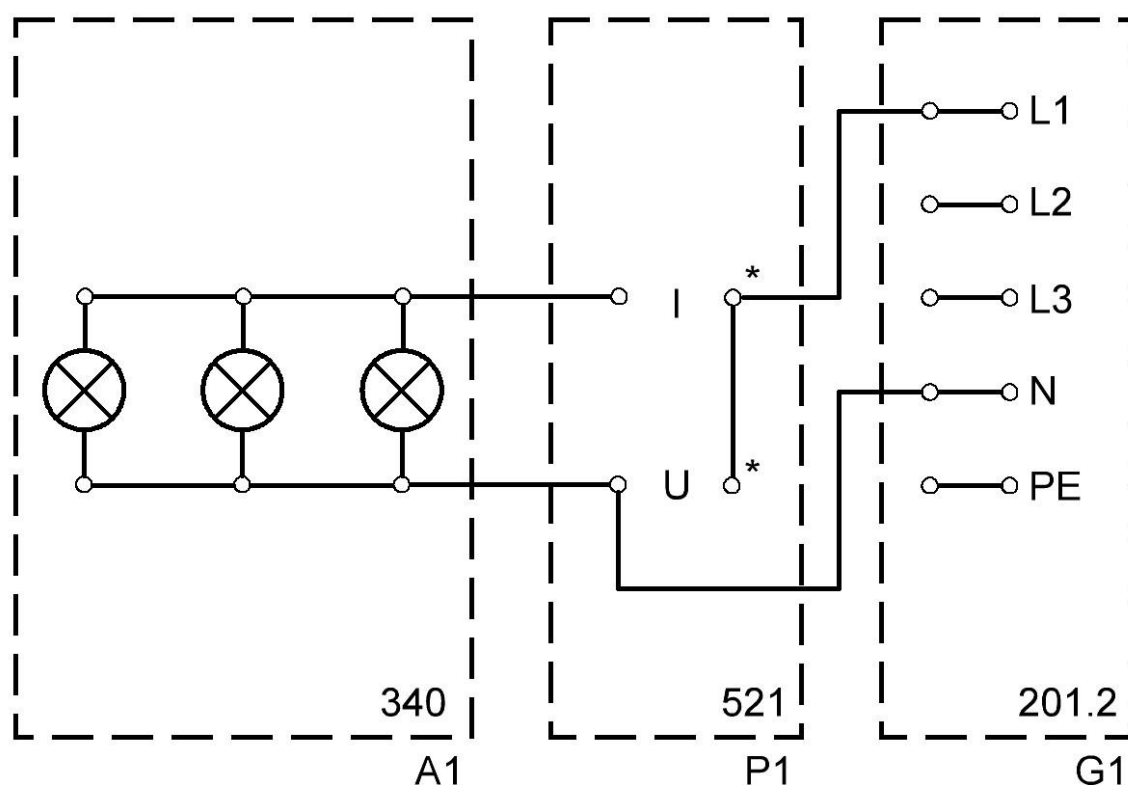


Рисунок 30 – Схема соединения блоков стенда при включении однофазного ваттметра непосредственно в сеть

Включение однофазного ваттметра выполняется непосредственно в сеть, что характерно для измерения активной мощности в цепи нагрузок потребляющих небольшую мощность.

При измерении активной мощности потребляемой нагрузкой со значительной мощностью (в цепи протекает ток больше 5А) используется схема включения с использованием трансформатора тока. Схема включения однофазного ваттметра через трансформатор тока приведена на рисунке 31.

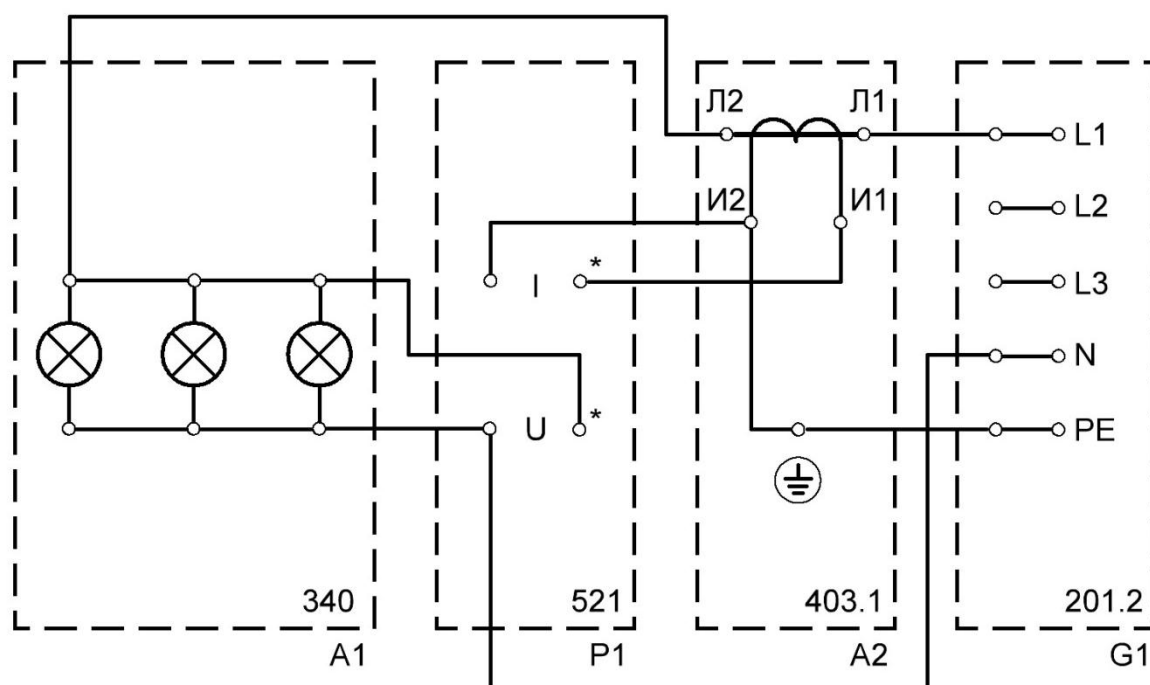


Рисунок 31 – Схема соединения блоков стенда при включении ваттметра через трансформатор тока

Измерение активной мощности в цепи нагрузки со значительной мощностью получающей питание на напряжении больше 220 В предусматривает применение схемы включения ваттметра через трансформаторы тока и напряжения, приведенной на рисунке 32.

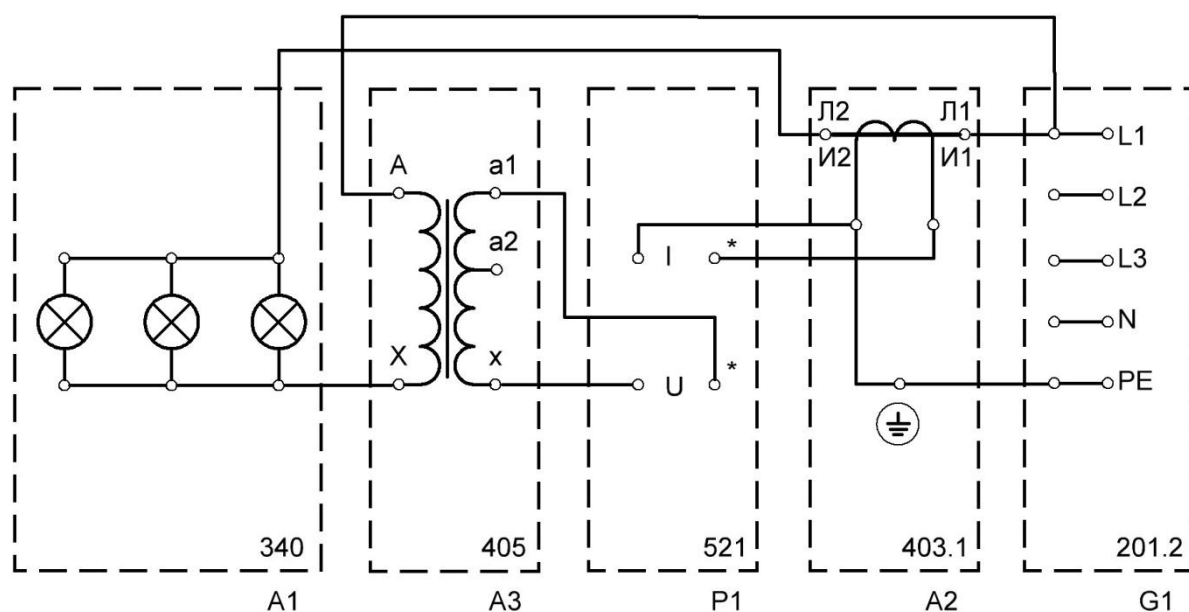


Рисунок 32 – Схема соединения блоков стенда при включении ваттметра через трансформаторы тока и напряжения

2.14 Измерение активной мощности в трехфазной сети

Измерение активной мощности в трехфазной трехпроводной сети выполняется при помощи трехфазного ваттметра, включаемого непосредственно в сеть согласно схеме, показанной на рисунке 33.

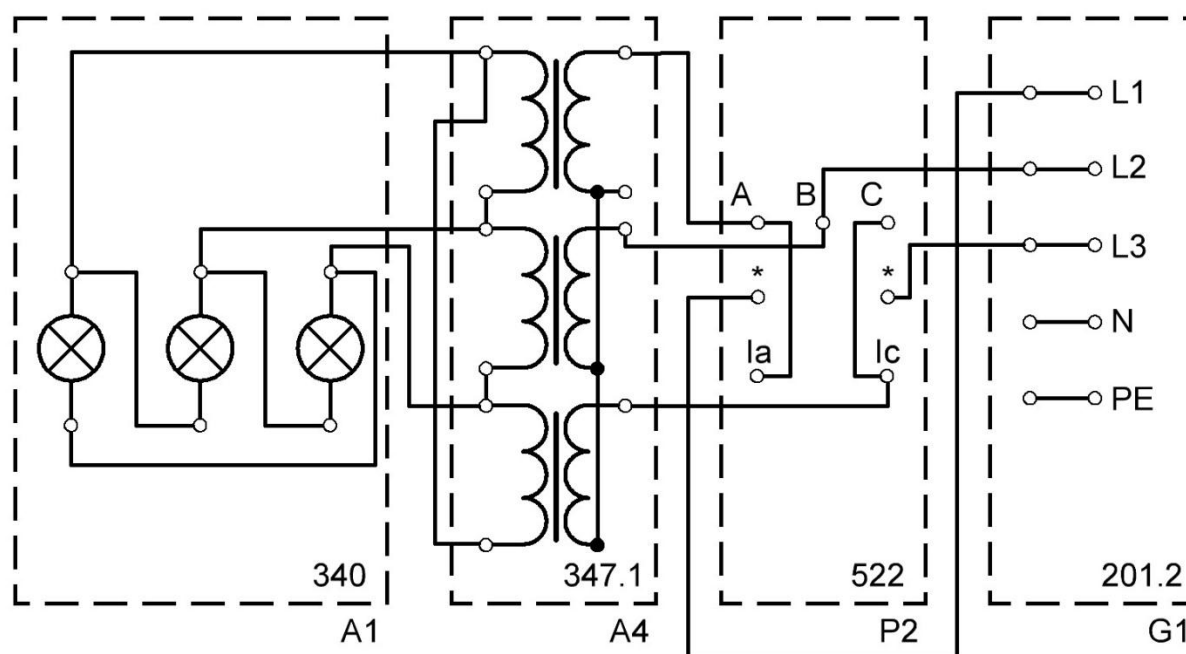


Рисунок 33 – Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного ваттметра в непосредственно в трехпроводную сеть

Нагрузка включена через трехфазную трансформаторную группу, первичная обмотка которой соединена в звезду, а вторичная в треугольник. Включение ваттметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока выполняется согласно схеме, показанной на рисунке 34.

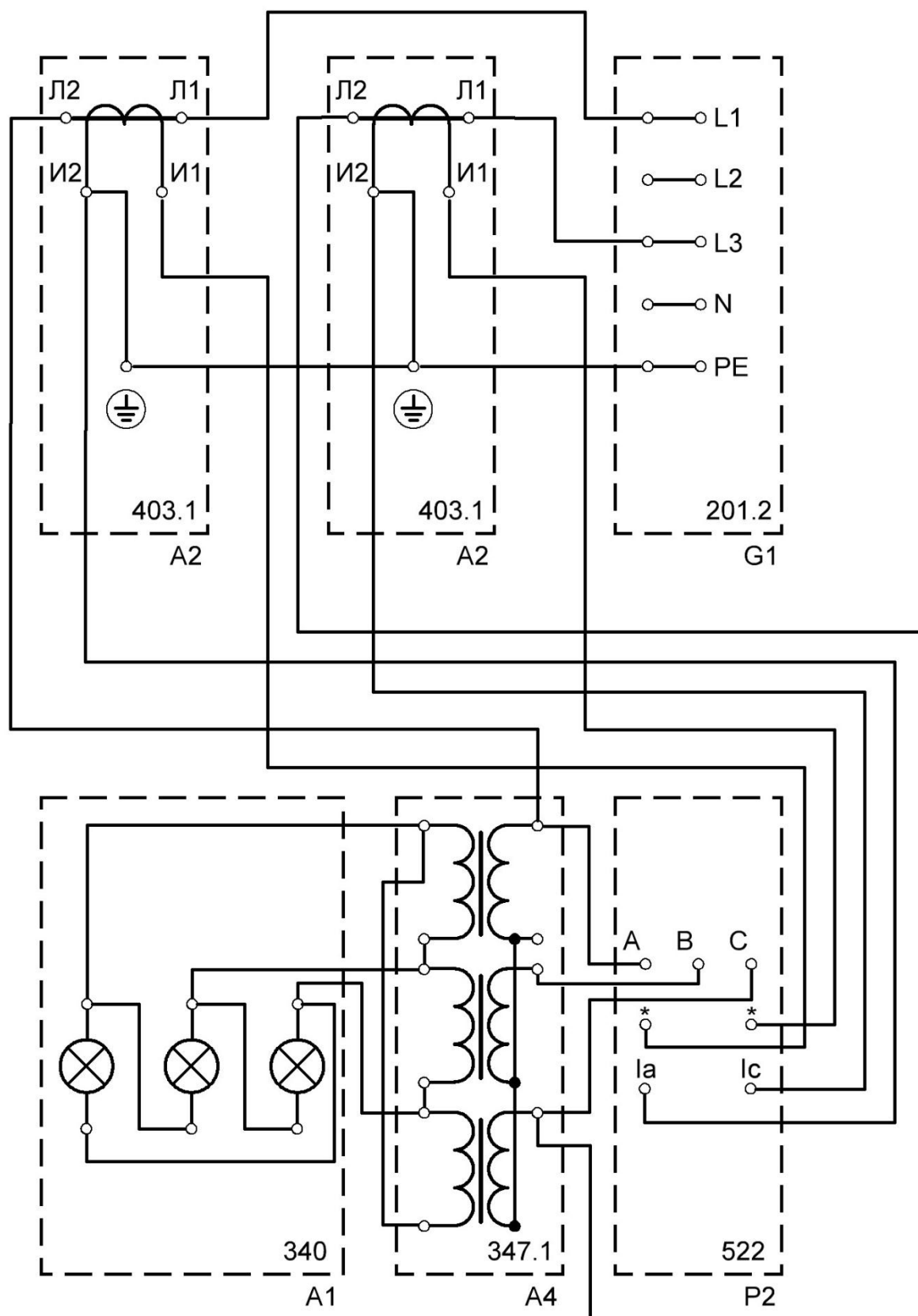


Рисунок 34 – Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного ваттметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока

Схема включения трехфазного ваттметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока и напряжения показана на рисунке 35.

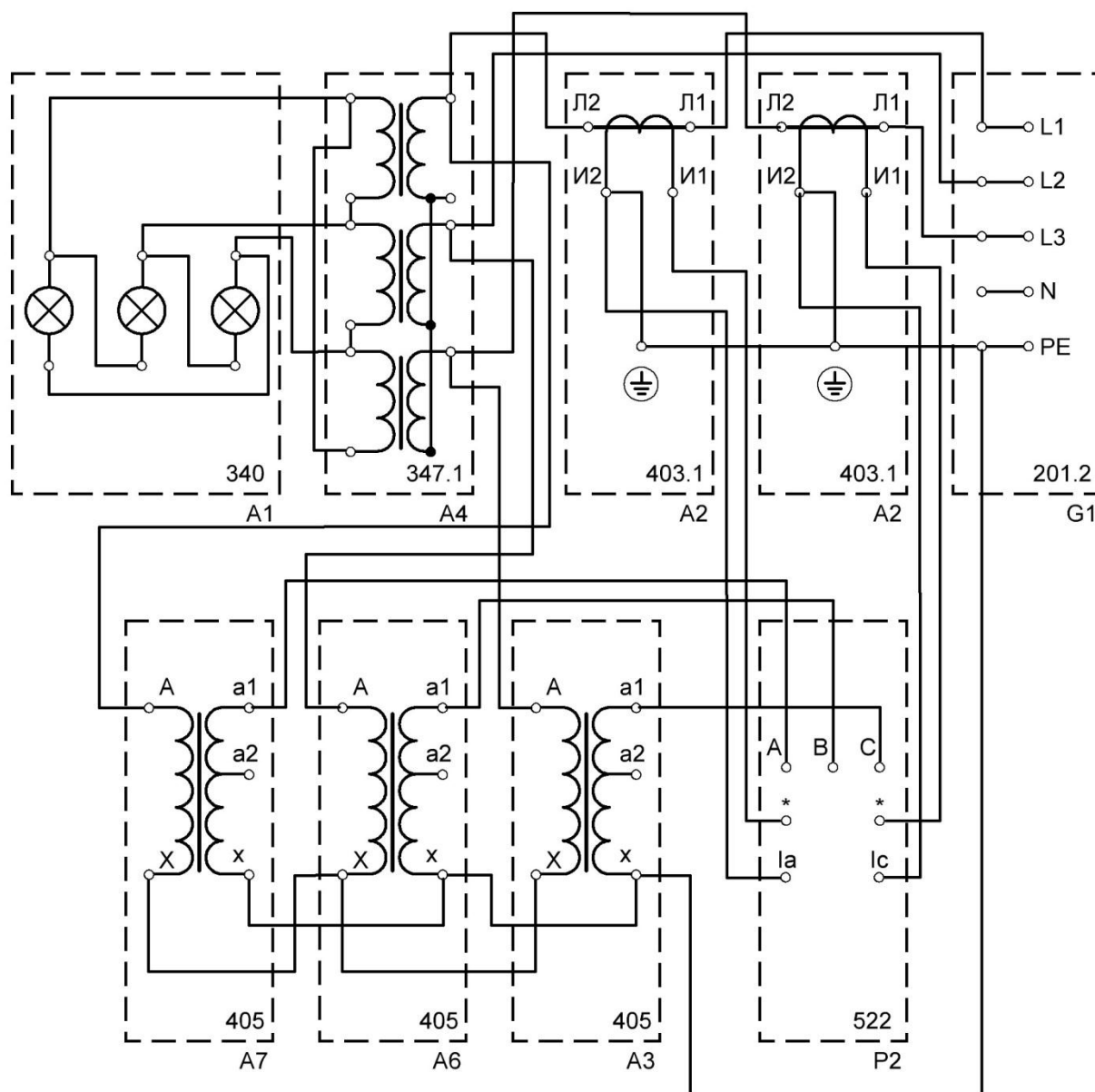


Рисунок 35 - Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного ваттметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока и напряжения

2.15 Измерение реактивной мощности в трехфазной сети

Измерение реактивной мощности выполняется с помощью трехфазного варметра, включаемого непосредственно в сеть согласно схеме, показанной на рисунке 36. Реактивная нагрузка включена через трехфазную трансформаторную группу, первичная обмотка которой соединена в звезду, а вторичная в треугольник.

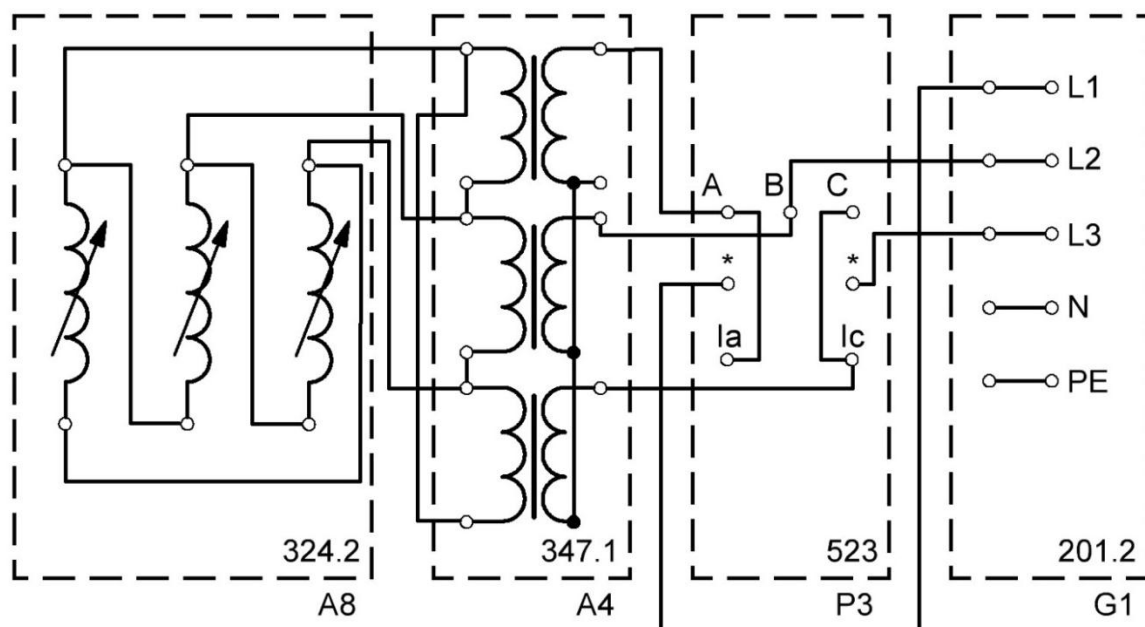


Рисунок 36 – Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного варметра в непосредственно в трехпроводную сеть

Включение варметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока выполняется согласно схеме, показанной на рисунке 37.

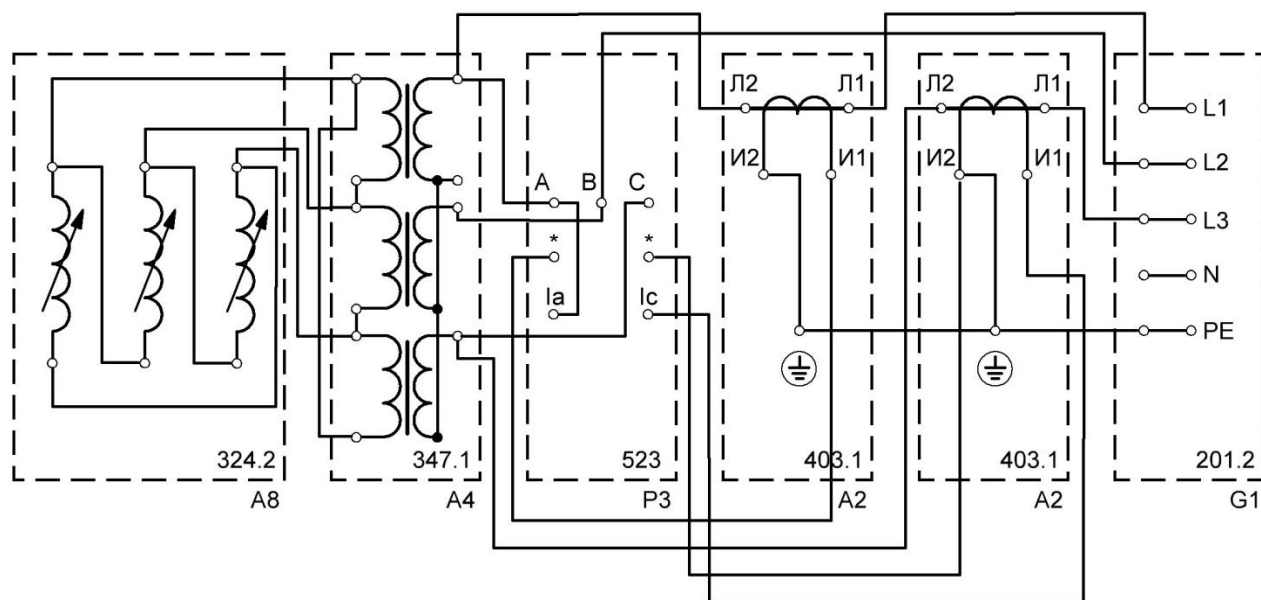


Рисунок 37 – Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного варметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока

Схема включения трехфазного варметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока и напряжения показана на рисунке 38.

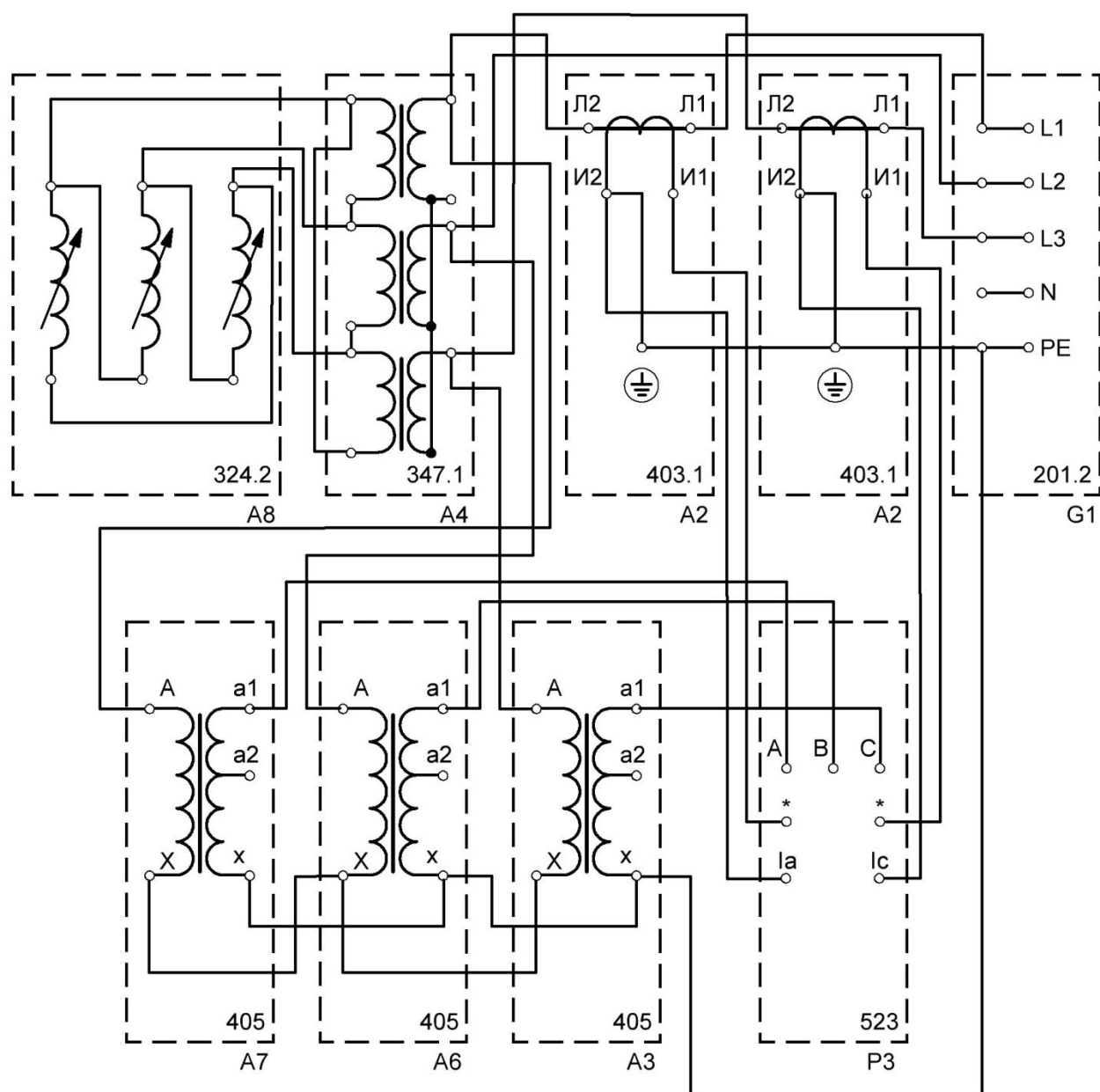


Рисунок 38 - Схема соединения блоков стенда при включении трехфазного варметра в трехпроводную сеть через трансформаторы тока и напряжения

2.16 Измерение электроэнергии индукционным счетчиком

2.16.1 В однофазной сети

Измерение активной электроэнергии, потребленной в однофазной сети может быть измерено при помощи одного индукционного счетчика. Схема включения счетчика показана на рисунке 39.

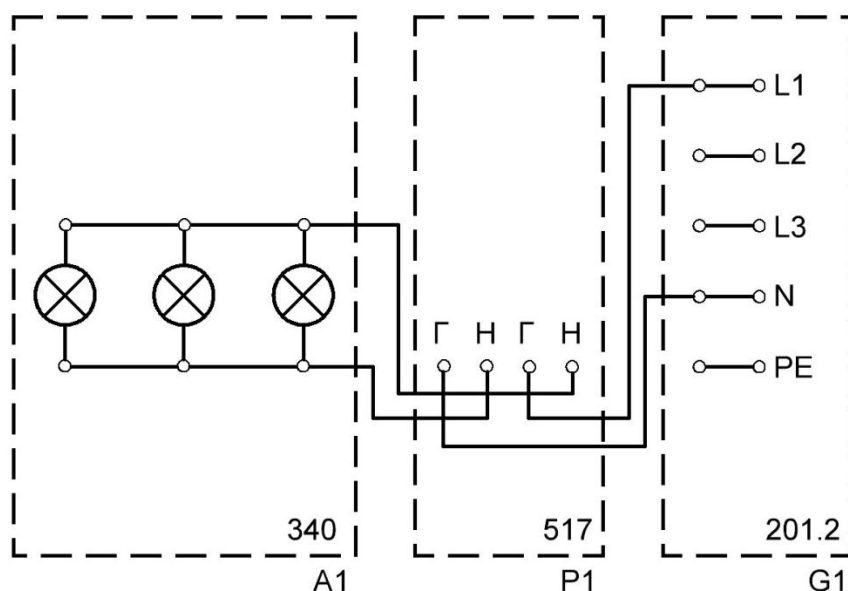


Рисунок 39 – Схема соединения блоков стенда при включении однофазного счетчика в двухпроводную сеть

2.16.2 В трехфазной сети

Измерение активной электроэнергии в трехфазной сети выполняется трехфазным трехэлементным счетчиком активной энергии. Схема непосредственного включения показана на рисунке 40.

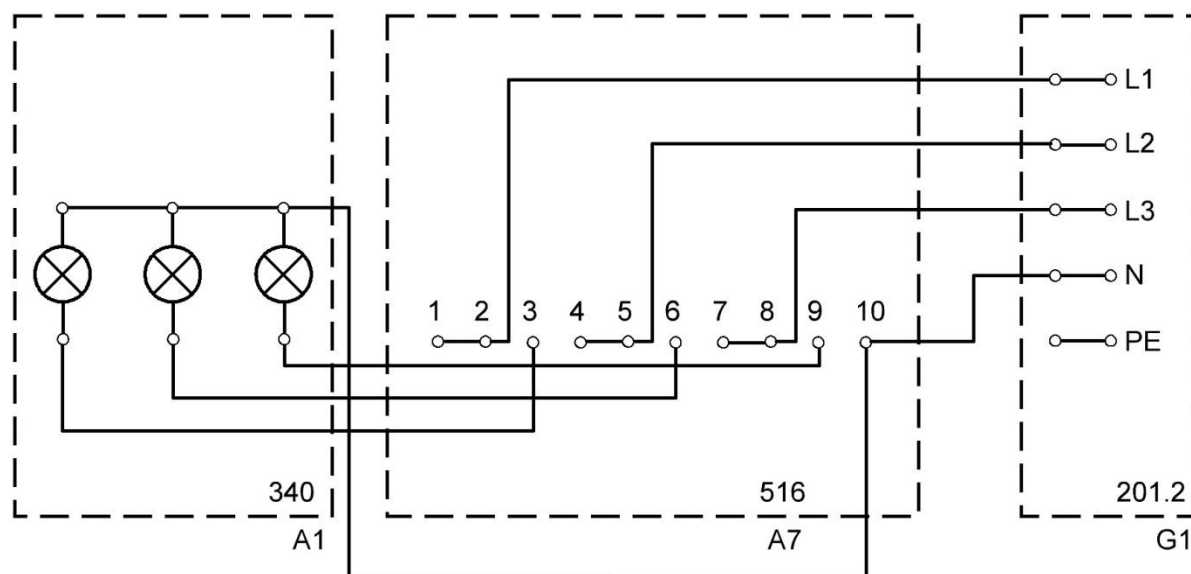


Рисунок 40 - Схема соединения блоков стенда при непосредственном включении трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии в четырехпроводную сеть

Схема включения трехэлементного индукционного счетчика реактивной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть показана на рисунке 41.

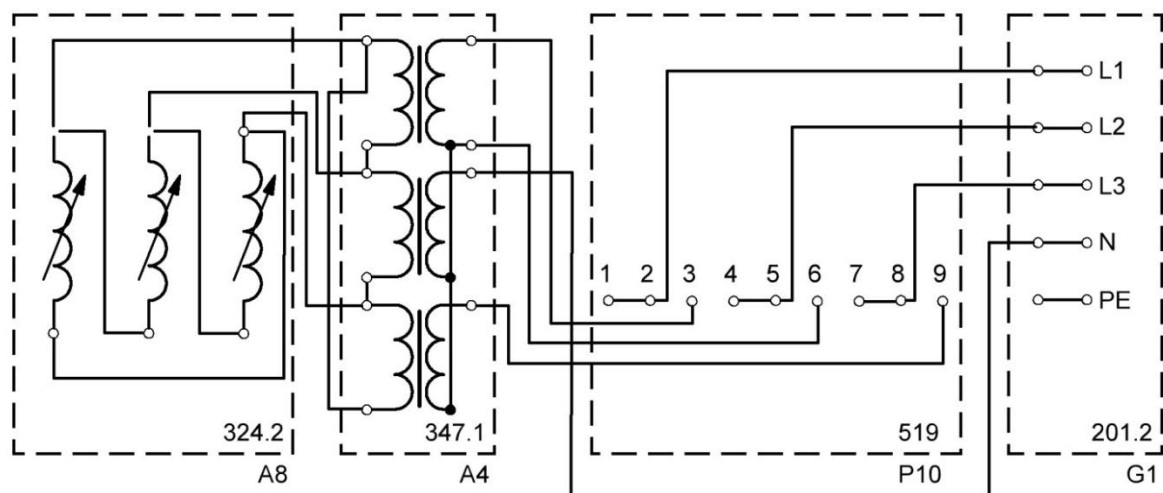


Рисунок 41 – Схема соединения блоков стенда при включении трехэлементного индукционного счетчика реактивной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть

2.17 Измерение электроэнергии электронным счетчиком

2.17.1 В однофазной сети счетчиком активной электроэнергии

Схема включения электронного счетчика активной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть показана на рисунке 42

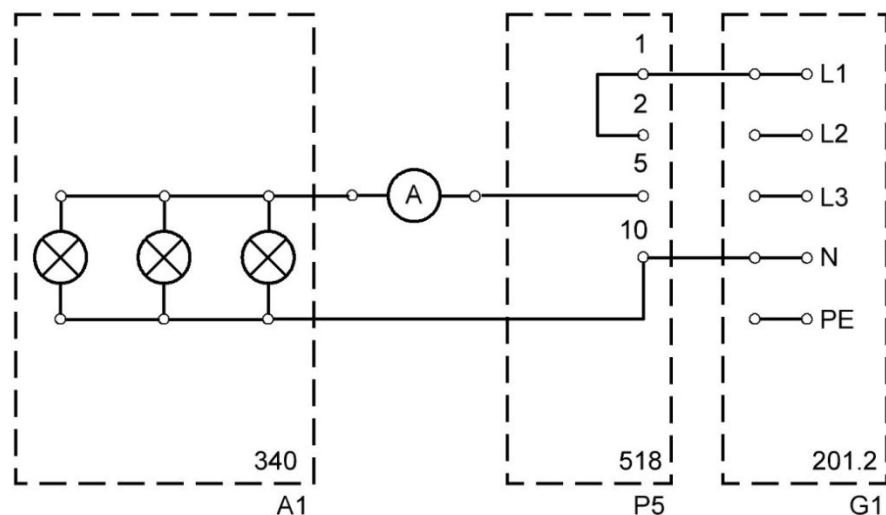


Рисунок 42 – Схема соединения блоков стенда при включении электронного счетчика активной электроэнергии непосредственно в четырех проводную сеть

2.17.2 В трехфазной сети счетчиком активной электроэнергии

Схема включения электронного счетчика реактивной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть показана на рисунке 43

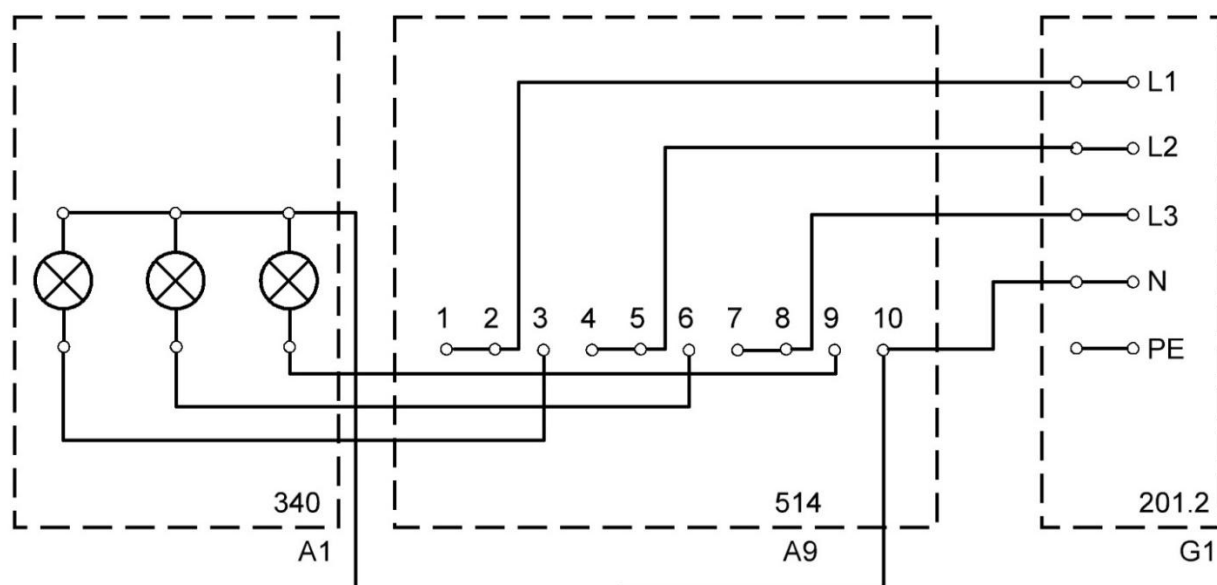


Рисунок 43 – Схема соединения блоков стенда при включении электронного счетчика активной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть

2.17.3 В трехфазной сети счетчиком реактивной электроэнергии

Схема включения электронного счетчика реактивной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть показана на рисунке 44

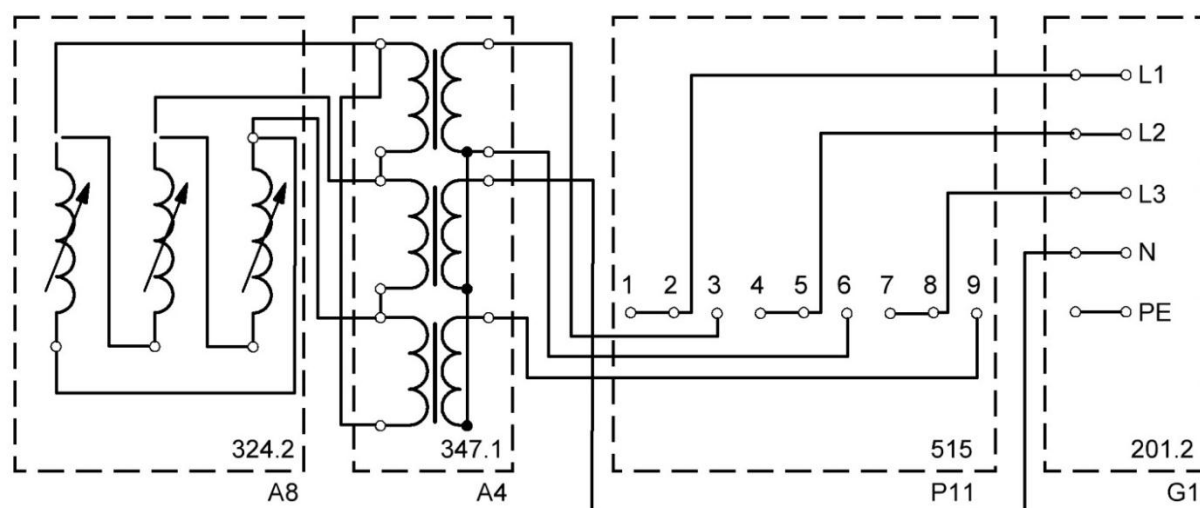


Рисунок 44 – Схема соединения блоков стенда при включении электронного счетчика реактивной электроэнергии непосредственно в четырехпроводную сеть

2.18 Снятие показаний приборов

Показания однофазного ваттметра и варметра снимаются для трех ступеней активной и реактивной нагрузки соответственно, для чего в цепь последовательно добавляется по одному нагрузочному элементу, включенному на полную мощность.

При снятии показаний трехфазного ваттметра и варметра устанавливается два режима нагрузки – симметричный и несимметричный.

При моделировании симметричного режима все переключатели мощности нагрузки всех фаз устанавливаются в положение одинаковой нагрузки.

Для создания несимметричного режима переключатель нагрузки в одной из фаз устанавливается в положение максимальной (или минимальной) нагрузки, а два других переключателя – в положение средняя нагрузка.

Измерение потребленной активной электроэнергии при помощи однофазного и трехфазного счетчиков выполняются в режиме полная нагрузка. Рекомендуется замерять время, за которое диск счетчика сделает целое число оборотов.

Измерение потребленной реактивной энергии выполняется также в режиме полной нагрузки. Замеряется время, за которое диск выполнит целое число оборотов.

При измерении количества потребленной активной и реактивной электроэнергии с помощью электронных счетчиков следует вести подсчет количества импульсов по миганию светодиода на панели счетчика за промежуток времени, например за 3 или 5 минут.

2.19 Контрольные вопросы

1. Приведите схему включения однофазного ваттметра.
2. Приведите схему включения однофазного варметра.
3. Приведите схему включения трехфазного ваттметра.
4. Приведите схему включения трехфазного варметра.
5. Приведите схему включения трехфазного ваттметра через трансформаторы тока и напряжения.

6. Каково устройство и принцип действия индукционного счетчика?
7. Приведите схему включения однофазного счетчика.
8. Приведите схему включения трехфазного счетчика активной энергии.
9. Приведите схему включения трехфазного счетчика реактивной энергии.
10. Приведите типовую схему включения трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии через трансформаторы тока и напряжения в трехпроводную сеть.
11. Поясните принцип измерения реактивной электроэнергии.
12. Поясните особенности индукционного счетчика для измерения реактивной энергии.
13. Каково устройство и принцип действия электронного счетчика?
14. Приведите структурную схему электронного счетчика электроэнергии.
15. Приведите алгоритм работы электронного счетчика.
16. Назовите и охарактеризуйте виды учета электроэнергии на промышленном предприятии.
17. Каково назначение различных видов учета электроэнергии?
18. Перечислите места измерения электроэнергии на промышленном предприятии.
19. Перечислите места установки приборов учета на промышленном предприятии.
20. Каковы требования к классу точности приборов учета и измерительных трансформаторов?

2.20 Литература, рекомендуемая для изучения темы

1 Правила устройства электроустановок. - Вып. 8.- 6-е и 7-е изд. - Новосибирск : Новосиб. ун-т, 2007. - 854 с. - ISBN 5-379-00206-4.

2 Рощин, В. А. Схемы включения счетчиков электрической энергии: производственно-практ. пособие / В. А. Рощин; 3-е изд. перераб. и доп. - М. : НЦ ЭНАС, 2007. - 112 с. : ил.

3 ГОСТ Р 52321-2005. Электромеханические счетчики активной энергии классов точности 0,5; 1 и 2. Введ. 2005-07-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. - 18 с.

4 ГОСТ Р 52320-2005. Аппаратура для измерения электрической энергии пе-

ременного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Введ. 2005-07-01. – М.: Стандартиформ, 2005. - Часть II: Счетчики электрической энергии. - 34 с.

5 ГОСТ Р 52322-2005. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2. Введ. 2005-07-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. - 20 с

6 ГОСТ Р 52323-2005. Статические счетчики активной энергии переменного тока классов точности 0.2S и 0.5S. Введ. 2005-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 2005.

7 ГОСТ 8.259-2004. Счетчики электрические индукционные активной и реактивной энергии. Методика поверки. - М.: Изд-во стандартов, 2004. - 20 с.

8 ГОСТ 25372-95. Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока. Введ. 2003-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1996. -15 с.

9 ГОСТ 7746-2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия. Введ. 2003-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 33 с.

10 ГОСТ 1983-2001. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. Введ. 2005-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 35 с.

11 РД.34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

12 Электрический счетчик. Помощь в вопросах о счетчиках электрической энергии – Режим доступа: <http://elektroschetchiki.ru/>

3 Лабораторная работа №3. Определение показателей качества электроэнергии

Цель лабораторной работы - опытное определение показателей качества электроэнергии.

Задачи

1 Изучить теоретические сведения о качестве электроэнергии и показателях качества.

2 Изучить основные способы и средства для определения показателей качества электроэнергии.

3 Используя оборудование лабораторного стенда выполнить измерения основных показателей качества электроэнергии.

4 Выполнить оценку качества электроэнергии по некоторым измеренным показателям.

5 Ознакомиться с возможностями измерителя показателей качества электроэнергии ЭРИС КЭ.05 формирования архива данных и составление на основе этих данных отчета средствами программного обеспечения Keeper [9].

3.1 Общие положения

Под термином «качество электрической энергии» понимается соответствие основных параметров энергосистемы установленным нормам производства, передачи и распределения электрической энергии.

Количественная характеристика качества электроэнергии выражается показателями качества электроэнергии.

Показателями КЭ являются:

- 1) установившееся отклонение напряжения;
- 2) размах изменения напряжения;
- 3) доза фликера;
- 4) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;

- 5) коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения;
- 6) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- 7) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- 8) отклонение частоты;
- 9) длительность провала напряжения;
- 10) импульсное напряжение;
- 11) коэффициент временного перенапряжения.

Нормы качества электроэнергии

Нормативными документами [2] установлены два вида норм качества электроэнергии: нормально допустимые и предельно допустимые. Приведены показатели норм качества для некоторых свойств электроэнергии.

Отклонение напряжения.

Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения δU на выводах приемников электрической энергии равны соответственно ± 5 и $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети. Пример отклонения напряжения показан на рисунке 45.

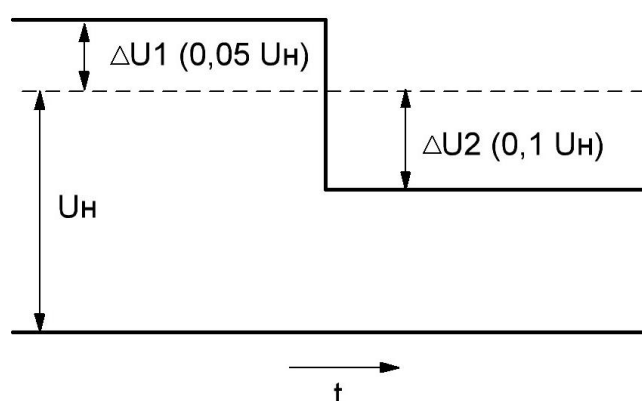


Рисунок 45 – Пример отклонения напряжения

Колебания напряжения.

Колебания напряжения характеризуются двумя показателями:

- размахом изменения напряжения;
- дозой фликера;

определяемыми согласно нормам и методике, изложенным в [2].

Типовой пример кривой изменения напряжения ΔU_i на промежутках Δt_i приведен на рисунке 46а. На рисунке 46б показан пример фликера.

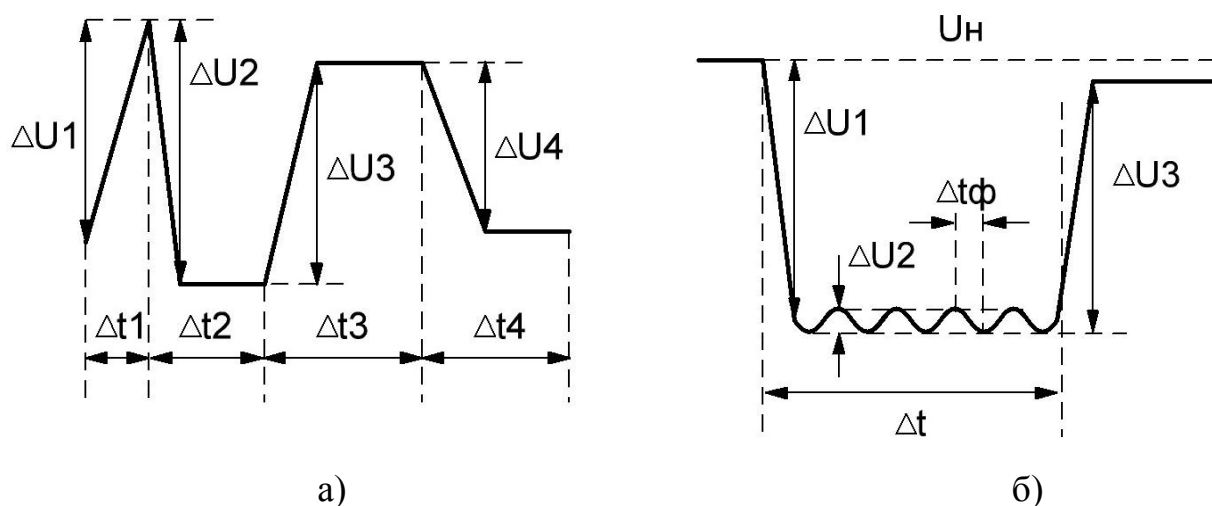


Рисунок 46 – Пример колебания напряжения

Провал напряжения

Предельно допустимое значение длительности провала напряжения в электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно равно 30 с. Длительность автоматически устраняемого провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики. Пример провала напряжения показан на рисунке 47.

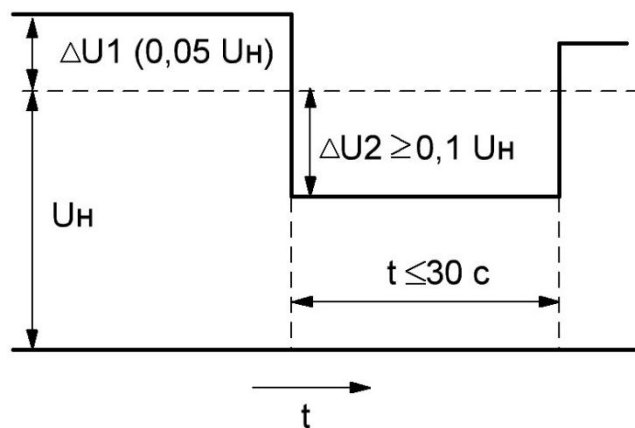


Рисунок 47 – Пример провала напряжения

Несинусоидальность напряжения.

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения.

Пример искажения синусоидальности кривой показан на рисунке 48.

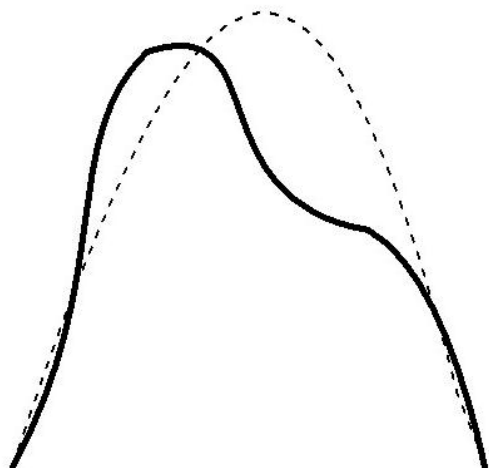


Рисунок 48 – Пример несинусоидальности напряжения

Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям с разным номинальным напряжением приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в процентах

Нормально допустимое значение при U_n , кВ				Предельно допустимое значение при U_n , кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Коэффициент n -ой гармонической составляющей

Нормально допустимые значения коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям с разным номинальным напряжением U_n приведены в таблице 6.

Таблица 6- Значения коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения в процентах

Нечетные гармоники, не кратные 3, при U _н , кВ					Нечетные гармоники, кратные 3* при U _н , кВ					Четные гармоники при U _н , кВ				
n	0,38	6-20	35	110-330	n	0,38	6-20	35	110-330	n	0,38	6-20	35	110-330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+1,3×25/n	0,2+0,8×25/n	0,2+0,6×25/n	0,2+0,2×25/n										

n - номер гармонической составляющей напряжения.

* Нормально допустимые значения, приведенные для n, равных 3 и 9, относятся к однофазным электрическим сетям. В трехфазных трехпроводных электрических сетях эти значения принимают вдвое меньшими приведенных в таблице

Предельно допустимое значение коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения вычисляют по формуле

$$K_{U(n)\text{пред}} = 1,5 \cdot K_{U(n)\text{норм}} \quad (29)$$

где $K_{U(n)\text{норм}}$ - нормально допустимое значение коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения, определяемое по таблице 7.

Несимметрия напряжений

Несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Пример несимметрии напряжения приведен на рисунке 49.

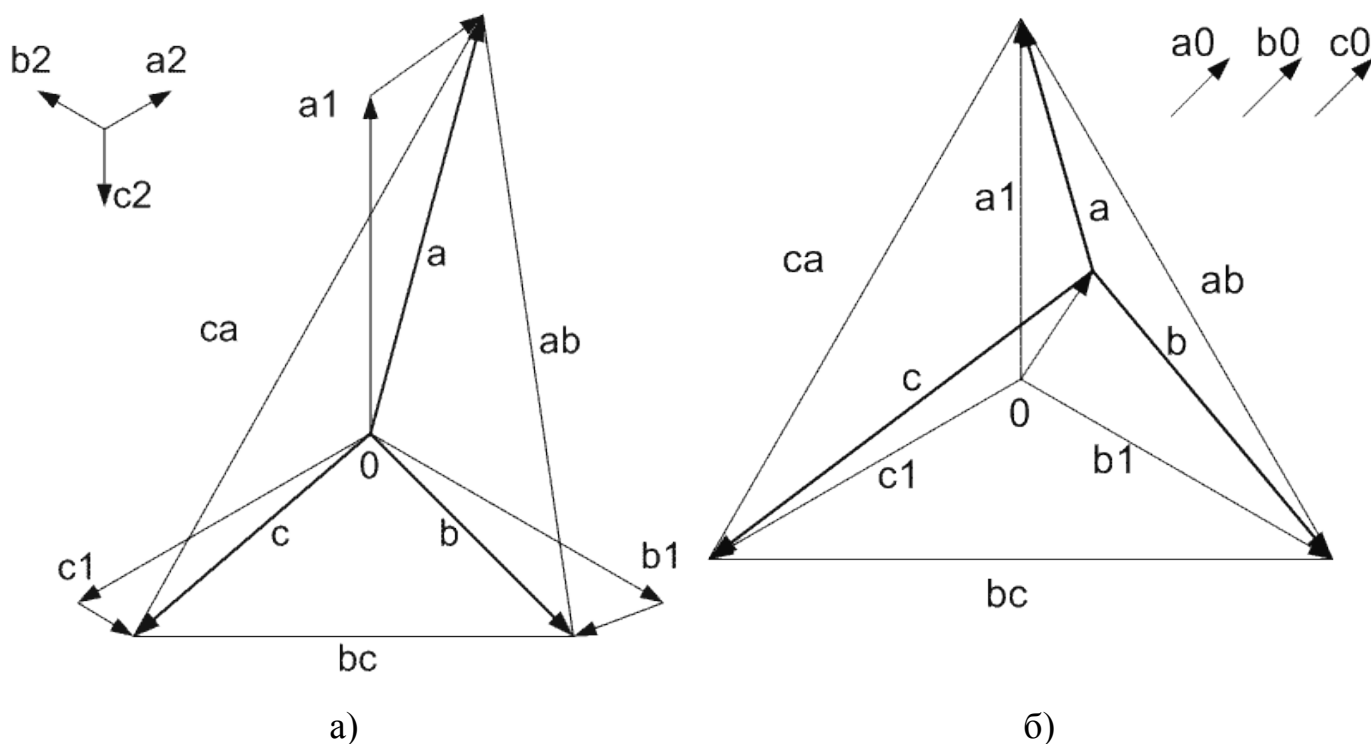


Рисунок 49 – Пример несимметрии напряжения а - обратной и б - нулевой последовательности

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в точках общего присоединения к электрическим сетям равны 2,0 и 4,0 % соответственно.

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ равны 2,0 и 4,0 % соответственно.

Отклонение частоты

Отклонение частоты напряжения переменного тока в электрических сетях характеризуется показателем отклонения частоты, для которого установлены нормально допустимое и предельно допустимое значения отклонения частоты $\pm 0,2$ и $\pm 0,4$ Гц соответственно.

Пример отклонения частоты показан на рисунке 50.

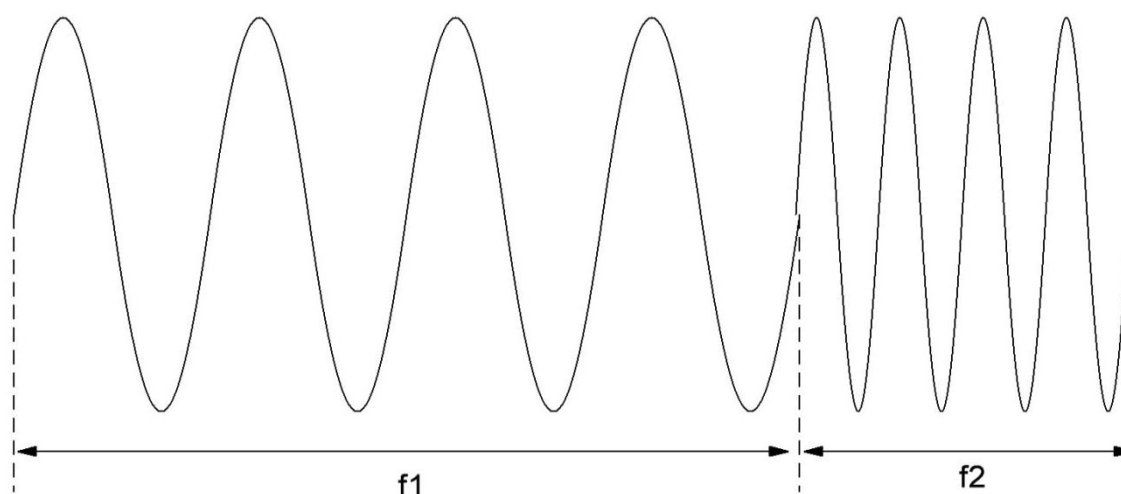


Рисунок 50 – Пример отклонения частоты

Свойства электроэнергии, показатели и наиболее вероятные виновники ухудшения качества электроэнергии приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Свойства электроэнергии, показатели и наиболее вероятные виновники ухудшения качества электроэнергии

Свойства электроэнергии	Показатель качества электроэнергии	Вероятные виновники ухудшения качества электроэнергии
Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения δU_t , δU_y	Энергоснабжающая организация
Колебания напряжения	Размах изменения напряжения δU_t Доза фликера P_t	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности K_{2U} , K_{0U}	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты Δf	Энергоснабжающая организация
Провал напряжения	Длительность провала напряжения $\Delta t_{\text{п}}$	
Импульс напряжения	Импульсное напряжение $U_{\text{имп}}$	
Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения $K_{\text{пер-}U}$	

Средства измерения, позволяющие определить значение отдельных показателей приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Приборы для определения значения отдельных показателей

Показатель качества	Средство измерения
1) установившееся отклонение напряжения;	вольтметр
2) размах изменения напряжения;	
3) доза фликера;	осциллограф
4) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;	
5) коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения;	индикатор ПКЭ
6) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;	
7) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;	
8) отклонение частоты;	частотомер, осциллограф
9) длительность провала напряжения;	вольтметр, секундомер
10) импульсное напряжение;	вольтметр с фиксацией максимума
11) коэффициент временного перенапряжения	вольтметр

3.2 Описание лабораторной установки КЭЭСЭС1-Н-К

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования КЭЭСЭС1-Н-К (настольное исполнение, компьютерная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 9.

Таблица 9 – Состав оборудования стенда

Тип аппаратуры	Название
509.2	Блок мультиметров
526	Измеритель показателей качества электроэнергии
507.2	Измеритель мощностей
218.2	Однофазный источник питания
218.1	Регулируемый автотрансформатор
372.1	Однофазный трансформатор
313.3	Модель линии электропередачи
306.4	Активная нагрузка
324.4	Индуктивная нагрузка

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 51.

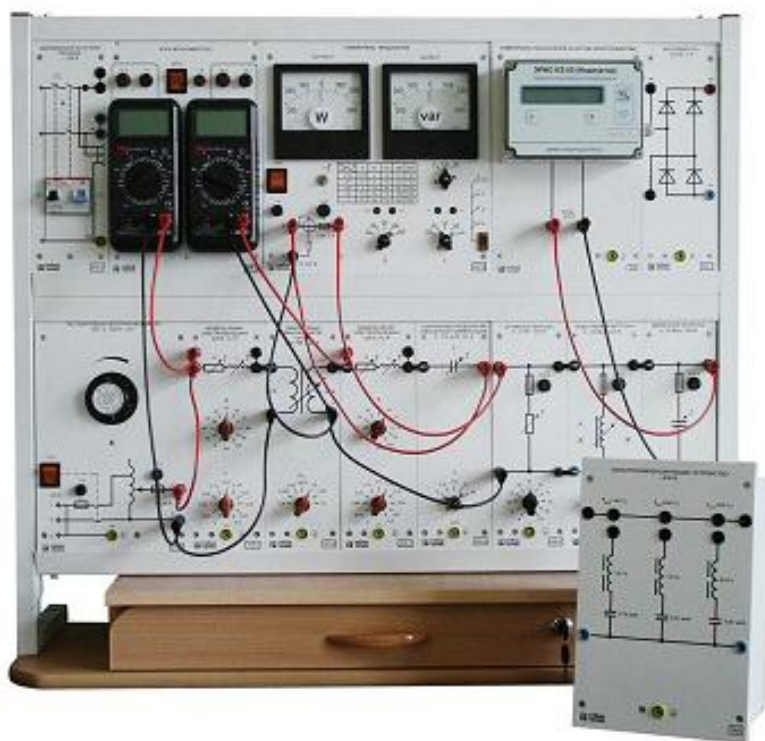


Рисунок 51 - Лабораторная установка КЭЭСЭС1-Н-К

3.3 Основные приемы работы со стендом

Перед выполнением любых коммутаций следует убедиться, что однофазный источник питания выключен.

При выполнении лабораторной работы студент, являющийся оператором стенда, соединяет согласно схеме аппаратные модули. Для этого наконечники проводников соответствующей длины или перемычки вставляются с небольшим усилием в гнезда. При этом стенд можно придерживать за раму.

Проводники можно соединять между собой. Присоединение двух и более проводников к одному разъему выполняется при помощи безопасных наконечников проводников. Присоединение мультиметров следует выполнять проводниками с безопасными наконечниками, входящими в комплект стенда.

3.4 Измерительные приборы

При выполнении лабораторной работы необходимо определять напряжение и ток в электрической цепи. Эти измерения выполняются мультиметром. Порядок подключения мультиметра

- установить род тока (постоянный/переменный) и предел измерения;
- правильно присоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Измеритель показателей качества электроэнергии показан на рисунке 52



Рисунок 52 – Измеритель показателей качества электроэнергии ЭРИС-КЭ.05

Измеритель ЭРИС-КЭ.05 предназначен для измерения и регистрации показателей качества и вспомогательных характеристик электрической энергии, установленных [2], их временных характеристик в однофазных системах электроснабжения с номинальной частотой 50 Гц.

Прибор фиксирует все основные показатели качества электроэнергии, установленные ГОСТ 13109-97 [2]. Измеритель осуществляет измерение усредненных значений характеристик на фиксированных временных интервалах (интервалы усреднения).

Управление измерителем осуществляется с помощью встроенной 2-х клавишной клавиатуры.

Для передачи архивной информации используется интерфейс USB. Разъем для присоединения внешних устройств к измерителю расположен на задней стенке измерителя.

Время установления рабочего режима измерителя после подключения к источнику питания (сети) не более 1 мин. Питание измерителя осуществляется от измеряемой сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц. Входные цепи измерителя выдерживает воздействие импульсных помех по цепям питания напряжений: до 10 кВ – длительностью не более 20 мкс, до 6 кВ – длительностью не более 10 мс. Измеритель обеспечивает регистрацию характеристик при глубине провалов напряжения до 90 % и при временном перенапряжении до 120 %.

3.5 Ход работы

Перед выполнением данной лабораторной работы требуется получить у преподавателя и ознакомиться с руководством по эксплуатации измерителя показателей качества электроэнергии 4222-005-02066411-03-РЭ. После этого проводится собеседование в ходе которого студенты, приступающие к выполнению лабораторной работы отвечают на вопросы, касающиеся правил работы с прибором его основных характеристик и измеряемых параметрах.

Для выполнения измерений потребуется собрать испытательную установку, согласно схеме соединения блоков стенда, показанной на рисунке 53.

Переключатель мощности активной (блок 306.4) и индуктивной (блок 324.3) нагрузки следует установить в положение - «нет нагрузки».

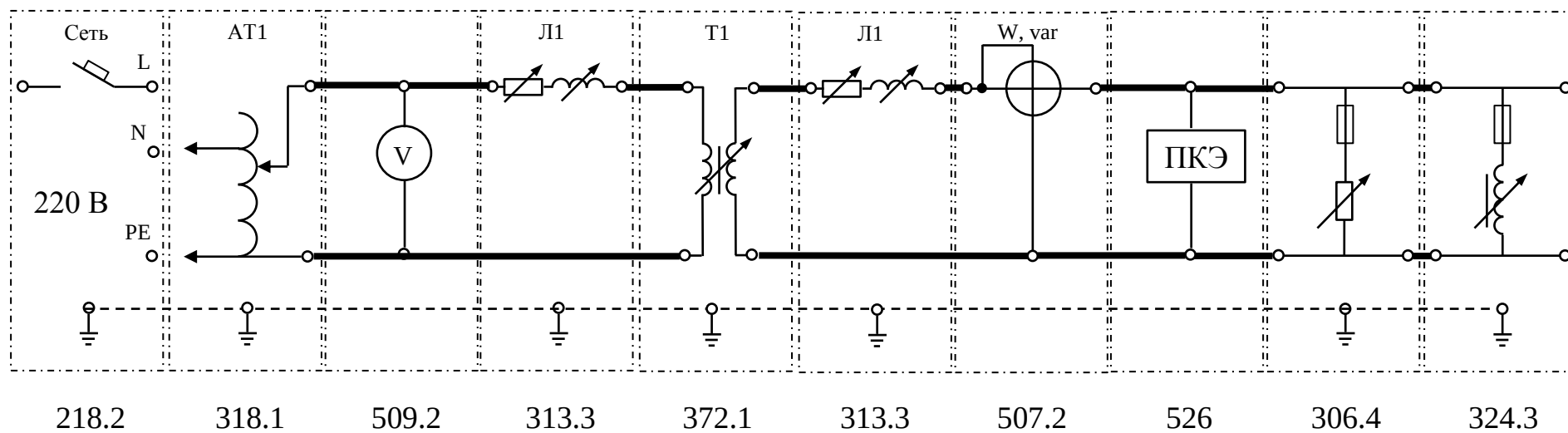


Рисунок 53 - Схема соединений блоков стенда для измерения показателей качества электроэнергии

ВНИМАНИЕ! Измеритель показателей качества электроэнергии ЭРИС-КЭ.05 включается в схему только двумя проводниками, т.е. если прибор подключен к гнездам «Вход», то подключать прибор посредством разъема «Питание» **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ**.

Собранную схему нужно показать преподавателю и сообщить фамилию оператора стенда. Преподаватель включает питание стенда (или разрешает включить питание). Дальнейшие эксперименты выполняются оператором стенда самостоятельно.

3.5.1 Управление измерителем показателей качества электроэнергии ЭРИС-КЭ.05 при помощи меню

Измеритель показателей качества электроэнергии включается при включении питания схемы. О включении свидетельствует зажигание ламп подсветки экрана и появление на нем надписи «Ожидание DSP...». После этого прибор должен прийти в рабочее состояние. Длительность интервала времени, за которое прибор придет в рабочее состояние может быть до 15-20 минут. На экране прибора готового к работе в первой строке отображается текущая дата, время и индикатор заряда аккумулятора, а во второй, появляется надпись одного из пунктов основного меню «Текущие значения ПКЭ». Перемещение между пунктами основного меню выполняется по кольцу нажатием кнопки «▷». Структура основного меню приведена на рисунке 54.

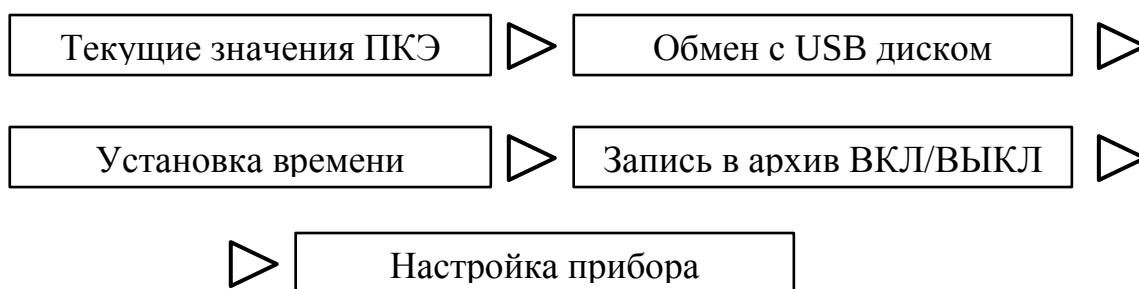


Рисунок 54 – Структура основного меню прибора

Вход в любой пункт основного меню выполняется нажатием кнопки «▼».

Меню «Текущие значения ПКЭ»

Структура меню «Текущие значения ПКЭ» представлена на рисунке 55

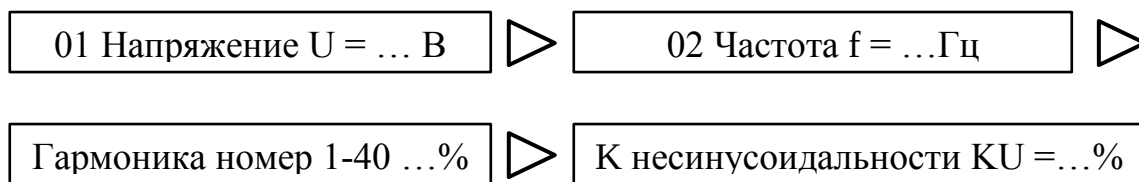


Рисунок 55 – Структура меню «Текущие значения ПКЭ»

Перемещение между пунктами основного меню выполняется по кольцу нажатием кнопки «▷»

01 Напряжение

Напряжение выводится в вольтах.

Обновление информации производится 1 раз в минуту (и после первых 3 секунд работы прибора).

02 Частота

Выводится текущая частота сети.

Обновление информации – раз в 20 секунд.

03 Гармоники напряжения

Выводятся текущие значения коэффициентов гармоник напряжения с 1-й по 40-ю в процентах. Выбор гармоники выполняется нажатием кнопки «▼» по возрастанию.

Обновление информации – раз в 3 секунды.

04 Коэффициент несинусоидальности напряжения

Выводится текущее значение KU в процентах.

Обновление информации – раз в 3 секунды.

Меню «Обмен с USB - диском»

Если при выборе этого пункта основного меню в разъем прибора вставлен USB-диск (флэш-память), прибор начнет запись архива в файл на этот диск. На дисплее прибора все время записи будет высвечиваться надпись «Идет запись архи-

ва...», светодиод на USB-диске будет мигать. Во время записи нельзя выключать питание прибора или вынимать диск из разъема. Время записи архива составляет около 9 минут. Запись завершена, когда светодиод на диске погаснет, а прибор вернется в основное меню.

3.5.2 Включение стенда

Порядок включения стенда следующий:

- 1) присоединить вилку к розетке;
- 2) включить SF2 (тумблер УЗО) блока 218.2;
- 3) включить SF1 (тумблер автоматического выключателя) блока 218.2;
- 4) выполнить контроль включения измерителя показателей качества электроэнергии (зажигание подсветки дисплея прибора) и загрузку прибора (после длительного перерыва в использовании прибор может загружаться до 20 минут);
- 5) выполнить контроль зажигания индикатора включения питания (светодиод красного цвета) блока 218.2;
- 6) установить диапазон измерения мультиметров – рекомендуется выполнять измерения в диапазоне 2 А переменного тока;
- 7) проверить готовность мультиметров к работе и включить их нажатием кнопки on/off если кнопка находилась в положении on, то потребуется двукратное ее нажатие;
- 8) включить кнопку «Сеть» измерителя мощностей;
- 9) установить требуемый предел измерения измерителя мощностей.

ВНИМАНИЕ: При появлении аномальных (для электрического оборудования) явлений немедленно выключить SF1. Срабатывание автомата выключателей SF1, SF3 или SF2 (УЗО) указывает на неправильный монтаж или неисправность оборудования.

3.5.3 Получение показаний измерителя показателей качества электроэнергии

В ходе выполнения лабораторной работы требуется получить показатели качества электроэнергии доступные из меню «Текущие значения ПКЭ». Для этого при каждом измерении, нажатием кнопки «▷» перемещаемся в следующий пункт меню и записываем текущие показатели качества в таблицу 11.

3.5.4 Получение экспериментальных данных

В ходе эксперимента предстоит получить показания следующих приборов:

- измерителя показателей качества – меню «Текущие значения ПКЭ»;
- ваттметра и варметра измерителя мощностей;
- вольтметра.

Для моделирования работы группы электроприемников с переменной нагрузкой используется график нагрузки, аналогичный лабораторной работе №1.

Показания приборов снимают в зависимости от ступени нагрузки для каждой ступени после установки переключателей мощности нагрузки в положение, согласно варианту. Переключение мощности нагрузки выполняют без отключения питания стенда. Установив требуемую мощность нагрузки, записывают показания ваттметра и варметра измерителя мощностей, а также показания измерителя ПКЭ в таблицу 10, раздел «Показания приборов».

Таблица 10 - Результаты измерений мощности нагрузки

Задаваемые значения								
U _н , В	220	Коэффициент трансформации T1	1	Коэффициент трансформации трансформатора тока измерителя мощностей				
Показания приборов								
Часы суток	P, кВт	Q, квар	U, В	f, Гц	K _{U(1)} %	K _{U(3)} %	K _{U(5)} %	K _U %
1								
...								
24								

Дополнительно, моделируется ситуация имитирующая провал напряжения для чего изменяют коэффициент трансформации силового трансформатора с возвращением его в исходное состояние за время, меньшее 30 секунд.

После выполнения всех этапов определения показателей качества электроэнергии в ручном режиме, выполняется запись архива на USB-диск. Для записи устанавливают накопитель в разъем и выбирают пункт меню – «Обмен с USB диском». Время записи архива составляет 15-20 минут, в течение которого нельзя выключать прибор. О завершении записи архива свидетельствует переход прибора в главное меню. USB-диск извлекается.

ВНИМАНИЕ! С индикатором ПКЭ могут работать не все USB диски. Преимущество отдается быстродействующим моделям производства Transcend.

3.5.5 Обработка результатов эксперимента

По результатам измерений:

- 1) строится график, изменения напряжения, активной и реактивной мощности во времени, в течение суток;
- 2) определяется величина установившегося отклонения напряжения согласно [3];
- 3) определяются параметры провала напряжения;
- 4) делается вывод об изменении частоты тока;
- 5) делается заключение о величине гармонических составляющих характерных групп;
- 6) делается заключение о коэффициенте несинусоидальности;
- 7) составляется отчет средствами специализированного программного обеспечения Keeper [9].

3.6 Контрольные вопросы

- 1 Что называется качеством электроэнергии?
- 2 Перечислите основные показатели качества электроэнергии.

3 Приведите значения нормально и предельно допустимых значений показателей качества электроэнергии.

4 Приведите примеры вероятных виновников, ответственных за отклонение показателей качества электроэнергии от допустимых значений.

5 Приведите графическую интерпретацию отклонения показателей качества электроэнергии.

6 Приведите минимально возможный состав оборудования, необходимый для регистрации отдельных показателей качества электроэнергии.

7 Приведите структуру меню измерителя показателей качества электроэнергии ЭРИС-КЭ.05.

8 Охарактеризуйте особенности измерения отдельных показателей качества с помощью измерителя ЭРИС-КЭ.05: интервалы усреднения, погрешности и др.

3.7 Литература, рекомендуемая для изучения темы

1 Страница поддержки пользователей. ООО Фирма «Энергоконтроль» ООО «НПФ "Энергоконтроль» Московский энергетический институт Режим доступа - <http://www.erisnpf.ru/Support.htm>

2 Гост 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ 1999-01-01. –М.: Стандартинформ, 2006. – 32 с.

4 Лабораторная работа №4. Компенсация реактивной мощности в цеховой сети

Цель лабораторной работы – изучение режимов потребления реактивной мощности в сети промышленного предприятия

Задачи:

- 1 Определить влияние характера нагрузки на величину потребления реактивной мощности в цеховой сети.
- 2 Исследовать влияние батарей конденсаторов на режим потребления реактивной мощности группой низковольтных электроприемников.
- 3 Исследовать особенности режима потребления реактивной мощности при групповой и индивидуальной компенсации.

4.1 Краткие сведения о компенсации реактивной мощности

В цехе промышленного предприятия большая часть электроприемников для своей работы требует реактивный ток. Этот режим называют – потребление реактивной мощности, что обусловлено сдвигом по фазе между током и напряжением в цепи электроприемника. За счет этого сдвига по фазе, кроме активной мощности P , необходимой для обеспечения работы приемника, по всем звеньям цепи от источника тока до приемника системы электроснабжения происходит передача реактивной мощности Q . Передача этой мощности вызывает увеличение тока, следовательно, появляются дополнительные потери активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, от генераторов электростанции и до приемника электроэнергии.

Загрузка линий и трансформаторов реактивной мощностью вызывает увеличение потери напряжения и, следовательно, большие отклонения напряжения от номинального значения в системе электроснабжения при изменении нагрузки, что ухудшает режим работы приемников.

Дополнительные потери мощности, вызываемые прохождением реактивного тока, ухудшают экономичность работы сети.

Кроме того, реактивная мощность уменьшает пропускную способность всех звеньев системы электроснабжения, загружая их реактивной составляющей тока, и не позволяет использовать полностью установленную мощность генераторов на электрических станциях.

Невозможность использования некоторой части установленной мощности источников электроэнергии и передающих звеньев цепи питания ведет к излишним капитальным затратам на сооружение электрических станций, подстанций и сетей. Для создания лучшего технического и экономического режима работы системы электроснабжения необходимо стремиться, насколько это целесообразно, к уменьшению передачи по сети реактивной мощности (уменьшению угла сдвига фаз между током и напряжением).

Однако реактивная мощность играет важную роль в поддержании необходимого уровня напряжения в электрической сети. Недостаток реактивной мощности в узле нагрузки ведет к уменьшению напряжения в этом узле. Для некоторых потребителей, таких как асинхронные двигатели, снижению питающего напряжения ведет к увеличению потребления реактивной мощности и к еще большему снижению напряжения – так называемая «лавина напряжения». Избыточная величина реактивной мощности в узле нагрузки ведет к увеличению напряжения что опасно для многих электрических приборов, например для ламп освещения.

Получение сдвига фаз между током и напряжением, обеспечивающего оптимальную величину реактивной мощности протекающей в сети, производится за счет компенсации реактивной мощности как естественными мерами (за счет улучшения режима работы приемников), так и за счет установки компенсирующих устройств (генераторов реактивной мощности) в соответствующих точках системы электроснабжения.

Компенсация реактивной мощности – выработка реактивной мощности в сети промышленного предприятия (непосредственно у приемника).

Наиболее целесообразным считается такой режим, при котором имеют место наименьшие потери активной мощности, обеспечивается минимальное отклонение

напряжения от нормального значения, а затраты на компенсирующие устройства окупаются в срок до 8 лет.

Задача компенсации реактивной мощности заключается в определении типа, мощности и места установки (присоединения к сети) источника реактивной мощности.

Решение задачи компенсации реактивной мощности выполняется на основе сравнения технико-экономических показателей различных вариантов.

4.2 Векторная диаграмма процесса компенсации реактивной мощности

Процесс компенсации реактивной мощности показан на рисунках 54 и 55.

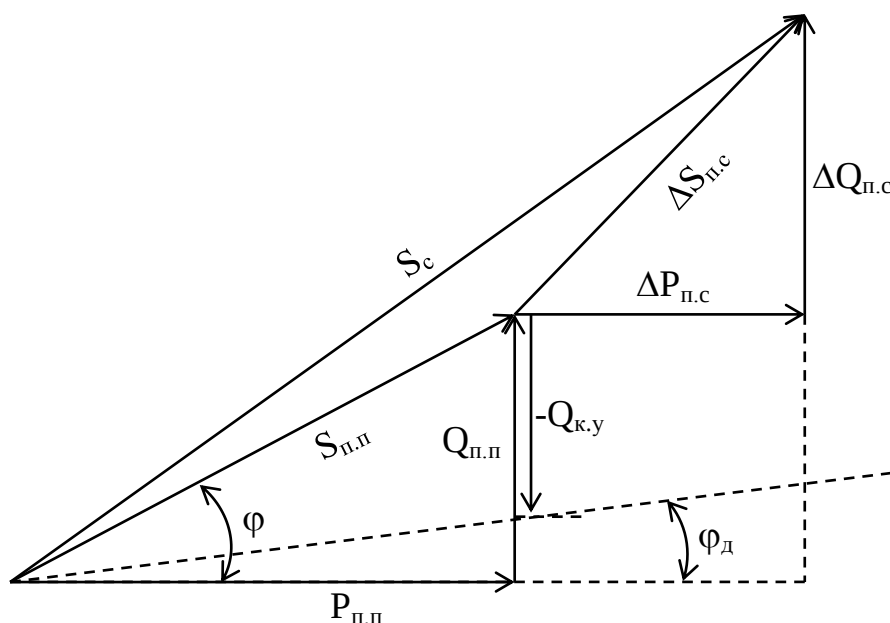


Рисунок 56 – Векторная диаграмма потребления реактивной мощности предприятием до компенсации $S_{п.п}$, $P_{п.п}$, $Q_{п.п}$ – полная активная и реактивная мощности, потребляемые предприятием до компенсации; φ – угол до компенсации, φ_d – директивный угол сдвига фаз соответствующий директивному $\cos \varphi_d$, $-Q_{к.у}$ – мощность компенсирующего устройства, $\Delta S_{п.с}$, $\Delta P_{п.с}$, $\Delta Q_{п.с}$ – полные, активные и реактивные потери в энергосистеме до компенсации, S_c – полная мощность, которая обеспечивается источниками питания энергосистемы.

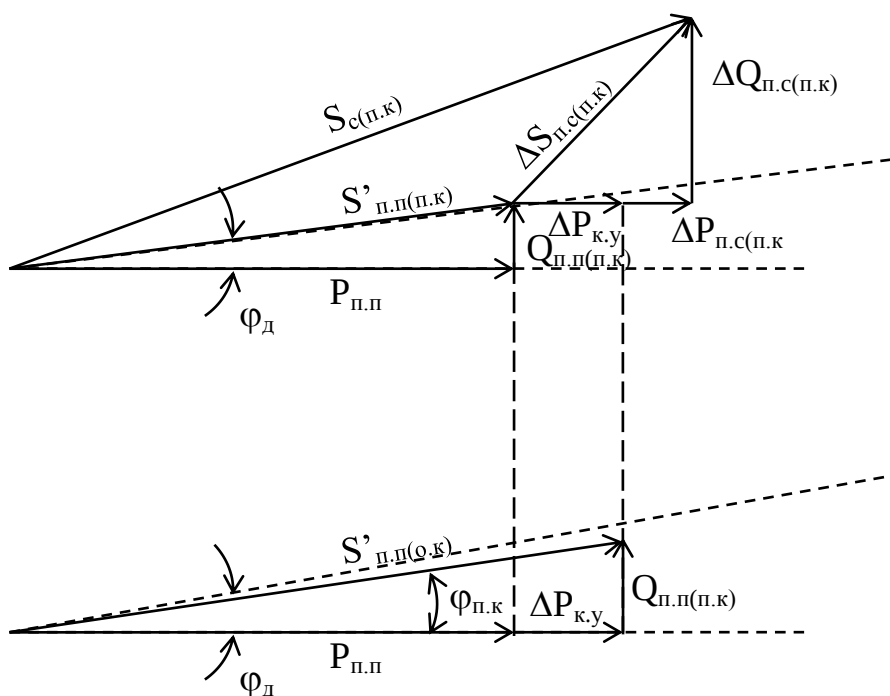


Рисунок 57 – Векторная диаграмма потребления реактивной мощности предприятием после компенсации $S_{п.п(п.к)}$, $R_{п.п(п.к)}$, $Q_{п.п(п.к)}$ – полная активная и реактивная мощности, потребляемые предприятием после компенсации без учета влияния потерь в компенсирующем устройстве, $S_{п.с(п.к)}$, $R_{п.с(п.к)}$, $Q_{п.с(п.к)}$ – полные, активные и реактивные потери мощности в системе после компенсации, $S_{c(п.к)}$ – полная мощность, обеспечиваемая системой после компенсации, $\Delta R_{к.у}$ – потери активной мощности в компенсирующем устройстве, $S'_{п.п(п.к)}$ – полная мощность, потребляемая предприятием после компенсации с учетом потерь $\Delta R_{к.у}$ в компенсирующем устройстве.

4.3 Понятие коэффициента мощности

1) Текущее значение коэффициента мощности ($\cos\varphi$). Величина $\cos\varphi$ может быть определена непосредственно по показаниям фазометра или вычислена по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра по формуле (для трехфазной системы)

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \quad (30)$$

где P – значение активной мощности (определяется по показаниям ваттметра),

U – значение напряжения (определяется по показаниям вольтметра),

I – значение тока (определяется по показаниям амперметра).

Текущее значение $\cos\varphi$ характеризует изменение угла сдвига по фазе между током и напряжением, создаваемое данной установкой во времени.

2) Средневзвешенное значение коэффициента мощности ($\cos\varphi_{св}$). Величина $\cos\varphi_{св}$ дает усредненное значение коэффициента мощности установки за период времени.

3) Естественный коэффициент мощности. За величину естественного коэффициента мощности принимают его значение без учета работы специальных компенсирующих устройств таких, как, например, синхронные компенсаторы и конденсаторы.

Естественный коэффициент мощности может характеризоваться как текущим, так и средневзвешенным значением.

4) Общий коэффициент мощности ($\cos\varphi_{об}$). За величину общего коэффициента мощности $\cos\varphi_{об}$ принимают его значение с учетом работы компенсирующих устройств. Так же как и естественный коэффициент мощности, $\cos\varphi_{об}$ может характеризоваться как текущим, так и средневзвешенным значением.

Соотношение

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (31)$$

в качестве нормативного не дает четкого представления о динамике изменения реального значения реактивной мощности. При изменении коэффициента мощности с 0,95 до 0,94 реактивная мощность изменяется на 10 %, а при изменении этого же коэффициента с 0,99 до 0,98 приращение реактивной мощности составляет 42 %.

При расчетах удобнее оперировать соотношением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P}, \quad (32)$$

называемое коэффициентом реактивной мощности.

4.4 Устройства для компенсации реактивной мощности

КРМ (УКМ 58, АКУ, УКРМ)-0,4 кВ - низковольтная установка компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности с помощью низковольтных КРМ (аналог УКМ 58, АКУ, УКРМ) - 0,4 кВ реактивной мощностью от 10 до 6 000 квар оснащенные автоматическим регулятором для компенсации реактивной мощности.

Конденсаторные установки для компенсации реактивной мощности с фильтрами гармоник. КРМФ

Конденсаторная установка, подключаемая к СЭСП, образует, вместе с силовым трансформатором резонансный контур, который может оказаться, настроен на одну из гармоник присутствующих в сети. В случае возможности резонансных явлений, применение автоматических конденсаторных установок возможно только с фильтрующими дросселями на каждой ступени - КРМФ, ДФКУ, АФКУ, УКМФ.

КРМ (УКЛ 56, УКЛ 57)-6,3 (10,5) кВ - высоковольтная нерегулируемая установка компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности, осуществляемая на базе высоковольтных конденсаторных установок, применяется в электросетях 6,3/10,5/35 кВ с высоковольтной нагрузкой. Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности высоковольтные КРМ (аналог УКЛ 56, УКЛ 57) - 6,3/10,5/35 кВ производятся на реактивные мощности от 150 до 50 000 кВАр. Компенсация реактивной мощности происходит в ручном режиме, путем подключения необходимого числа батарей косинусных конденсаторов. Высоковольтные установки компенсации реактивной мощности производятся на базе компенсационных конденсаторов ведущих мировых производителей, имеют срок службы более 250 тыс. часов - 25 лет.

КРМ 1 (УКРМ) - 6,3 (10,5) кВ - высоковольтная регулируемая установка компенсации реактивной мощности

Регулируемая установка компенсации реактивной мощности в автоматическом режиме, под управлением микропроцессорного регулятора реактивной мощности улучшает $\cos\varphi$ ($\operatorname{tg}\varphi$), путем подключения/отключения необходимого числа бата-

рей конденсаторов. Установки компенсации реактивной мощности производятся с шагом от 20 до 450 квар и суммарной мощностью до 100 Мвар.

Тиристорные конденсаторные установки

Конденсаторные установки с тиристорными ключами применяются в цехах с резкопеременной нагрузкой. К таким относятся цеха с большим количеством подъемно-транспортных механизмов, штамповочных установок и прессов, сварочных аппаратов. В отличие от установок с контакторами тиристорные конденсаторные установки обладают быстродействием на 2 порядка выше. В тиристорных установках после подачи сигнала на коммутацию тиристор «сам выбирает» время подключения в момент, когда напряжение в сети и на конденсаторе равны. Задержка включения составляет не более 20 мс. При этом следует отметить, что конденсаторы подключаются без пусковых токов. Это продлевает срок службы конденсаторов. В связи с отсутствием движущихся механических контактов тиристорные конденсаторные установки имеют большой ресурс. Для защиты тириستоров применяются специальные быстродействующие предохранители Их назначение при любых перегрузках разорвать цепь раньше, чем ток через тиристоры достигнет недопустимой для них величины.

SVC. Статическая вар-компенсация реактивной мощности. БСК. Батареи статических конденсаторов. 0,4 – 6 - 10 кВ

Батареи статических конденсаторов мощностью от 10 до 200 МВАр производятся на базе косинусных однофазных конденсаторов, путем параллельно – последовательного соединения их в звезду или треугольник в зависимости от режима работы нейтрали. Внедрение батарей статических конденсаторов позволяет увеличить напряжение на шинах СПП на 3-4 %, снизить потери в сетях 6 - 110 кВ. БСК позволяют скорректировать перетоки реактивной энергии, выдавать реактивную мощность и поддерживать желаемое напряжение.

DCRK (Б2201) - регулятор для компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в автоматическом режиме осуществляется с помощью регулятора реактивной мощности DCRK. Регулятор разработан ведущими европейскими лабораториями для установок компенсации реактивной мощности.

Параметры компенсации реактивной мощности в сети: напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности и т.д. могут выводиться на ПК через интерфейс RS-232/485.

Косинусные (фазовые) конденсаторы для компенсации реактивной мощности.

Косинусные, фазовые конденсаторы для компенсации реактивной мощности (КРМ), в том числе для местной корректировки коэффициента мощности (подключение конденсаторов параллельно двигателям и т.п.). Срок эксплуатации более 100 000 часов. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности производятся на напряжения от 0,4 до 10,5 кВ и мощности до 700 квар.

4.5 Компенсация реактивной мощности в сети 0,4 кВ

На промышленных предприятиях большая часть потребителей реактивной мощности располагается в сети напряжением до 1 кВ. Коэффициент мощности низковольтной нагрузки ($\cos\varphi$) не превышает 0,8. Сети напряжением 380-660 В электрически более удалены от источников питания, поэтому передача реактивной мощности в низковольтную сеть требует увеличения сечений проводов и кабелей, повышения мощности силовых трансформаторов и сопровождается потерями активной и реактивной мощности. Затраты, обусловленные перечисленными факторами, можно уменьшить если осуществлять компенсацию реактивной мощности непосредственно в цеховой сети.

Источниками реактивной мощности в низковольтной сети являются в основном конденсаторные батареи. Остальная часть реактивной мощности передается из высоковольтной сети.

При решении задачи компенсации реактивной мощности требуется установить оптимальное соотношение между источниками реактивной мощности на сторонах низкого и высокого напряжений, принимая во внимание потери электроэнергии на генерацию реактивной мощности источниками низкого и высокого напряжений, потери электроэнергии на передачу из сети ВН в сеть НН и удорожание цеховых ТП в случае загрузки их реактивной мощностью.

Выбор оптимальной мощности низковольтной батареи конденсаторов (НБК) осуществляют одновременно с выбором цеховых ТП. Расчетную мощность НБК округляют до ближайшей стандартной мощности комплектных конденсаторных установок (ККУ).

Для каждой цеховой ТП рассматривают возможность распределения найденной мощности НБК в цеховой сети. Критерием целесообразности такого решения является снижение приведенных затрат, обусловленное разгрузкой сети НН от реактивной мощности.

Если распределительная сеть выполнена только кабельными линиями, то ККУ любой мощности рекомендуется присоединять непосредственно к шинам цеховой ТП. При питании от одного трансформатора двух и более магистральных шинопроводов к каждому из них присоединяют только по одной НБК. Общую расчетную мощность батарей $Q_{нк}$ распределяют между шинопроводами пропорционально их суммарной нагрузке.

На одиночном магистральном шинопроводе предусматривают установку не более двух близких по мощности ККУ суммарной мощностью в квар, определяемой

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (33)$$

Если основные реактивные нагрузки шинопровода присоединены ко второй его половине, устанавливают только одну НБК. Точку ее подключения определяют из условия

$$Q_h \geq Q_{нк}/2 \geq Q_{h+1}. \quad (34)$$

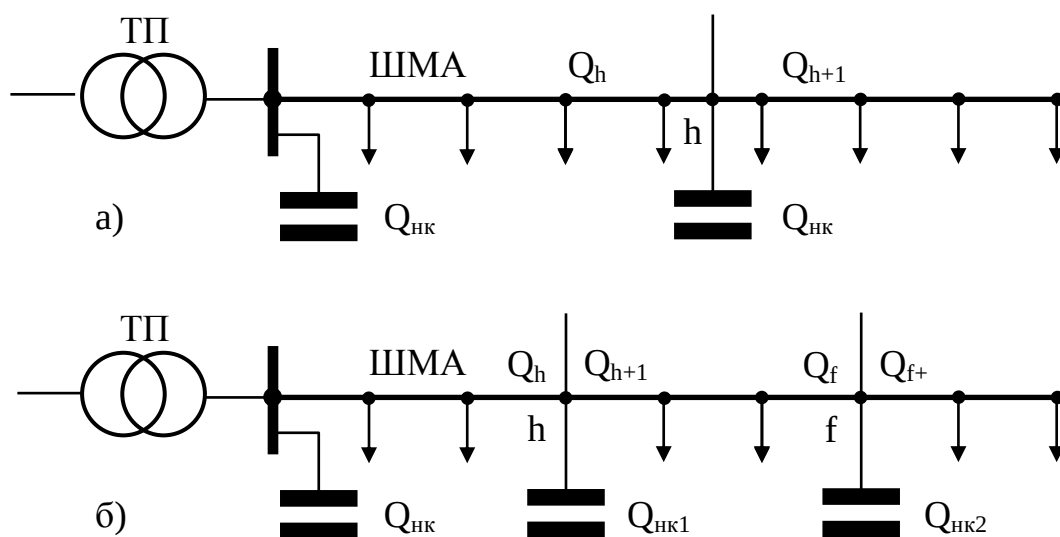
где Q_h , Q_{h+1} — наибольшие реактивные нагрузки шинопровода перед узлом h и после него соответственно.

При присоединении к шинопроводу двух НБК точки их подключения находят из следующих условий: точка подключения дальней НБК (рисунок 58, а)

$$Q_f \geq Q_{нк.д} \geq Q_{f+1}; \quad (35)$$

точка подключения ближней к трансформатору НБК (рисунок 58, б)

$$Q_h - Q_{нк.д} \geq \frac{Q_{нк.б}}{2} \geq Q_{h+1} - Q_{нк.д}. \quad (36)$$



а - одна НБК; б - две НБК

Рисунок 58 - Схема подключения НБК к магистральным шинопроводам

4.6 Описание лабораторной установки РССЭС1-Н-Р

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования РССЭС1-Н-Р (настольное исполнение, ручная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 11.

Таблица 11 - Состав оборудования стенда

Тип аппаратуры	Название
509.2	Блок мультиметров
507.2	Измеритель мощностей
218.2	Однофазный источник питания
359	Автоматический однополюсный выключатель
372.1	Однофазный трансформатор
306.4	Активная нагрузка
324.4	Индуктивная нагрузка
317.3	Емкостная нагрузка

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 59.

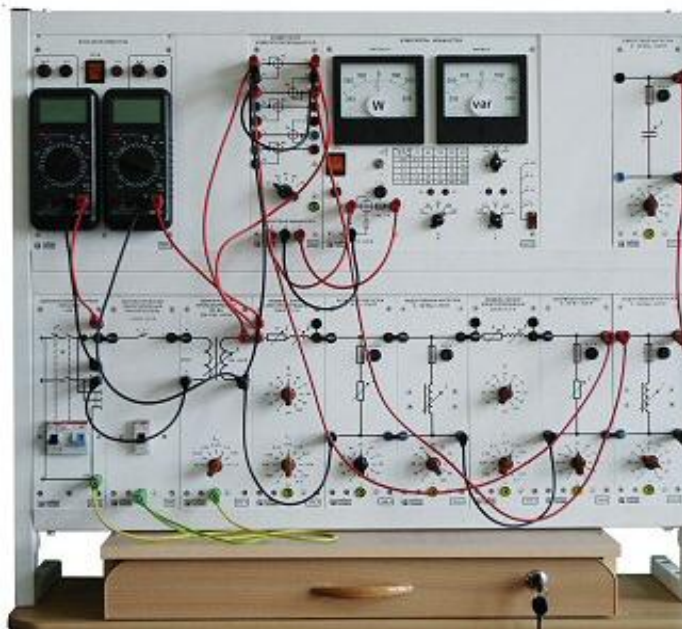


Рисунок 59 - Лабораторная установка РССЭС1-Н-Р

4.7 Ход работы

Для выполнения измерений потребуется собрать испытательную установку, согласно схеме соединения блоков стенда, показанной на рисунке 58.

Измерения выполняют в три этапа.

Первый этап – построение графика нагрузки без компенсации реактивной мощности, согласно варианта индивидуального задания. Процедура построения графика приведена в лабораторной работе №1. В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки без компенсации реактивной мощности.

Второй этап – полная компенсация реактивной мощности. При помощи блока емкостной нагрузки для каждой ступени графика опытным путем устанавливается мощность батареи конденсатора, полностью компенсирующая всю реактивную нагрузку, создаваемую электроприемниками группы. Контроль ведется по варметру измерителя мощностей. В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности, выполненный на одной координатной плоскости.

Третий этап – компенсация базовой части графика нагрузки нерегулируемой батареей конденсаторов. Для выполнения этого этапа на графике реактивной

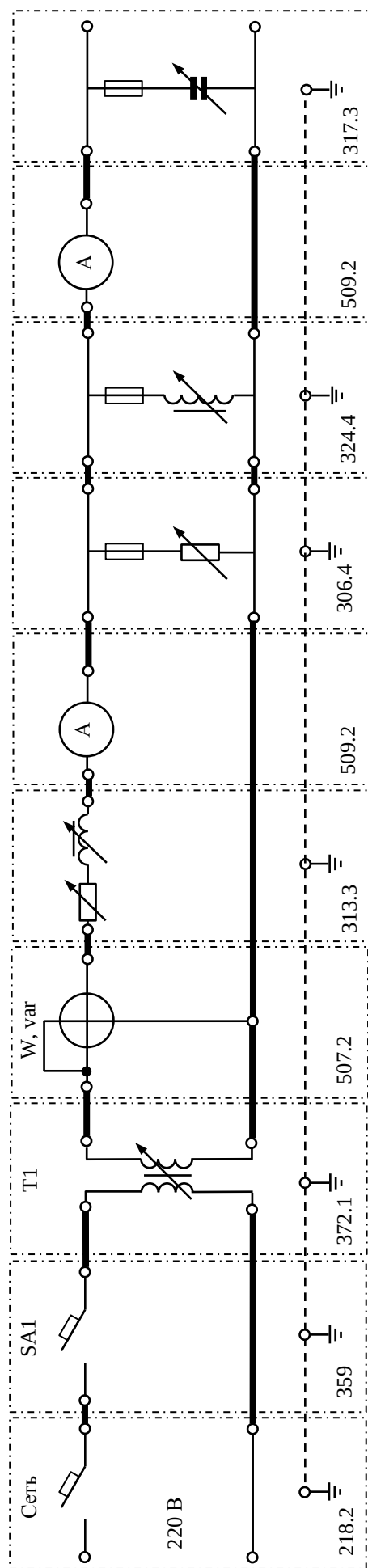


Рисунок 60 - Схема соединений блоков стенда для наблюдения явления компенсации реактивной мощности

нагрузки без компенсации реактивной мощности, полученном на первом этапе, выделяется базовая часть, представляющая собой неизменную часть графика. Пример выделения базовой части показан на рисунке 61.

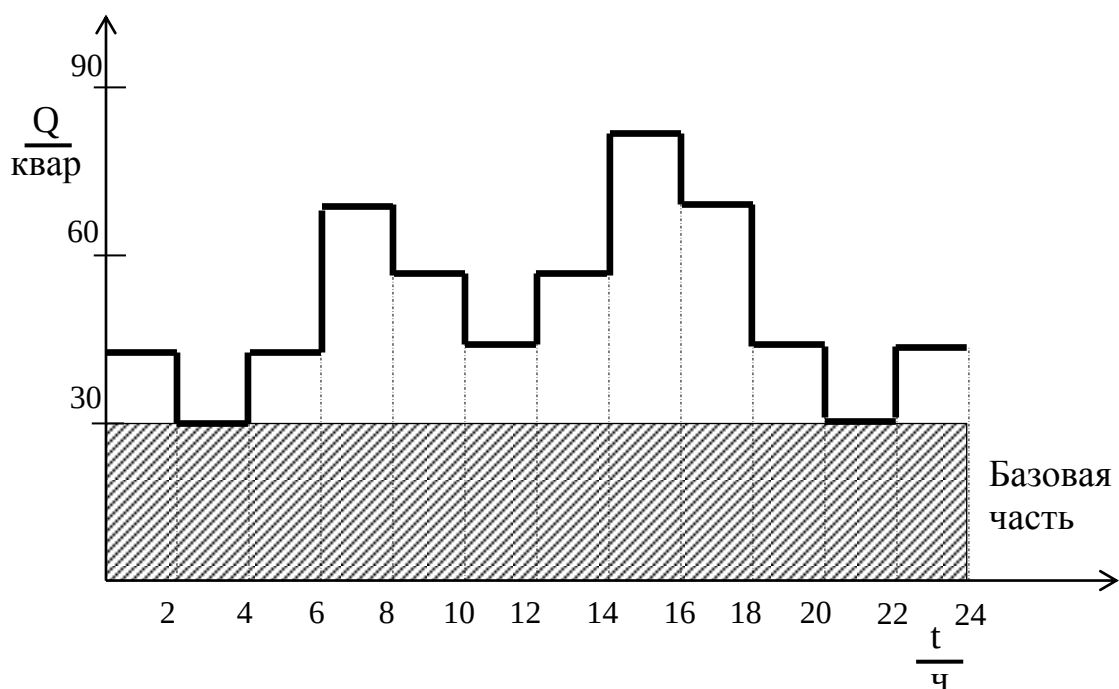


Рисунок 61 – Выделения базовой части графика реактивной нагрузки.

Четвертый этап – сравнение показателей индивидуальной и групповой компенсации реактивной мощности.

Дополнительное задание – моделирование режима «перекомпенсации». Установив переключатель мощности батареи конденсаторов в режим максимальной генерации для всего графика нагрузок наблюдается режим перекомпенсации реактивной мощности. Строится соответствующий график нагрузки.

Ориентируясь на величину базовой части, используя каталог производителя компенсирующих устройств, подбирают нерегулируемую батарею конденсаторов.

В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки, выполненный на одной координатной плоскости.

Коэффициенты трансформации силового трансформатора, трансформатора тока, измерителя мощностей и расчетное напряжение приведены в таблице 15.

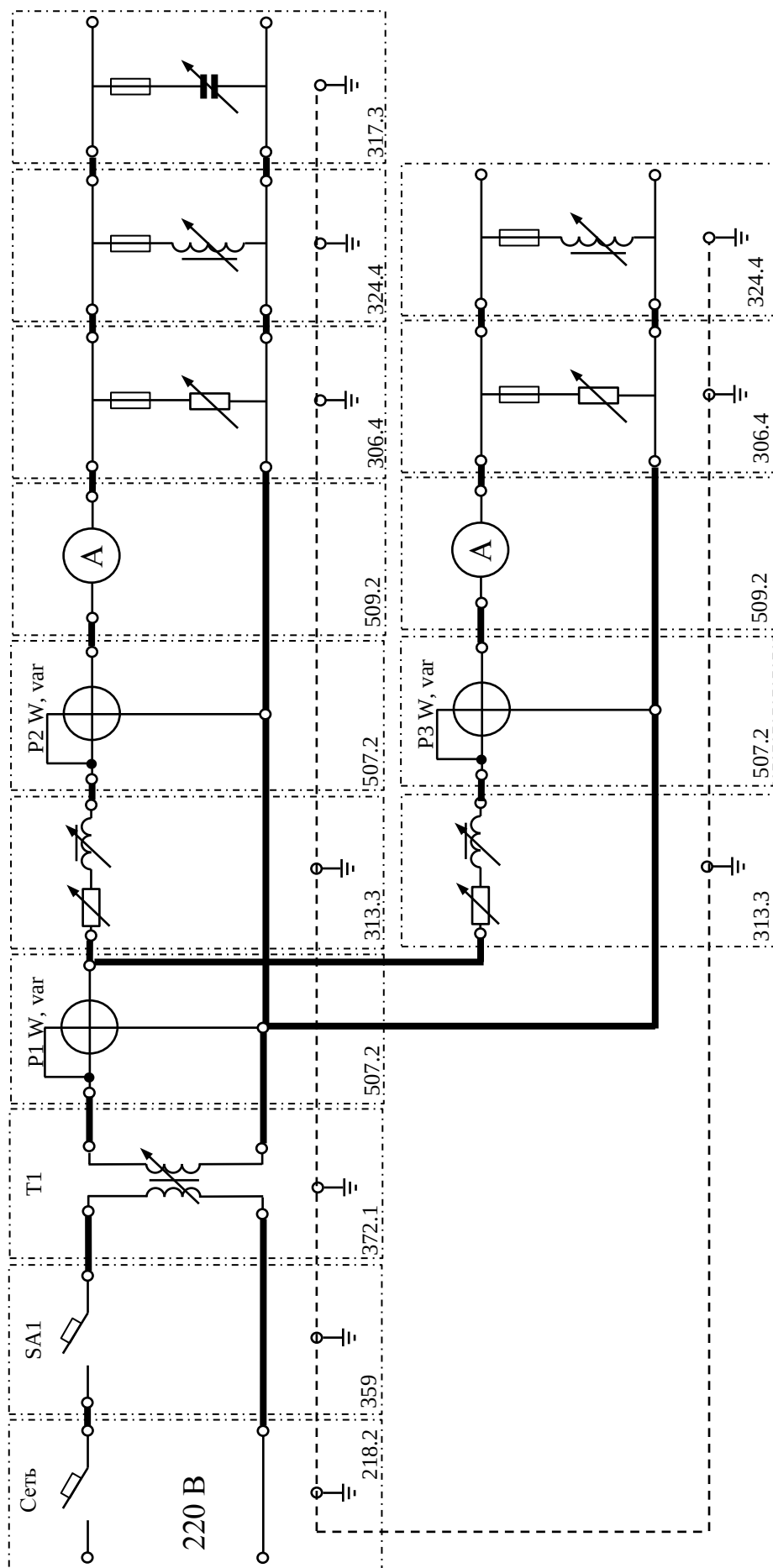


Рисунок 62 - Схема соединений блоков стенда для опыта №2 сравнения показателей индивидуальной и групповой компенсации

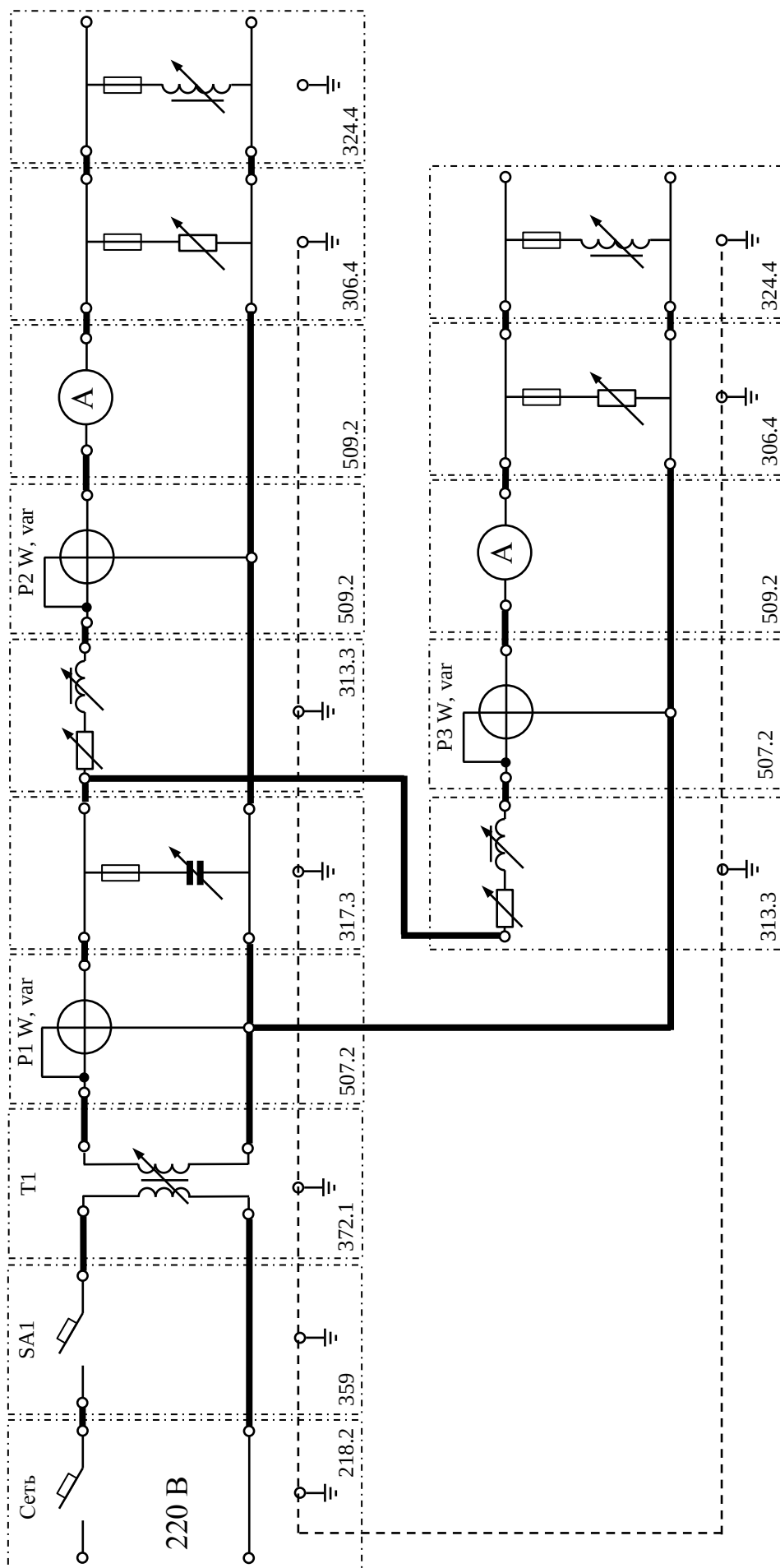


Рисунок 63 - Схема соединений блоков стенда для опыта №2 сравнения показателей индивидуальной и групповой компенсации

Результаты опытов на различных этапах вносятся в таблицу 12.

Таблица 12 - Результаты измерений

Задаваемые значения											
Коэффициент трансформации Т1						Коэффициент трансформации Т измери-					
Показания приборов								Расчетные данные			
Часы суток	Р, Вт	Q, вар	U _н , В	I _с , А	I _н , А	С, %	cosφ	tgφ	S, ВА	ΔР, Вт	

Опыт сравнения групповой и индивидуальной компенсации проводится только на стенде РССЭС1-Н-Р в следующей последовательности:

- 1) собирается схема, согласно рисунку 62, состоящая из двух радиальных линий;
- 2) устанавливая переключателями модели линии электропередачи (блок 313.3) значения $r_{кл1}$, $r_{кл2}$ и $x_{кл1}$, $x_{кл2}$ согласно варианта задания, приведенного в таблице 15;
- 4) входы коммутатора измерителя мощностей включаются в три точки схемы (блок 507.2);
- 5) амперметры включаются в каждую радиальную ветвь схемы для контроля максимального тока, протекающего по линии электропередачи.

После включение схемы, с помощью блоков активной и реактивной нагрузки, включенных в разные ветви, моделируется одинаковый график, заданный вариантом задания. С помощью емкостной нагрузки компенсируется вся реактивная мощность, потребляемая нагрузкой, предотвращая поступление реактивной мощности из внешней сети, для чего переключая емкость, добиваются установки нуля (или значения близкого к нулю) на варметре измерителя мощности в положении коммутатора Р1.

Снимаются показания ваттметра и варметра в положении коммутатора Р2 и Р3. Снимаются показания амперметров А1 и А2. Показания записывают в таблицу 13.

Таблица 13 - Результаты измерений

Задаваемые значения									
Коэффициент трансформации Т измерителя мощностей									
Показания приборов							Расчетные данные		
«Верхняя» радиальная линия									
Часы суток	P1, Вт	Q1, вар	P2, Вт	Q2, вар	I _{н1} , А	C, %	cosφ	S, ВА	ΔP, Вт
...									
«Нижняя» радиальная линия									
Часы суток	P1, Вт	Q1, вар	P2, Вт	Q2, вар	I _{н1} , А	C, %	cosφ	S, ВА	ΔP, Вт
...									

Для выполнения второй части опыта следует изменить подключение емкостной нагрузки, согласно схеме, показанной на рисунке 63. Используя значения параметров кабельных линий Кл1 и Кл2 согласно варианта задания из таблицы 15, снимают показания ваттметра и варметра в положениях Р2 и Р3 коммутатора измерителя мощностей моделируя график нагрузки согласно варианта. Показания ваттметра и варметра записываются в таблицу 13.

Для оформления таблицы и выполнения расчетов рекомендуется использовать табличный процессор Excel. При использовании коэффициентов трансформации трансформаторов тока измерителя мощностей, измеренные и расчетные величины могут быть выражены в тысячах единиц (приставка кило-).

Вычисляется:

полная мощность, В·А

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (37)$$

коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}; \quad (38)$$

потери в линии, Вт

$$\Delta P_{\%} = \frac{P^2 + Q^2}{P \cdot U^2} \cdot R \cdot 100. \quad (39)$$

Кф.р., Кф

4.3 Контрольные вопросы

- 1 Поясните физический смысл реактивной мощности в электрической сети.
- 2 Поясните роль реактивной мощности для электроприемников предприятия (на примере статической устойчивости в узле нагрузки).
- 3 Назовите основные потребители реактивной мощности в цехе промышленного предприятия.
- 4 Назовите источники реактивной мощности для сетей промышленного предприятия.
- 5 Перечислите достоинства и недостатки основных источников реактивной мощности.
- 6 Что называется компенсацией реактивной мощности?
- 7 В чем заключается задача компенсации реактивной мощности?
- 8 Перечислите способы снижения потребления реактивной мощности без использования компенсирующих устройств.
- 9 Задача выбора места установки компенсирующего устройства в цехе предприятия.

4.4 Литература, рекомендуемая для изучения темы

- 1 Мельников, М.А. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие /М.А. Мельников – Томск: Изд. ТПУ, 2002. -143 с.
- 2 Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров. 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергия, 1972. - 416 с.
- 3 Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. учеб. пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

5 Варианты индивидуальных заданий

Часы суток	Вариант															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%	P,%	Q,%
1	90	30	40	50	40	50	40	10	70	80	40	30	70	30	60	70
2	80	20	40	50	30	50	30	20	60	80	30	20	80	30	50	70
3	90	40	40	50	20	50	20	10	40	70	30	10	70	30	40	70
4	90	40	40	50	40	50	10	10	40	70	30	0	60	20	50	70
5	90	40	40	50	40	50	20	20	30	60	20	10	70	20	60	70
6	90	40	50	60	50	50	30	10	40	70	30	20	80	30	60	70
7	80	30	50	60	60	50	40	10	30	60	50	30	70	20	70	80
8	90	40	50	60	80	90	60	30	80	90	90	40	80	40	80	80
9	100	50	50	60	100	100	90	40	90	100	100	70	90	50	90	80
10	90	40	60	70	100	100	100	50	100	100	100	70	100	70	100	90
11	90	60	60	70	90	90	90	40	80	90	90	50	90	60	100	90
12	80	50	60	70	80	70	70	30	70	80	80	40	80	50	70	80
13	90	30	60	70	50	80	60	40	80	90	90	50	90	60	80	90
14	90	40	60	70	70	90	90	50	90	90	90	40	70	50	80	90
15	90	50	60	70	90	100	80	40	100	100	80	30	60	40	100	100
16	100	60	60	70	80	90	70	30	80	90	90	50	70	50	100	100
17	90	30	40	50	70	80	60	40	60	60	100	50	80	60	80	90
18	100	20	60	60	80	90	70	30	70	80	100	40	70	50	100	100
19	90	20	60	60	90	100	60	30	80	90	90	30	60	40	100	100
20	90	40	60	60	100	100	50	20	80	90	100	40	70	30	90	100
21	100	50	60	60	100	90	60	10	70	80	90	30	80	40	90	100
22	100	50	60	50	90	80	70	40	80	90	80	20	70	30	80	80
23	90	40	50	50	70	80	50	20	90	100	40	30	60	20	60	70
24	80	30	40	50	50	60	40	10	70	80	40	30	60	20	60	70

Таблица 15 - Коэффициенты трансформации силового трансформатора, трансформатора тока, измерителя мощностей и параметры линии

Показатель	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{тр} T1$	1	1	1	1	1	1	1	1
$K_{тр} W, var$	800	1000	1200	1500	2000	3000	4000	5000
Линии Л1 и Л2 R/X								

Список использованных источников

- 1 Федоров, А.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов / А. А. Федоров, Э. М. Ристхейн . - М. : Энергия, 1980. - 360 с
- 2 Правила устройства электроустановок. - Вып. 8.- 6-е и 7-е изд. - Новосибирск : Новосиб. ун-т, 2007. - 854 с. - ISBN 5-379-00206-4.
- 3 ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ 1999-01-01. –М.: Стандартиформ, 2006. – 32 с.
- 4 Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. учеб. пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
- 5 Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 551700 – «Электроэнергетика» и 551300 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Томск: Изд-во ТПУ. – 91 с.
- 6 Роцин, В. А. Схемы включения счетчиков электрической энергии: производственно-практ. пособие / В. А. Роцин ; 3-е изд. перераб. и доп. - М. : НЦ ЭНАС, 2007. - 112 с.
- 7 Сенигов, П.Н. Распределительные сети систем электроснабжения: руководство по выполнению базовых экспериментов РССЭС.001 РБЭ (934) / П.Н. Сенигов. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2007. – 25 с.
- 8 Сенигов, П.Н. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: руководство по выполнению базовых экспериментов КЭЭСЭС.001 РБЭ (935) /П.Н. Сенигов. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2007. – 22 с.
- 9 Страница поддержки пользователей. ООО Фирма «Энергоконтроль» ООО «НПФ "Энергоконтроль» Московский энергетический институт Режим доступа - <http://www.erisnpf.ru/Support.htm>

Приложение А **(обязательное)**

Правила техники безопасности

1 ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1.1) К выполнению лабораторной работы допускаются студенты прошедшие инструктаж по технике безопасности, о чем свидетельствует роспись в журнале инструктажа по технике безопасности на рабочем месте.

1.2) К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, ознакомившиеся с методическими указаниями по выполняемой лабораторной работе после собеседования с преподавателем о целях и задачах лабораторной работы.

1.3) К выполнению лабораторной работы допускается бригада студентов в количестве не более трех человек, распределившие обязанности внутри бригады: ответственный исполнитель, оператор стенда, наблюдатель.

2 ЗАПРЕЩАЕТСЯ

2.1) Выполнять лабораторную работу при составе бригады, большем чем четыре человека, а также при нахождении в зоне лабораторного стенда (расстояние вытянутой руки) лиц не выполняющих или не допущенных к работе со стендом.

2.2) Располагаться и включать стенд при нахождении членов бригады сбоку или сзади стенда.

2.3) Выполнять коммутации блоков стенда, находящихся под напряжением.

2.4) Оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

2.5) Загромождать рабочее место посторонними предметами.

3 ДЕЙСТВИЯ ПРИ НЕСЧАСТНОМ СЛУЧАЕ

3.1) Отключить напряжение, освободить пострадавшего.

3.2) Оказать пострадавшему первую помощь.

3.3) Сообщить руководителю или лаборанту.

3.4) При необходимости вызвать скорую помощь.

Приложение Б **(обязательное)**

Требования к оформлению отчета

Отчет оформляется на бумаге формата А4 один на бригаду студентов, количеством не более трех человек. Для каждого отчета оформляется титульный лист установленной формы. Отчет должен содержать минимум одну страницу.

В отчете обязательно должны присутствовать следующие элементы:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- задачи в соответствии с методическими указаниями (и дополнительные);
- электрическая схема (схемы), с которой выполняются эксперименты;
- сведения об используемых измерительных приборах;
- таблица первичных данных;
- вычислительный блок (кроме работы №2);
- выводы (в соответствии с целью и задачами работы).

К отчету допускается прилагать дополнительные материалы.