

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт химии и энергетики

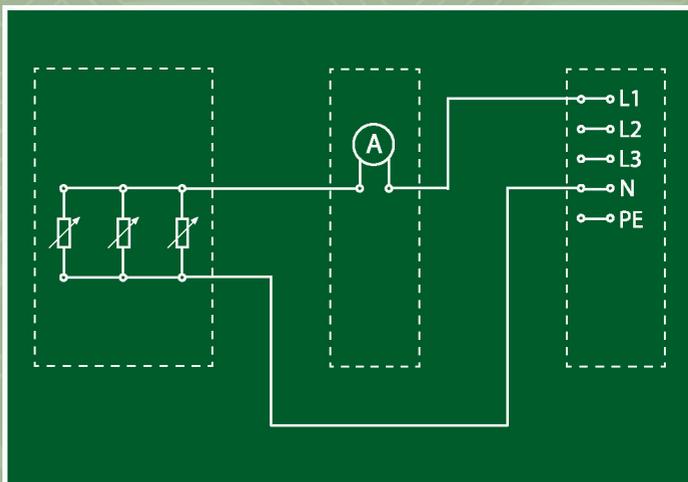
Д.А. Нагаев

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Лабораторный  
практикум

В двух частях

Часть 2



© ФГБОУ ВО  
«Тольяттинский  
государственный  
университет», 2021

ISBN 978-5-8259-1570-8



УДК 621.3

ББК 31.295Я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры  
«Электромеханика» Уфимского государственного авиационного  
технического университета *И.И. Ямалов*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *Д.А. Кретов*.

Нагаев, Д.А. Информационно-измерительная техника в электро-энергетике : лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 / Д.А. Нагаев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2021. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1570-8.

Практикум содержит теоретические сведения и порядок выполнения лабораторных работ по курсу «Информационно-измерительная техника в электроэнергетике».

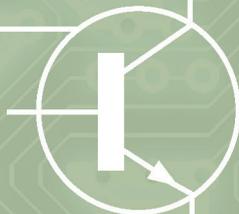
Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2021



Редактор *О.И. Елисева*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

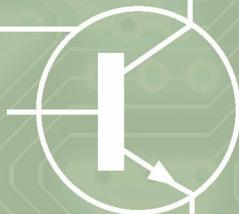
Дата подписания к использованию 28.04.2021.

Объем издания 7,7 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,  
первичная упаковка.

Заказ № 1-36-19.

Издательство Тольяттинского  
государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)



## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	6
ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА .....	8
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	11
Лабораторная работа 1. Измерение переменного тока и напряжения с помощью щитового амперметра и вольтметра .....	25
Лабораторная работа 2. Измерение активной мощности однофазного переменного тока с помощью щитового ваттметра .....	33
Лабораторная работа 3. Измерение активной мощности трехфазного переменного тока в трехпроводной сети с помощью щитового ваттметра .....	38
Лабораторная работа 4. Измерение реактивной мощности трехфазного переменного тока в трехпроводной сети с помощью щитового варметра .....	44
Лабораторная работа 5. Измерение активной электрической энергии однофазного переменного тока с помощью индукционного и электронного счетчиков .....	49
Приложение .....	55

## ВВЕДЕНИЕ

Учебный план дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника» для студентов направления подготовки «Электроснабжение» как очной, так и заочной форм обучения предусматривает выполнение лабораторных работ.

Задачей лабораторных работ является закрепление теоретических знаний, развитие практических навыков, ознакомление со средствами электрических измерений, измерительными приборами и оборудованием, освоение методов измерений в системах электроснабжения.

Промышленные предприятия и жилищно-коммунальное хозяйство являются основными потребителями электрической и тепловой энергии. Для изучения режима потребления энергии необходимо измерять и регистрировать электрические и неэлектрические величины с использованием приборов и измерительных преобразователей различного принципа действия.

Номенклатура приборов, используемых в энергоснабжении для измерения электрических и неэлектрических величин, весьма разнообразна по методам измерений и по принципам реализации. Однако сложилась устойчивая тенденция применять ограниченное число методов для измерения электрических и неэлектрических величин как в условиях эксплуатации, так и при аудите систем промышленного энергоснабжения.

Существующая номенклатура приборов не позволяет решать все задачи в полной мере в основном из-за трудностей измерения неэлектрических величин, поэтому устройства для их измерения электрическими методами постоянно развиваются и разнообразны по принципам действия и техническому исполнению.

Имеющиеся в практикуме методические указания помогут студентам в выполнении лабораторных работ, ознакомят с методами и средствами измерения электрических величин, используемых в системах электроснабжения.

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### *Подготовка*

Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий и в течение определенного времени. Для выполнения лабораторных работ студент должен:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- 3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 4) до проведения лабораторной работы подготовить соответствующие схемы, таблицы наблюдений, расчетные формулы, материалы для построения графиков и др.

Неподготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

### *Выполнение*

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдение следующих требований.

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и его параметрами, а также с измерительными приборами, необходимыми для проведения соответствующей лабораторной работы.
2. Сборку электрической схемы необходимо производить в точном соответствии с заданием. Целесообразно сначала соединить все элементы схемы, включаемые сначала последовательно, а затем параллельно. Электрические цепи, включаемые параллельно, рекомендуется соединять проводниками другого цвета.
3. После окончания сборки электрическая схема должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь в электрическую сеть можно только с разрешения преподавателя или инженера.

4. Показания приборов и результаты измерений студент заносит в свою рабочую тетрадь.
5. Разбирать электрическую схему, а также приступать к сборке новой можно только с разрешения преподавателя.
6. После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок.
7. В течение всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятий можно только с разрешения преподавателя.

### ***Оформление отчета***

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- наименование, цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- состав оборудования, перечень аппаратуры с указанием основных параметров, пределов измерений, класса точности и системы измерительных приборов;
- полученные расчетные значения, таблицы с экспериментальными данными, временные характеристики параметров;
- анализ полученных результатов, оформленных в виде выводов по работе.

Образец оформления титульного листа отчета дан в приложении.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой комплект типового лабораторного оборудования «Электрические измерения и качество электроэнергии в системах электроснабжения» ЭИКЭСЭС1-С-К, предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по учебным дисциплинам электроэнергетического профиля в учреждениях высшего образования.

Указанный лабораторный стенд позволяет выполнить базовые эксперименты с использованием комплекта типового лабораторного оборудования «Электрические измерения в системах электроснабжения». В ходе их выполнения собираются и опробуются наиболее часто применяемые на практике схемы включения щитовых амперметров, вольтметров, ваттметров, а также счетчиков электрической энергии.

### Технические характеристики стенда:

– потребляемая мощность, В · А, не более	1000
– электропитание от трехфазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжением, В	380±38
– электропитание от однофазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжением, В	220±22
– частота, Гц	50±0,5
– класс защиты от поражения электрическим током	1
– габаритные размеры, мм, не более:	
– длина	3650
– ширина	850
– высота	1600
– масса, кг, не более	250
– количество человек, которое одновременно и активно может работать на стенде	3

Аппаратная часть стенда выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит оборудование и блоки, указанные в таблице.

№	Наименование	Код	Кол-во
1	Трехфазный источник питания	201.2	1
2	Однофазный источник питания	218	1
3	Активная нагрузка	306.1	1
4	Модель линии электропередачи	313.2	2
5	Устройство продольной емкостной компенсации	315.2	1
6	Емкостная нагрузка	317.2	1
7	Индуктивная нагрузка	324.2	1
8	Блок диодов	332	1
9	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	2
10	Коммутатор измерителя мощностей	349	1
11	Фильтрокомпенсирующее устройство	392.3	3
12	Трансформатор тока	403.1	3
13	Измерительный преобразователь мощности	404	1
14	Трансформатор напряжения	405	3
15	Измеритель мощностей	507.2	1
16	Блок мультиметров	508.2	1
17	Вольтметр	512	1
18	Амперметр	513.1	1
19	Счетчик электрической энергии	514.1	1
20	Счетчик электрической энергии	515.1	1
21	Счетчик электрической энергии	516.1	1
22	Счетчик электрической энергии	517	1
23	Счетчик электрической энергии	518	1
24	Счетчик электрической энергии	519.1	1
25	Счетчик электрической энергии	520.1	1
26	Однофазный ваттметр	521	1
27	Трехфазный ваттметр	522	1
28	Трехфазный варметр	523	1

№	Наименование	Код	Кол-во
29	Измеритель параметров и показателей качества электроэнергии	525	1
30	Лабораторный стол с двухуровневой рамой	701	1
31	Лабораторный стол с двухсекционным контейнером и двухуровневой рамой	703	1
32	Лабораторный стол с приспособлениями для размещения компьютера и двухуровневой рамой	704	1
33	Набор аксессуаров для комплекта ЭИКЭСЭС1-С-К	875	1

Модульная конструкция обеспечивает возможность сборки электрической схемы требуемой конфигурации с необходимыми параметрами ее элементов и измерения параметров режима этой цепи.

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В современных условиях контроль за технологическими процессами, потреблением электрической энергии, режимом работы электрооборудования, измерением неэлектрических величин осуществляется с помощью различных электроизмерительных приборов.

Особое место в измерительной технике занимают электрические измерения. Современные энергетика (включая атомную) и электроника опираются на измерение электрических величин. Большинство неэлектрических величин легко преобразуются в электрические с целью использования электрических сигналов для индикации, регистрации, математической обработки измерительной информации, управления технологическими процессами и передачи результатов измерений на большие расстояния.

В перечень измеряемых электрических величин входят ток, напряжение, частота, отношение токов и напряжений, сопротивление, емкость, индуктивность, мощность и т. д.

По методу измерения различают электроизмерительные приборы непосредственной оценки и приборы сравнения (уравновешивания). На шкалах приборов указываются род тока, система прибора, его наименование, рабочее положение шкалы (вертикальное, горизонтальное, наклонное), испытательное напряжение изоляции.

По принципу действия различают магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, а также тепловые, индукционные, электронно-лучевые и другие электроизмерительные приборы.

Приборы *магнитоэлектрической* системы применяют для измерений в электрических цепях постоянного тока. Они имеют равномерную шкалу, высокую точность, весьма малую чувствительность к внешним магнитным полям, характеризуются малым собственным потреблением электрической энергии.

Приборы *электромагнитной* системы используют для измерений в электрических цепях постоянного и переменного токов. Они имеют неравномерную шкалу, относительно невысокую точность, на показания приборов существенное влияние оказывают внешние магнитные поля.

Приборы *электродинамической* системы применяются в цепях постоянного и переменного токов. Электроизмерительные приборы этой системы характеризуются наибольшей точностью и чувствительностью в сравнении с другими приборами, применяемыми в цепях переменного тока, их изготавливают главным образом в виде приборов класса точности 0,2 и 0,5. Вместе с тем на показания приборов электродинамической системы значительно влияют внешние магнитные поля, они имеют большой собственный расход электрической энергии. Разновидностью приборов электродинамической системы являются приборы ферродинамической системы, в которых катушки снабжены стальными сердечниками, что делает их показания практически независимыми от внешних магнитных полей.

Одной из важнейших характеристик электроизмерительных приборов является точность. Результаты измерений электрических величин неизбежно отличаются от истинного их значения вследствие соответствующих погрешностей (систематических, случайных, промахов и др.).

Различают основную погрешность, обусловленную несовершенством конструкции сложного прибора, и дополнительную погрешность, вызванную влиянием внешних факторов на показания приборов.

*Абсолютная* погрешность измерительного прибора представляет собой расхождение (разность) между измеренным  $A_{и}$  и действительным (истинным)  $A_{д}$  значениями измеряемой величины:  $\Delta A = A_{и} - A_{д}$ . Истинное значение измеряемой величины находят с учетом поправки. Поправка – это величина, обратная по знаку абсолютной погрешности:  $\Delta P = -\Delta A = A_{д} - A_{и}$ . Абсолютная погрешность не дает представления о точности измерения, которая оценивается по *относительной* погрешности измерения, представляющей собой отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины, выраженное в долях или в процентах от ее действительного значения:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_{д}} = \frac{A_{и} - A_{д}}{A_{д}} \cdot 100 \%.$$

Для повышения точности измерения величины на показывающих приборах со стрелочным указателем следует выбирать такие пределы измерения, чтобы отсчитывать показания примерно в пределах  $2/3$  всей шкалы.

Точность показывающих измерительных приборов определяется относительной приведенной погрешностью, выраженной в процентах, т. е. отношением абсолютной погрешности к номинальному значению  $A_{\text{ном}}$  измеряемой величины (наибольшей величины, которая может быть измерена прибором):

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{ном}}} \cdot 100 \% .$$

Электроизмерительные приборы подразделяются на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0, — указываемых на шкалах. Класс точности приборов определяют по приведенной погрешности.

Измерение тока в электрических цепях производится амперметрами, измерение ЭДС и напряжений — вольтметрами. Расширение пределов измерения амперметров в цепях постоянного тока осуществляется с помощью шунтов, а в цепях переменного тока — с помощью трансформаторов тока. Расширение пределов измерения вольтметров в цепях постоянного тока достигается применением добавочных сопротивлений, а в цепях переменного тока — трансформаторов напряжения.

При измерениях достаточно больших токов, когда измерительный прибор (амперметр, гальванометр) не рассчитан на такие токи, параллельно цепи прибора включаются шунты, представляющие собой сопротивление известной величины, обладающие относительно малым сопротивлением  $R_{\text{ш}}$ , по которому пропускается большая часть измеряемого тока. Распределение токов между прибором и шунтом  $I_{\text{а}}$  и  $I_{\text{ш}}$  обратно пропорционально сопротивлениям соответствующих ветвей:

$$\frac{I_{\text{а}}}{I_{\text{ш}}} = \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\text{а}}} .$$

При этом измеряемый ток  $I = I_a + I_{ш}$ . С учетом этого

$$I = I_a \left( 1 + \frac{R_a}{R_{ш}} \right) = K_{ш} I.$$

Шунтовый коэффициент  $K_{ш}$  для упрощения расчетов принимают равным 10, 100 или 1000.

В ряде случаев шкала амперметра градуируется с учетом наличия шунта, при этом измеряемый ток в электрической цепи отсчитывается непосредственно по шкале прибора.

Надо отметить, что измерительные шунты используются только в электрических цепях постоянного тока, так как в цепях переменного тока при измерениях вносится погрешность, обусловленная наличием индуктивной составляющей сопротивления шунта, которая увеличивается с изменением частоты тока, при этом погрешность измерения может оказаться существенной.

При необходимости измерения больших токов в электрических цепях переменного тока используются трансформаторы тока, которые, как амперметр, включаются последовательно с нагрузкой. В цепи первичной обмотки трансформатора тока с числом витков  $\omega_1$  проходит подлежащий измерению первичный ток  $I_1$ , при этом во вторичную обмотку трансформатора с числом витков  $\omega_2$  включается амперметр, в цепи которого протекает вторичный ток  $I_2$ . Вследствие этого трансформатор тока работает в режиме короткого замыкания. При этом можно считать магнитодвижущую силу (ампер-витки) первичной обмотки равной магнитодвижущей силе вторичной обмотки:  $I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$ , откуда с учетом коэффициента трансформации  $n$ , трансформатора измеряемый ток

$$I_1 = \frac{I_2 \omega_2}{\omega_1} = n I_2.$$

При измерениях достаточно больших напряжений, когда измерительный прибор (вольтметр, милливольтметр) не рассчитан на такие напряжения, последовательно с прибором включается добавочное сопротивление  $R_{д}$ , на котором падает большая часть измеряемого напряжения. По включенным последовательно добавочному сопротивлению и вольтметру протекает один и тот же ток, при этом отношение подводимого к цепи напряжения  $U$  к падению напряже-

ния  $U_B$  на вольтметре равно отношению суммарного сопротивления цепи к сопротивлению  $R_B$  вольтметра:

$$\frac{U}{U_B} = \frac{(R_B + R_D)}{R_B},$$

откуда измеряемое напряжение

$$U = U_B \left( 1 + \frac{R_D}{R_B} \right) = K_D U_B.$$

Добавочный коэффициент  $K_D$  показывает, во сколько раз увеличивается предел измерения напряжения вольтметра при использовании добавочного сопротивления  $R_D$ . Во избежание вносимой в процессе измерения напряжения погрешности добавочное сопротивление (по той же причине, что и шунт) следует использовать только в электрических цепях постоянного тока.

При измерениях высоких напряжений в электрических цепях переменного тока используются трансформаторы напряжения, первичная обмотка которых является обмоткой высшего напряжения, имеет большое число витков  $\omega_1$  и включается под измеряемое напряжение  $U_1$ . Вторичная обмотка трансформатора с меньшим числом витков  $\omega_2$  включается на зажимы вольтметра, показывающего вторичное напряжение  $U_2$ . При этом коэффициент трансформации трансформатора напряжения

$$n_U = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

откуда находим измеряемое высокое напряжение:

$$U_1 = n_U \cdot U_2.$$

Точность измерительных трансформаторов характеризуется погрешностью коэффициента трансформации, показывающего, на сколько действительное значение вторичной величины отличается от значения измеряемой первичной величины, деленной на номинальный коэффициент трансформации  $K_{U_{ном}}$  или  $K_{I_{ном}}$  соответствующего измерительного трансформатора.

Схемы включения ваттметров для измерения мощности в трехфазных цепях зависят от схемы питания потребителя (трехфазной трехпроводной или трехфазной четырехпроводной питающей

сети) и от схемы включения трехфазного потребителя («звезда» или «треугольник»).

Существуют три способа измерения мощности:

- 1) *одного прибора* – применим для однофазных и трехфазных сетей. Используется один одноэлементный ваттметр;
- 2) *двух приборов* – применим для трехфазных симметричных и несимметричных сетей и использует один двухэлементный ваттметр или два одноэлементных;
- 3) *трех приборов* – применим для трехфазных симметричных и несимметричных сетей. Используют три одноэлементных или один трехэлементный ваттметр. Для расширения пределов применяют трансформаторы тока и напряжения.

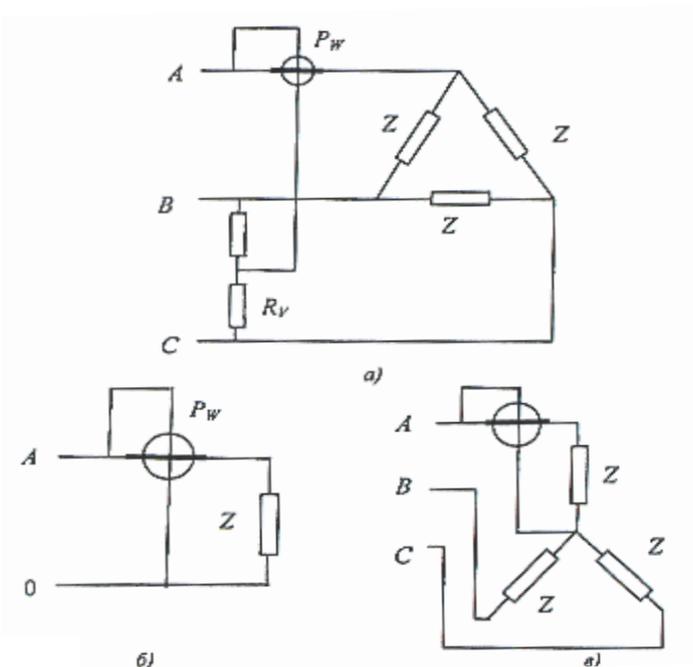


Рис. 1. Измерение мощности одним ваттметром:  
*a* – нагрузка включена в «треугольник»; *б* – однофазная сеть;  
*а* – нагрузка включена в «звезду»

Если нагрузка включена в «треугольник» (рис. 1, а),

$$P_W = 3U_\Phi \cdot 3I_\Phi \cos \varphi = 9U_\Phi I_\Phi \cos \varphi = 3\sqrt{3}U_{Л} I_\Phi \cos \varphi.$$

В этой схеме, где недоступна средняя точка, резисторы  $R_V$  образуют искусственную точку ( $R_V$  – сопротивление обмотки напряжения ваттметра).

Когда ваттметр измеряет мощность в однофазной сети (рис. 1, б),

$$P_W = U_\Phi I_\Phi \cos \varphi.$$

В случае, когда ваттметр измеряет мощность в трёхфазной сети с нагрузкой, включённой в «звезду» (рис. 1, в),

$$P_W = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi = \sqrt{3}U_{Л} I_\Phi \cos \varphi.$$

В однофазной силовоточной сети ваттметр включают через трансформаторы тока и напряжения (рис. 2).

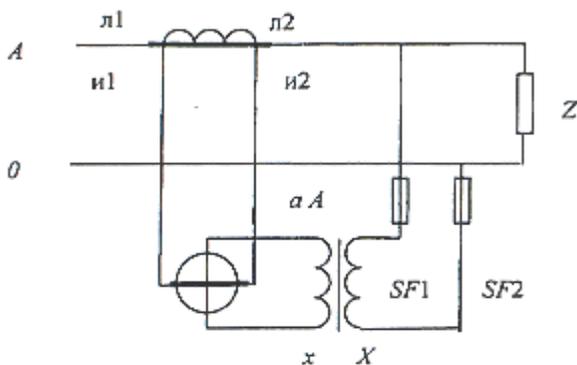


Рис. 2. Схема измерения мощности в силовоточной цепи

Здесь мощность, измеряемая ваттметром, находится по формуле

$$P = P_W K_U K_I.$$

Такая же схема подключения используется для ваттметра в трёхфазной сети.

Измерение мощности методом двух приборов или двухэлементным ваттметром показано на рис. 3, а.

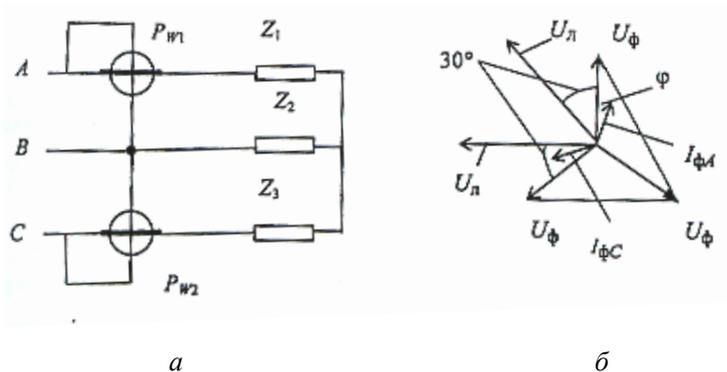


Рис. 3. Измерение мощности двумя ваттметрами или двухэлементным ваттметром (а) и векторная диаграмма (б)

Векторная диаграмма представлена на рис. 3, б, для  $Z_A = Z_B = Z_C$ . В этом случае:

$$P_{W1} = U_L I_{\Phi} \cos(30^\circ + \varphi);$$

$$P_{W2} = U_L I_{\Phi} \cos(30^\circ - \varphi);$$

$$P = P_{W1} + P_{W2} = 2U_L I_{\Phi} \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3}U_L I_{\Phi} \cos \varphi.$$

Здесь возможны измерения суммарной мощности при симметрии и несимметрии фаз.

Измерение мощности методом трех приборов или трехэлементным ваттметром показано на рис. 4 и применяется в трехфазной четырехпроводной сети.

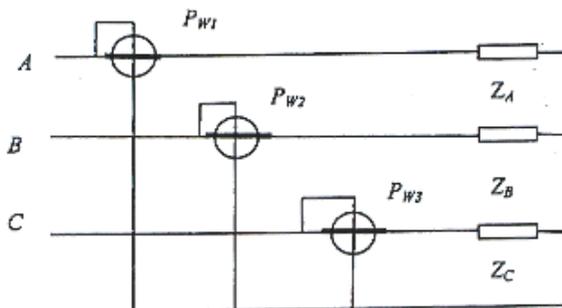


Рис. 4. Измерение активной мощности методом трех приборов в трехфазной четырехпроводной цепи

Очевидно, что

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = U_{\Phi1} I_{\Phi1} \cos \varphi_1 + U_{\Phi2} I_{\Phi2} \cos \varphi_2 + U_{\Phi3} I_{\Phi3} \cos \varphi_3.$$

Определив  $S = S_1 + S_2 + S_3 = U_{\Phi1} I_{\Phi1} + U_{\Phi2} I_{\Phi2} + U_{\Phi3} I_{\Phi3}$ , можно рассчитать коэффициент мощности:  $\cos \varphi = P / S$ .

При одинаковом обозначении в виде функции угла между напряжением и током коэффициент мощности вводится для трехфазной сети как отношение активной и полной мощностей.

**Учет активной и реактивной энергии** производится индукционными приборами с вращающимся диском и интегрирующим механизмом, а также электронными и микропроцессорными счетчиками. Самыми распространёнными являются индукционные счетчики, выпускаемые в трёх исполнениях: одноэлементные (однофазные), двухэлементные (трехфазные) и трехэлементные (трехфазные четырехпроводные).

Магнитные системы одно- и трехфазных счётчиков имеют одинаковое конструктивное исполнение, отличающееся от изложенного при описании конструкции индукционных механизмов. Взаимодействие потоков приведено на рис. 5.

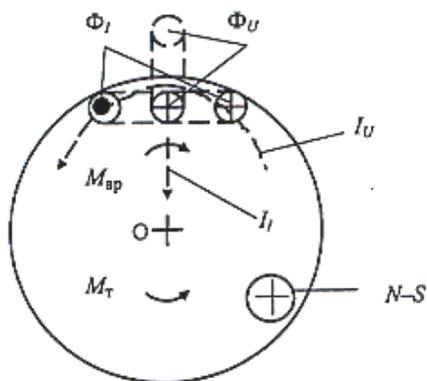


Рис. 5. Магнитная система счетчика

Индукционный счетчик появился в результате открытия Феррарисом явления вращения металлического немагнитного диска в результате взаимодействия двух переменных магнитных полей, сдвинутых по фазе. В настоящее время, несмотря на появление более

современных электронных и микропроцессорных приборов учета, он является штатным средством учета электроэнергии. Используется одна магнитная система, где происходит взаимодействие потока  $\Phi_U$  обмотки напряжения с потоком  $\Phi_I$ , дважды пронизывающим диск, который имеет ось вращения  $O$ . С вращающимся диском соединён интегрирующий механизм (счетчик), не показанный на рис. 5.

Индукционные токи  $I_U$  от  $\Phi_U$  и  $I_I$  от  $\Phi_I$  взаимодействуют с потоками, создавая вращающий момент  $M_{вр} = cf\Phi_U\Phi_I s!n\Psi$ , где  $\Psi$  – угол сдвига между  $\Phi_U$  и  $\Phi_I$ .

На линейной части кривой  $B(H)$  имеем:

$$\Phi_I = K_1 I, \quad \Phi_U = K_2 I_U = K_2 U / 2\pi f L = K_3 U / f,$$

поэтому  $M = KUI \sin \Psi$ .

Счётчик будет учитывать активную энергию, если

$$M = KUI \cos \Psi,$$

где  $\Psi$  – угол между  $\Phi_U$  и  $\Phi_I$ .

Так как  $\sin \Psi = \cos \varphi$ , если  $\Psi + \varphi = 90^\circ$ , то в реальной обмотке напряжения  $\beta$  – угол между  $\Phi_U$  и  $U$  – больше  $90^\circ$ , так как  $\beta = \Psi + \varphi + \alpha_I$ , причем  $\alpha_I$  – угол сдвига между  $\Phi_I$  и  $I$ . Регулируя в токовой обмотке сопротивление, добиваются:  $90^\circ = \beta - \alpha_I$ .

В этом случае  $M_{вр} = KUI \cos \varphi$ .

При вращении диска с угловой скоростью  $\omega = d\alpha / dt$  возникает основной тормозной момент от постоянного магнита  $M_T = K_4 d\alpha / dt$  и дополнительные тормозные моменты от токов резания, пропорциональные квадратам токов в обмотках  $U, I$ .

Пренебрегая дополнительными моментами, можно записать:

$$M_{вр} = KUI \cos \varphi = K_4 d\alpha / dt.$$

Далее, интегрируя, имеем:

$$K \int_0^t P dt = K_4 \int_0^{2nN} d\alpha$$

или  $E = Ph = CN$ , где  $C$  – постоянная, кВт · ч/об.

Передаточное число, указываемое на счетчике, – это число оборотов диска,  $N_0$ , приходящееся на 1 кВт · ч.

Другими словами, номинальная постоянная счетчика  $C_H = 36 \cdot 10^3$ :

$$Ph = C_H N; P = C_H n,$$

где  $n$  – частота вращения, об/с;  $N$  – число оборотов диска.

Таким образом, счётчики как штатные приборы могут служить средством учёта потребляемой энергии и измерения мощности. Подробнее теория индукционного счетчика изложена в специальной литературе.

Механизмы счетчиков имеют классы точности 0,5; 1; 2; 2,5, определяемые по результатам испытаний в диапазоне токовых нагрузок при  $\cos \varphi = 1$  и 0,5.

Диапазон допустимых нагрузок составляет 150–400 % от  $I/I_H$  для разных счетчиков. Подобный тангенциальный механизм используется во всех счетчиках.

Обозначения счетчиков таковы:

- СО (одноэлементный однофазный) – для учета активной энергии в однофазных цепях;
- СА3 (двухэлементный трехфазный) – для учета активной энергии в трехфазных трехпроводных цепях;
- СА4 (трехэлементный трехфазный) – для учета активной энергии в трехфазных четырехпроводных цепях;
- СР4 (трехэлементный трехфазный) – для учета реактивной энергии в трехфазных четырехпроводных цепях.

Универсальные счетчики, обозначаемые дополнительно буквой «У», могут включаться с различными трансформаторами тока и напряжения.

Счетчики, дополнительно обозначаемые буквой «Д», имеют телеметрический датчик импульсов.

Все счетчики для правильного включения имеют специальную маркировку зажимов обмоток напряжения и тока: «Г» – генератор, «Н» – нагрузка.

На рис. 6 показано прямое включение одноэлементного счетчика СО, на рис. 7 – включение двухэлементного трехфазного счетчика СА3 через трансформаторы тока и напряжения, на рис. 8 – прямое включение трехэлементного счетчика реактивной энергии СР3.

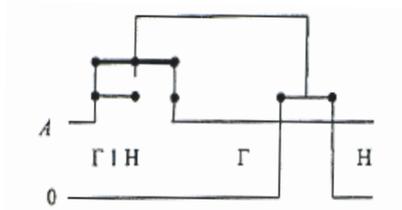


Рис. 6. Подключение однофазного счетчика СО

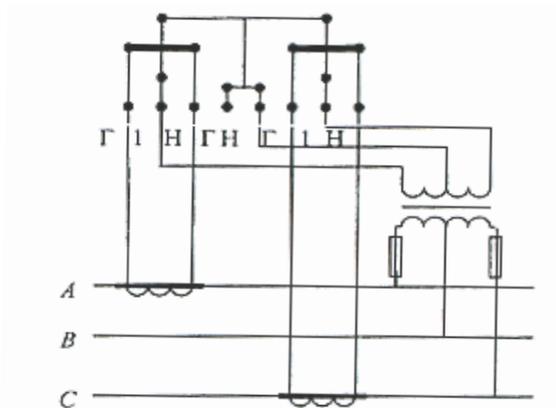


Рис. 7. Схема включения двухэлементного трехфазного счетчика СА3

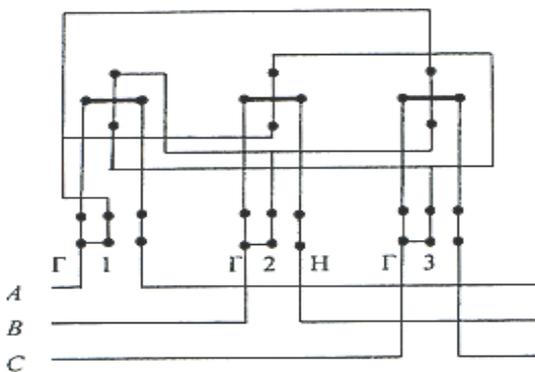


Рис. 8. Прямое включение трехэлементного счетчика реактивной энергии СР3

Измеряя активную и реактивную мощности в трехфазной сети по частотам вращения дисков счетчиков активной и реактивной энергии  $W_a$ ,  $W_p$ , можно измерить коэффициент мощности  $\text{tg } \varphi$ . Для этого необходимо рассчитать постоянные счетчиков, учитывая коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, и за интервал времени  $t_H$  определить число оборотов дисков счетчиков активной и реактивной энергии  $N_{c.a}$ ,  $N_{c.p}$ :

$$W_a = \frac{C_{\text{ном}} N_{c.a}}{t_{H1}}, \quad W_p = \frac{C_{\text{ном}} N_{c.p}}{t_{H2}}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{W_a}{W_p}.$$

Учет энергии с помощью индукционных счетчиков возможен с сохранением класса точности только на синусоидальном токе при спокойном характере нагрузки. При наличии высших гармоник и нестационарных процессов эти счетчики дают значительную погрешность.

В последнее время появились различные микропроцессорные счетчики АББ ВЭИ «Метроника» и другие, основанные на интегральных схемах специального назначения, предназначенные для промышленного учета потребления электроэнергии энергоемкими потребителями.

### Содержание отчета

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

### Рекомендуемая литература

1. Информационно-измерительная техника и электроника : учеб. для вузов / Г.Г. Раннев [и др.] ; под ред. Г.Г. Раннева. – М. : Академия, 2006. – 511 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений : учеб. для вузов / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2006. – 331 с.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев. – 4-е изд., испр. – М. : РадиоСофт, 2004. – 383 с.
4. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 1 / под общ. ред. В.Г. Герасимова [и др.]. – 9-е изд., стер. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 439 с.
5. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 2 / под общ. ред. В.Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 517 с.
6. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.] ; под ред. Ю.В. Шарова. – М. : Изд. дом МЭИ, 2006. – 319 с.

# Лабораторная работа 1

## Измерение переменного тока и напряжения с помощью щитового амперметра и вольтметра

*Целью работы* является знакомство с измерительными приборами непосредственного отсчета (амперметрами и вольтметрами), методикой измерения токов и напряжений в системах электропитания.

### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами измерения токов и напряжений, принципом действия приборов непосредственной оценки для измерения токов и напряжений.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, система, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).
3. Собрать схему и показать для проверки руководителю.
4. Измерить с помощью измерительных приборов непосредственного отсчета (амперметров и вольтметров) токи и напряжения на участках электрической цепи. При проведении опыта снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

### Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Измерение переменного тока с помощью щитового амперметра включением непосредственно в сеть.

#### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт
P1	Амперметр	513.1	0...1 А

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 1, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнёзда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 1.1) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте амперметром P1 протекающий через активную нагрузку A1 ток. Результаты занесите в табл. 1.1.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

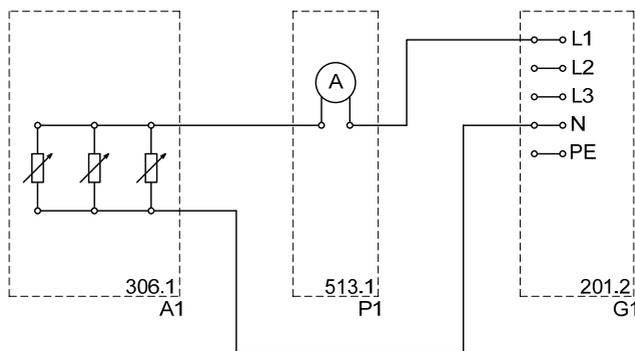


Рис. 1.1. Схема включения амперметра непосредственно в сеть

Таблица 1.1

Номер измерения	1	2	3
$I, A$			
$P_{НАГР} Вт$			

**Опыт 2.** Измерение переменного тока с помощью щитового амперметра включением через трансформатор тока.

*Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт
A2	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ $U_{\text{раб}} = \sim 660 \text{ В} / S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
P1	Амперметр	513.1	0...1 А

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 2, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 1.2) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте амперметром P1 протекающий через активную нагрузку A1 ток.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 60 и 80 % от (3×50) Вт. Данные измерений занесите в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Номер измерения	1	2	3
$I_{\text{изм}}, \text{ А}$			
$P_{\text{нагр}}, \text{ Вт}$			

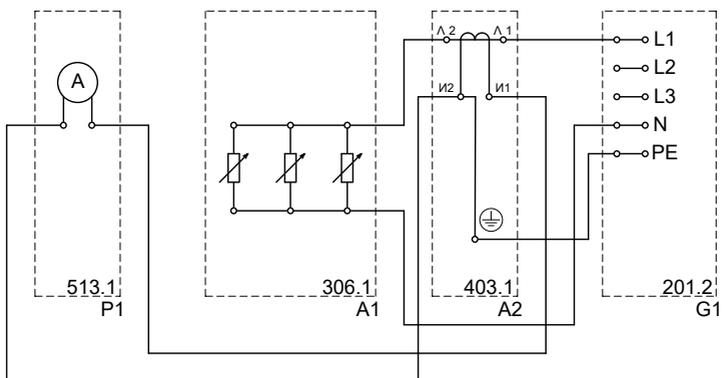


Рис. 1.2. Схемы включения амперметра через трансформатор тока

**Опыт 3.** Измерение переменного напряжения с помощью щитового вольтметра включением непосредственно в сеть.

*Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
P1	Вольтметр	512	0...500 В

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 3, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 1.3) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
5. Измерьте вольтметром P1 линейное напряжение источника питания G1.
6. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

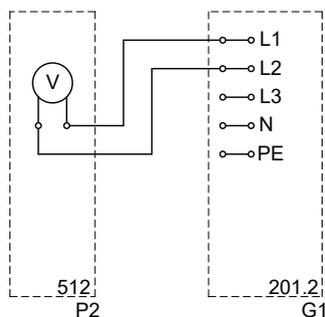


Рис. 1.3. Схема включения вольтметра непосредственно в сеть

**Опыт 4.** Измерение переменного напряжения с помощью щитового вольтметра включением через трансформатор напряжения.

### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A3	Трансформатор напряжения	405	380/380 (220) В/ $S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
P1	Вольтметр	512	0...500 В

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 4, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 1.4) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
5. Измерьте вольтметром P1 линейное напряжение источника питания G1.
6. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

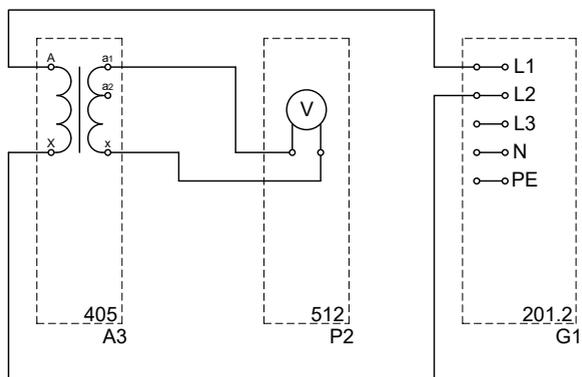


Рис. 1.4. Схема включения вольтметра через трансформатор напряжения

### *Обработка результатов опытов*

По результатам измерений вычислить расчетные значения величин:

а) при включении приборов непосредственно в сеть:

- сопротивление нагрузки, Ом,

$$R_{\text{нагр}} = P_{\text{нагр}} / I_{\text{изм}}^2;$$

- амплитудное значение тока, А,

$$I_m = \sqrt{2} I_{\text{изм}};$$

- действующее значение фазного напряжения сети, В,

$$U_{\Phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3};$$

- амплитудное значение фазного напряжения сети, В,

$$U_{m\Phi} = \sqrt{2} U_{\Phi};$$

- амплитудное значение линейного напряжения сети, В,

$$U_{m\text{л}} = \sqrt{2} U_{\text{л}};$$

б) при включении приборов через трансформаторы тока и напряжения:

- действующее значение фазного тока, А,

$$I_{\Phi} = k_I I_{\text{изм}};$$

- действующее значение линейного напряжения, В,

$$U_{\text{Л}} = k_U U_{\text{Изм}},$$

где  $k_I$  и  $k_U$  – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;

- абсолютную, относительную и приведенную погрешности, вносимые трансформаторами тока и напряжения:

$$\Delta A_I = I - I_{\text{ТТ}}; \beta = (\Delta A / I_{\text{ТТ}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A / I_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%;$$

$$\Delta A_U = U - U_{\text{ТН}}; \beta = (\Delta A / U_{\text{ТН}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A / U_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%.$$

Результаты вычислений занести в табл. 1.3–1.5.

Таблица 1.3

Номер измерения	Ток $I_{\text{изм}}$ , А		Вычисления			
	непосредственно к сети	через трансформатор тока	непосредственно к сети		через трансформатор тока	
			$R_{\text{нагр}}$ , Ом	$I_m$ , А	$R_{\text{нагр}}$ , Ом	$I_m$ , А
1						
2						
3						

Таблица 1.4

Измерения		Вычисления		
		$U_{\phi}$ , В	$U_{\text{мф}}$ , В	$U_{\text{мл}}$ , В
$U_{\text{л}}$ , В				
$U_{\text{л ТН}}$ , В				

Таблица 1.5

Ток			Напряжение		
$\Delta A_p$ , А	$\beta$ , %	$\gamma$ , %	$\Delta A_U$ , В	$\beta$ , %	$\gamma$ , %

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды средств электрических измерений вам известны?
2. Какие методы измерений используются?
3. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
4. Что такое класс точности средства измерения?
5. Какие типы аналоговых приборов используются в электроснабжении?
6. Почему в качестве щитовых приборов чаще используют электромагнитные приборы?
7. Чем отличаются электродинамические и ферродинамические приборы?
8. Что такое масштабирующие преобразователи? Приведите пример.
9. На каком токе градуируют выпрямительные приборы?
10. Для какой цели используют трансформаторы тока и напряжения?
11. Какое значение переменного тока регистрируют амперметры электромагнитной системы?

## Лабораторная работа 2

### Измерение активной мощности однофазного переменного тока с помощью щитового ваттметра

*Целью работы* является знакомство с измерительными приборами непосредственного отсчета для измерения активной мощности (ваттметрами), методикой измерения активной мощности в сетях однофазного переменного тока.

#### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами измерения активной мощности в сетях однофазного переменного тока, принципом действия приборов непосредственной оценки для измерения активной мощности.

2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, система, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).

3. Собрать схему и показать для проверки руководителю.

4. Измерить с помощью измерительных приборов непосредственного отсчета (ваттметров) потребляемую нагрузкой активную мощность. При проведении опыта снять показания приборов и проинвестировать обработку экспериментальных результатов.

5. Составить краткие выводы по работе.

#### Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Измерение переменного тока с помощью щитового амперметра включением непосредственно в сеть.

#### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	$\sim 400 \text{ В} / 16 \text{ А}$
A1	Активная нагрузка	306.1	$220 \text{ В} / 3 \times 0 \dots 50 \text{ Вт}$
P3	Однофазный ваттметр	521	$0 \dots 200 \text{ Вт} / U_{\text{н}} = \sim 220 \text{ В} / I_{\text{н}} = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 1, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 2.1) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

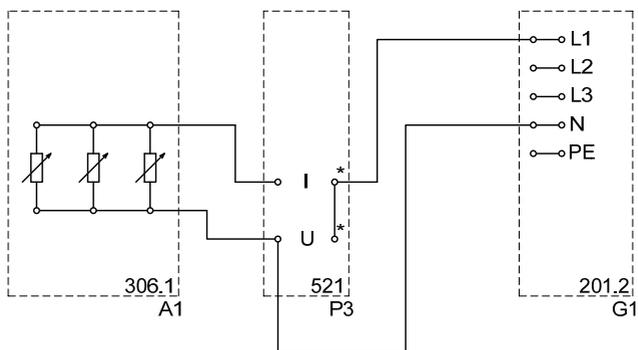


Рис. 2.1. Схемы включения однофазного ваттметра непосредственно в сеть

6. Измерьте ваттметром P3 потребляемую нагрузкой A1 активную электрическую мощность. Результаты занесите в табл. 2.1.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

Таблица 2.1

Номер измерений	1	2	3
$P_{\text{изм}}$ , Вт			
$P_{\text{нагр}}$ , Вт			

**Опыт 2.** Измерение активной мощности переменного тока в однофазной сети с помощью щитового амперметра включением в сеть через трансформатор тока.

*Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт
A2	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ $U_{\text{раб}} = \sim 660 \text{ В} / S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
P3	Однофазный ваттметр	521	0...200 Вт/ $U_{\text{н}} = \sim 220 \text{ В} / I_{\text{н}} = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 2, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 2.2) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте ваттметром P3 потребляемую нагрузкой A1 активную электрическую мощность.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 60 и 80 % от (3×50) Вт. Данные измерений занесите в табл. 2.2.

Номер измерений	1	2	3
$P_{\text{ИЗМ}}$ , Вт			
$P_{\text{НАГР}}$ , Вт			

### Обработка результатов опытов

По результатам измерений вычислите:

а) измеренное значение активной мощности, Вт, при включении приборов через трансформатор тока и напряжения:

$$P = k_I P_{\text{ИЗМ}},$$

где  $k_I$  – коэффициент трансформации трансформатора тока;

б) абсолютную, относительную и приведенную погрешности ваттметра, включенного по схеме, данной на рис. 2.1:

$$\Delta A_p = P_{\text{ИЗМ}} - P_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_p / P_{\text{НАГР}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A_p / P_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%;$$

в) абсолютную, относительную и приведенную погрешности ваттметра, включенного по схеме, приведенной на рис. 2.2:

$$\Delta A_p = k_I P_{\text{ИЗМ}} - P_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_p / k_I P_{\text{НАГР}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A_p / P_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%.$$

Результаты вычислений занести в табл. 2.3–2.4.

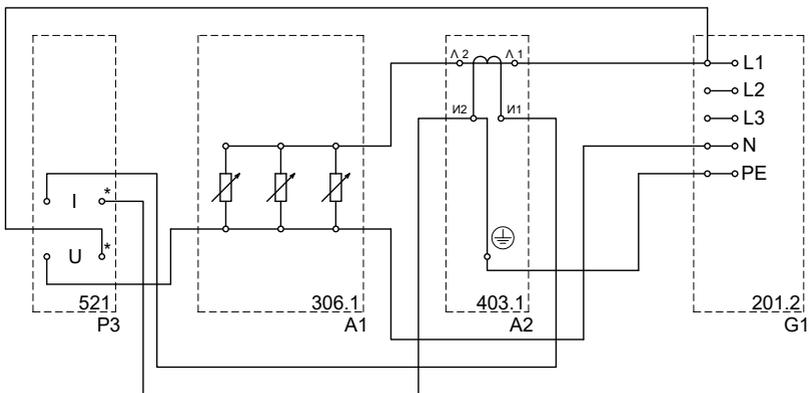


Рис. 2.2. Схема включения однофазного ваттметра через трансформатор тока

Таблица 2.3

Номер измерения	Схема непосредственного включения в сеть			Схема включения через трансформатор тока		
	1	2	3	1	2	3
$P$ , Вт						
$P_{\text{НАГР}}$ Вт						

Таблица 2.4

Схема по рис. 2.1			Схема по рис. 2.2		
$\Delta A$ , Вт	$\beta$ , %	$\gamma$ , %	$\Delta A$ , Вт	$\beta$ , %	$\gamma$ , %

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды средств электрических измерений вам известны?
2. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
3. Что такое класс точности средства измерения?
4. Какие типы аналоговых приборов используются в энергоснабжении?
5. Почему в качестве щитовых приборов чаще используют электромагнитные приборы?
6. Чем отличаются электродинамические и ферродинамические приборы?
7. Для какой цели используют трансформаторы тока и напряжения?
8. В каких регистрирующих приборах используют ферродинамический механизм?
9. Какие способы измерения мощности вам известны?
10. Где возможно измерение мощности одним ваттметром?
11. Где и как можно измерить реактивную мощность одним ваттметром?

## Лабораторная работа 3

### Измерение активной мощности трехфазного переменного тока в трехпроводной сети с помощью щитового ваттметра

*Целью работы* является знакомство с измерительными приборами непосредственного отсчета для измерения активной мощности (ваттметрами), методикой измерения активной мощности в трехпроводной сети трехфазного переменного тока.

#### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами измерения активной мощности в трехпроводных сетях трехфазного переменного тока, принципом действия приборов непосредственной оценки для измерения активной мощности.

2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, система, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).

3. Собрать схему и показать для проверки руководителю.

4. Измерить с помощью измерительных приборов непосредственного отсчета (ваттметров) потребляемую нагрузкой активную мощность. При проведении опыта снять показания приборов и проинвестировать обработку экспериментальных результатов.

5. Составить краткие выводы по работе.

#### Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Измерение активной мощности в трехпроводной сети трехфазного переменного тока с помощью щитового ваттметра включением непосредственно в сеть.

#### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	$\sim 400 \text{ В} / 16 \text{ А}$
A1	Активная нагрузка	306.1	$220 \text{ В} / 3 \times 0 \dots 50 \text{ Вт}$
P4	Трехфазный ваттметр	522	$0 \dots 600 \text{ Вт} / U_{\text{н}} = \sim 380 \text{ В} / I_{\text{н}} = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 1, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 3.1) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте ваттметром P4 потребляемую нагрузкой A1 активную электрическую мощность.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 60 и 80 % от (3×50) Вт. Данные измерений занесите в табл. 3.1.

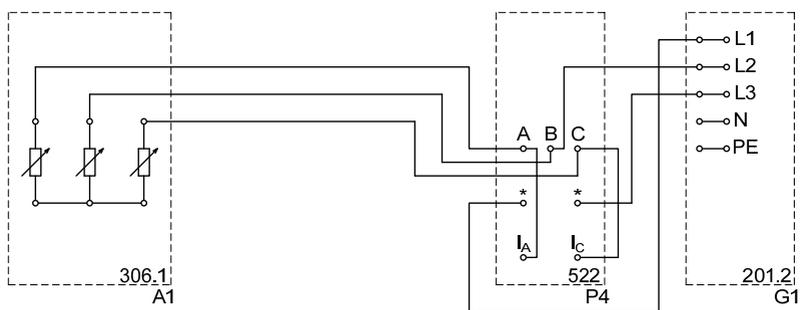


Рис. 3.1. Схема включения трехфазного ваттметра непосредственно в трехпроводную сеть

Таблица 3.1

Номер измерения	1	2	3
$P_{\text{ИЗМ}}$ , Вт			
$P_{\text{НАГР}}$ , Вт			

**Опыт 2.** Измерение активной мощности трехфазного переменного тока с помощью щитового ваттметра включением через трансформаторы тока и напряжения в трехпроводную сеть (рис. 3.2).

*Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт
A2, A5	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ $U_{\text{раб}} = \sim 660 \text{ В} / S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
A3, A6	Трансформатор напряжения	405	380/380(220) В/ $S_{\text{н}} = 5 \text{ ВА}$
P4	Трехфазный ваттметр	522	0...600 Вт/ $U_{\text{н}} = \sim 380 \text{ В} / I_{\text{н}} = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 2, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнёзда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 3.8), проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 30 Вт (60 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте ваттметром P4 потребляемую нагрузкой A1 активную электрическую мощность. Результаты занесите в табл. 3.2.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 60 и 80 % от (3×50) Вт. Данные измерений занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Номер измерения	1	2	3
$P_{\text{ИЗМ}}$ , Вт			
$P_{\text{НАГР}}$ , Вт			

### Обработка результатов опытов

По результатам измерений вычислить значения величин и записать в табл. 3.3:

а) значение активной мощности, Вт, измеренное при включении прибора через трансформатор тока и напряжения:

$$P = k_I k_U P_{\text{ИЗМ}}$$

где  $k_I$ ,  $k_U$  – коэффициенты трансформации трансформатора тока и напряжения;

б) абсолютную, относительную и приведенную погрешности ваттметра, включенного по схеме, данной на рис. 3.1:

$$\Delta A_P = P_{\text{ИЗМ}} - P_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_P / P_{\text{ИЗМ}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A_P / P_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%;$$

в) абсолютную, относительную и приведенную погрешности ваттметра, включенного по схеме, приведенной на рис. 3.2:

$$\Delta A_P = k_I k_U P_{\text{ИЗМ}} - P_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_P / k_I k_U P_{\text{ИЗМ}}) \cdot 100 \%; \\ \gamma = (\Delta A_P / P_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%.$$

Таблица 3.3

Схема по рис. 3.1			Схема по рис. 3.2		
$\Delta A$ , Вт	$\beta$ , %	$\gamma$ , %	$\Delta A$ , Вт	$\beta$ , %	$\gamma$ , %

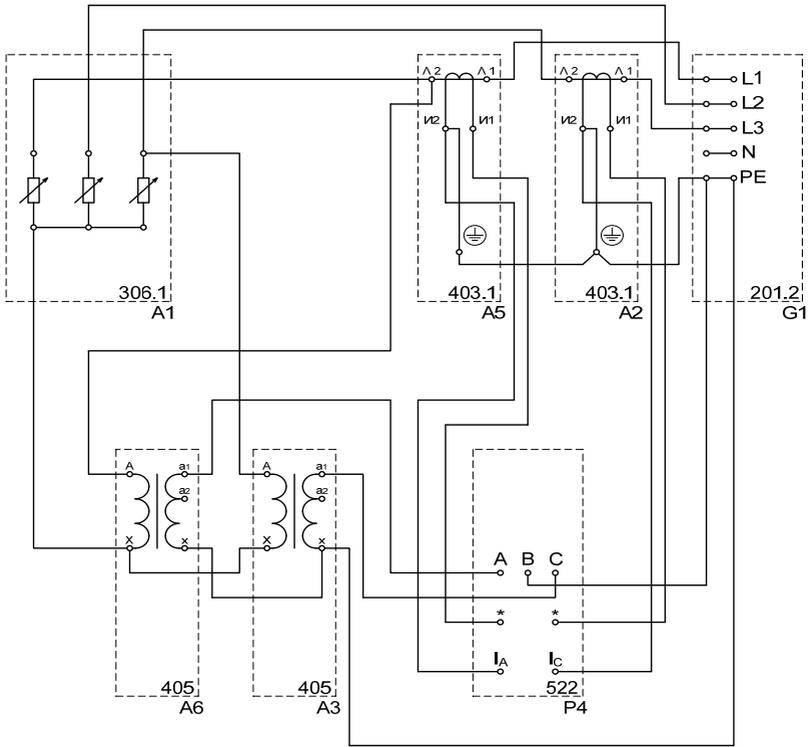


Рис. 3.2. Схема включения трехфазного ваттметра через трансформаторы тока и напряжения в трехпроводную сеть

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды средств электрических измерений вам известны?
2. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
3. Что такое класс точности средства измерения?
4. Какие типы аналоговых приборов используются в энергоснабжении?
5. Почему в качестве щитовых приборов чаще используют электромагнитные приборы?
6. Чем отличаются электродинамические и ферродинамические приборы?
7. Для какой цели используют трансформаторы тока и напряжения?
8. В каких регистрирующих приборах используют ферродинамический механизм?
9. Какие способы измерения мощности вам известны?
10. Где возможно измерение мощности одним ваттметром?
11. Где и как можно измерить реактивную мощность одним ваттметром?

## Лабораторная работа 4

### Измерение реактивной мощности трехфазного переменного тока в трехпроводной сети с помощью щитового варметра

*Целью работы* является знакомство с измерительными приборами непосредственного отсчета, предназначенными для измерения реактивной мощности (варметрами), методикой измерения реактивной мощности трехфазного переменного тока в трехпроводной сети.

#### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами измерения реактивной мощности в трехпроводных сетях трехфазного переменного тока, принципом действия приборов непосредственной оценки для измерения реактивной мощности.

2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, система, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).

3. Собрать схему и показать для проверки руководителю.

4. Измерить с помощью измерительных приборов непосредственного отсчета (варметров) потребляемую нагрузкой реактивную мощность. При проведении опыта снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.

5. Составить краткие выводы по работе.

#### Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Измерение реактивной мощности в трехпроводной сети с помощью трехфазного варметра включением непосредственно в сеть.

#### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A7	Индуктивная нагрузка	324.2	220 В/ 3×0...40 вар
P5	Трехфазный варметр	523	0...600 Вт/ $U_H = \sim 380 \text{ В} / I_H = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 1, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 4.1) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 20 Вт (50 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте варметром P5 потребляемую нагрузкой A1 реактивную электрическую мощность.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 50 и 75 % от (3×40) вар. Данные измерений занесите в табл. 4.1.

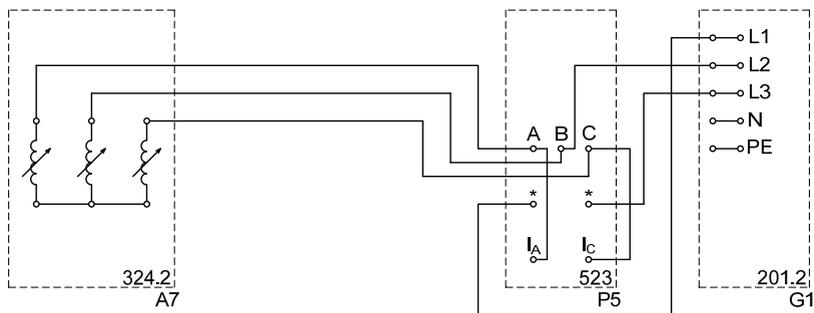


Рис. 4.1. Схема включения трехфазного варметра непосредственно в трехпроводную сеть

Таблица 4.1

Номер измерения	1	2	3
$Q_{\text{ИЗМ}}$ , вар			
$Q_{\text{НАГР}}$ , вар			

**Опыт 2.** Измерение реактивной мощности трехфазного переменного тока с помощью щитового варметра включением через трансформаторы тока и напряжения в трехпроводную сеть.

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A2, A5	Трансформатор тока	403.1	$U_{\text{раб}} = \sim 660 \text{ В} / S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
A3, A6	Трансформатор напряжения	405	$380/380(220) \text{ В} / S_{\text{н}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$
A7	Индуктивная нагрузка	324.2	220 В; 50 Гц/ 3×0...40 вар
P5	Трехфазный варметр	523	0...600 вар/ $U_{\text{н}} = \sim 380 \text{ В} / I_{\text{н}} = 1,0 \text{ А}$

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 2, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 4.2) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 20 Вт (50 %).
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Измерьте варметром P5 потребляемую нагрузкой A1 реактивную электрическую мощность.
7. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
8. Повторите замеры тока для мощностей нагрузки 50 и 75 % от (3×40) вар. Данные измерений занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Номер измерения	1	2	3
$Q_{\text{ИЗМ}}$ , вар			
$Q_{\text{НАГР}}$ , вар			

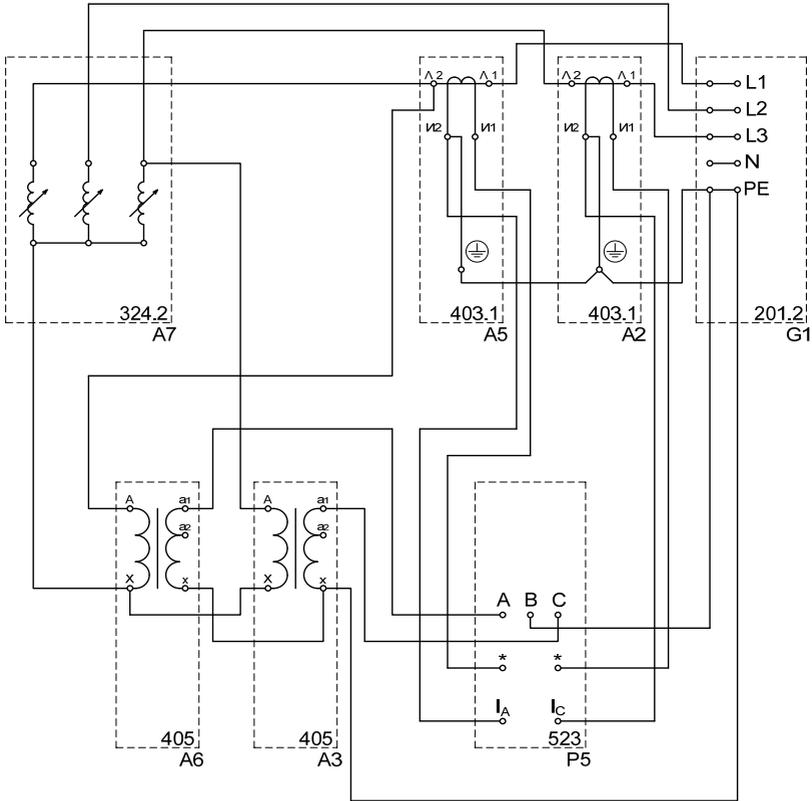


Рис. 4.2. Схема включения трехфазного варметра через трансформаторы тока и напряжения в трехпроводную сеть

### Обработка результатов опытов

1. По результатам измерений вычислить значения величин:

а) значение реактивной мощности, Вт, измеренное при включении прибора через трансформатор тока и напряжения:

$$P = k_I k_U Q_{\text{ИЗМ}},$$

где  $k_I, k_U$  – коэффициенты трансформации трансформатора тока и напряжения;

б) абсолютную, относительную и приведенную погрешности варметра, включенного по схеме, данной на рис. 4.1:

$$\Delta A_Q = Q_{\text{ИЗМ}} - Q_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_Q / Q_{\text{ИЗМ}}) \cdot 100 \%; \gamma = (\Delta A_Q / Q_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%;$$

в) абсолютную, относительную и приведенную погрешности варметра, включенного по схеме, приведенной на рис. 4.2:

$$\Delta A_Q = k_I k_U Q_{\text{ИЗМ}} - Q_{\text{НАГР}}; \beta = (\Delta A_Q / k_I k_U Q_{\text{ИЗМ}}) \cdot 100 \%; \\ \gamma = (\Delta A_Q / Q_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \%.$$

2. Результаты вычислений занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Схема по рис. 4.1			Схема по рис. 4.2		
$\Delta A$ , вар	$\beta$ , %	$\gamma$ , %	$\Delta A$ , вар	$\beta$ , %	$\gamma$ , %

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды средств электрических измерений вам известны?
2. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
3. Что такое класс точности средства измерения?
4. Какие типы аналоговых приборов используются в энергоснабжении?
5. Почему в качестве щитовых приборов чаще используют электромагнитные приборы?
6. Чем отличаются электродинамические и ферродинамические приборы?
7. Для какой цели используют трансформаторы тока и напряжения?
8. В каких регистрирующих приборах используют ферродинамический механизм?
9. Какие способы измерения реактивной мощности вам известны?
10. Где возможно измерение реактивной мощности одним варметром?
11. Где и как можно измерить реактивную мощность одним ваттметром?

## **Лабораторная работа 5**

### **Измерение активной электрической энергии однофазного переменного тока с помощью индукционного и электронного счетчиков**

*Целью работы* является знакомство с измерительными приборами непосредственного отсчета для измерения активной электрической энергии однофазного переменного тока (индукционные и электронные счетчики), методикой измерения активной электрической энергии однофазного переменного тока.

#### **Программа работы**

1. Ознакомиться с теорией и методами измерения активной электрической энергии однофазного переменного тока, принципом действия приборов непосредственной оценки для измерения активной электрической энергии.

2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, система, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).

3. Собрать схему и показать для проверки преподавателю.

4. Измерить с помощью измерительных приборов непосредственного отсчета (индукционного и электронного счетчиков) потребляемую нагрузкой активную электрическую энергию однофазного переменного тока. При проведении опыта снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.

5. Составить краткие выводы по работе.

## Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Измерение активной электрической энергии однофазного переменного тока с помощью индукционного счетчика.

### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В/3×0...50 Вт
P8	Счетчик электрической энергии	517	Электронный/ однофазный/ активной энергии 220 В/ 5–50 А

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 1, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 5.1) проводниками, входящими в комплект стенда.
4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, 100 % от (3×50) Вт.
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. Следите за счетчиком P8. При правильном включении счетчика его диск будет вращаться вправо по стрелке.
7. Снимите показания счетчика с интервалом времени 15 минут. Посчитайте число оборотов счетчика за время измерения (15 минут). Данные измерений занесите в табл. 5.1.
8. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

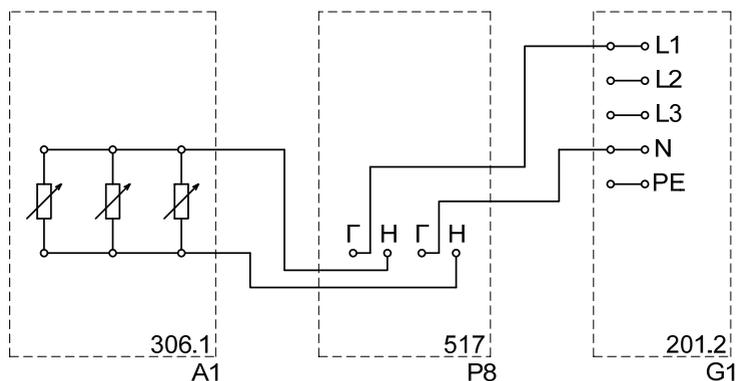


Рис. 5.1. Схема включения однофазного индукционного счетчика активной электрической энергии

**Опыт 2.** Измерение активной электрической энергии однофазного переменного тока с помощью электронного счетчика.

### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В/ 3×0...50 Вт
P6.1	Блок мультиметров	508.2	1 мультиметр –0...1000 В/0...10 А
p9	Счетчик электрической энергии	518	Электронный/ одно- фазный/ активной энергии 220 В / 5...50 А

1. Убедитесь, что устройства, используемые в опыте 2, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» трехфазного источника питания G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой включения (рис. 5.2) проводниками, входящими в комплект стенда.

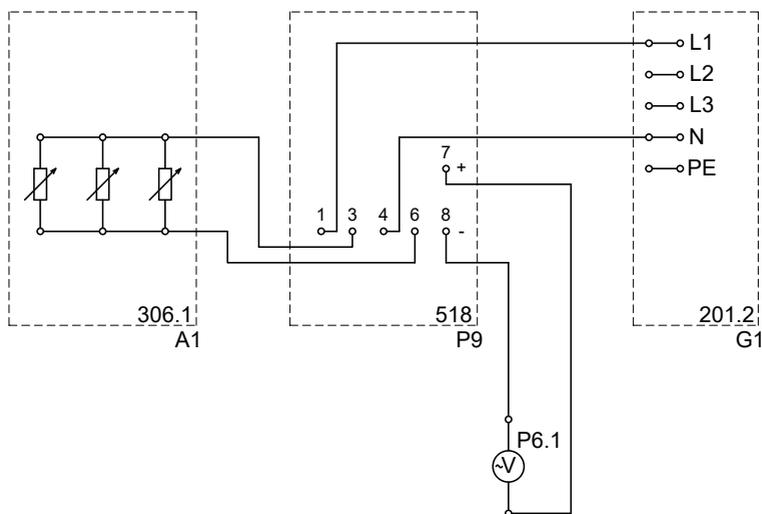


Рис. 5.2. Схема включения однофазного электронного счетчика активной электрической энергии

4. Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки А1, 60 % от (3×50) Вт.
5. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
6. С помощью вольтметра блока мультиметров Р6.1 наблюдайте появление напряжения на информационном выходе (гнезда 7 и 8) счетчика 518 при свечении его светодиода и исчезновение напряжения при погасании светодиода.
7. Снимите показания счетчика с интервалом 15 минут. Подсчитайте число импульсов за время измерения (15 минут). Данные измерений занесите в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Схема измерения	Измерения		
	Начальное значение, $W_H$ ( $t = 0$ мин)	Конечное значение, $W_K$ ( $t = 15$ мин)	Число оборотов, $n$ (импульсов), $n$
Индукционный счетчик			
Электронный счетчик			

8. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

### *Обработка результатов опытов*

1. По результатам измерений вычислить значения величин:

а) измеренное значение активной электрической энергии (прямой метод измерения), кВт · ч,

$$W_{\text{ИЗМ}} = W_{\text{К}} - W_{\text{Н}};$$

б) расчетное значение потребляемой активной энергии, кВт · ч,

$$W_{\text{Р}} = P_{\text{НАГР}} t;$$

в) измеренное значение активной электрической энергии (косвенный метод измерения), кВт · ч,

$$W_{\text{ИЗМ.1}} = n / A_{\text{СЧ}};$$

г) абсолютную и относительную погрешности счетчика,

$$\Delta A = W_{\text{ИЗМ.1}} - W_{\text{Р}}; \quad \beta = (\Delta A / W_{\text{Р}}) \cdot 100 \%$$

2. Результаты вычислений занести в табл. 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2

Схема по рис. 5.1		Схема по рис. 5.2	
W <sub>ИЗМ</sub> , кВт · ч		W <sub>ИЗМ</sub> , кВт · ч	
W, кВт · ч		W, кВт · ч	
W <sub>ИЗМ.1</sub> , кВт · ч		W <sub>ИЗМ.1</sub> , кВт · ч	

Таблица 5.3

Схема по рис. 5.1		Схема по рис. 5.2	
ΔA, кВт · ч	β, %	ΔA, кВт · ч	β, %

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды средств электрических измерений вам известны?
2. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
3. Что такое класс точности средства измерения?
4. Какие типы аналоговых приборов используются в энергоснабжении?
5. Почему в качестве щитовых приборов чаще используют электромагнитные приборы?
6. Чем отличаются электродинамические и ферродинамические приборы?
7. Для какой цели используют трансформаторы тока и напряжения?
8. В каких регистрирующих приборах используют ферродинамический механизм?
9. Какие виды счетчиков используются для измерения электрической энергии?
10. Как выглядит кривая погрешности индукционного счетчика?
11. Каковы возможности и области применения электронных и микропроцессорных счетчиков?
12. Что такое передаточное число счетчика?
13. Что такое постоянная счетчика?

*Пример оформления титульного листа*

ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Институт химии и энергетики  
Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

Отчет о лабораторной работе № 1

Исследование свойств полупроводникового диода  
в составе однополупериодного выпрямителя и светодиода  
по дисциплине «Информационно-измерительные приборы  
в электроэнергетике»

Студент: Иванов А.В.

Группа: ЭЭТб-1601 б

Преподаватель: Петров Д.А.

Тольятти 202\_\_ г.