

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА  
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра физики и автоматики

# МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ПРАКТИКУМ

*Для контактной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленности (профили) «Информационные технологии в электроэнергетике» и «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения*

КАРАВАЕВО  
Костромская ГСХА  
2021

УДК 621.3. 01  
ББК 30.10  
М 54

*Составители:* сотрудники Костромской ГСХА канд. техн. наук, доцент, декан электроэнергетического факультета, доцент кафедры физики и автоматики *А.В. Рожнов*, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий в электроэнергетике *А.С. Яблоков*.

*Рецензент:* канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ремонта и основ конструирования машин Костромской ГСХА *Г.С. Березовский*.

*Рекомендовано методической комиссией электроэнергетического факультета в качестве практикума для контактной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленности (профили) «Информационные технологии в электроэнергетике» и «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения*

**М 54      Метрология, стандартизация и сертификация :** практикум / сост. А.В. Рожнов, А.С. Яблоков. — Караваево : Костромская ГСХА, 2021. — 88 с. ; 20 см. — 100 экз. — Текст непосредственный.

В издании приводятся краткие теоретические сведения, порядок выполнения лабораторных работ, перечень контрольных вопросов для самопроверки.

Практикум предназначен для контактной и самостоятельной работы студентов направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленности (профили) «Информационные технологии в электроэнергетике» и «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения.

УДК 621.3. 01  
ББК 30.10

## Оглавление

Введение .....	4
Общие требования по технике безопасности.....	5
Лабораторная работа 1 Изучение лабораторного стенда ЛСОЭ-4.....	6
Лабораторная работа 2 Поверка электроизмерительных приборов.....	10
Лабораторная работа 3 Изучение устройства и работы индукционных счетчиков электрической энергии.....	18
Лабораторная работа 4 Измерительные приборы выпрямительной системы.....	23
Лабораторная работа 5 Измерение больших сопротивлений мегомметром .....	30
Лабораторная работа 6 Измерение сопротивлений с помощью моста постоянного тока ....	34
Лабораторная работа 7 Измерительные трансформаторы тока и напряжения .....	39
Лабораторная работа 8 Измерение активной мощности.....	46
Лабораторная работа 9 Изучение и использование электронного двухлучевого осциллографа .....	52
Лабораторная работа 10 Измерение реактивной мощности .....	63
Лабораторная работа 11 Измерение активных сопротивлений, индуктивности и емкости с помощью моста переменного тока (измерителя RCL) .....	71
Лабораторная работа 12 Измерение малых и средних сопротивлений на постоянном токе методом амперметра-вольтметра.....	77
Лабораторная работа 13 Исследование трехфазных счетчиков электрической энергии.....	81

## Введение

В сельском хозяйстве, как и в других отраслях, уровень развития измерительной техники в значительной мере определяет состояние технического прогресса. Из всего многообразия средств измерений наиболее распространены электрические. Они позволяют измерять различные параметры в широком диапазоне, имеют высокую чувствительность и точность, их применение упрощает процессы автоматизации получения, передачи, обработки и хранения результатов измерений.

Основная цель преподавания дисциплины заключается в формировании знаний и практических навыков по использованию современных средств электрических измерений, а также методов измерений в сельскохозяйственном производстве. Исходя из этого, для изучения дисциплины ставятся следующие задачи:

- дать студентам основы конструкции современных измерительных приборов и устройств;
- дать студентам основы теории измерений при помощи современных измерительных приборов и устройств;
- научить студентов производить электрические измерения при помощи современных измерительных средств.

В издании приведены методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», краткие теоретические сведения, необходимые формулы и иллюстрации, порядок выполнения лабораторных работ, перечень контрольных вопросов для самопроверки.

Практикум предназначен для контактной и самостоятельной работы студентов направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленности (профили) Информационные технологии в электроэнергетике и Электрооборудование и электротехнологии, очной и заочной форм обучения.

## **Общие требования по технике безопасности**

1. Перед началом работы необходимо убедиться в исправности лабораторного оборудования, на котором предстоит работать. О замеченных неисправностях сообщить преподавателю или лаборанту.

2. Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что стенд выключен.

3. После сборки схемы необходимо представить ее на проверку преподавателю. Включать схему без проверки преподавателем запрещается.

4. При появлении во время работы искр, треска, дыма или других признаков сбоев в работе оборудования немедленно выключить главный автомат стенда и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

5. Запрещается студентам самостоятельно устранять неисправности электрооборудования.

6. При возникновении несчастного случая в лаборатории следует сообщить преподавателю или лаборанту для выяснения и устранения его причин и оказать первую помощь пострадавшему.

7. Разбирать схему разрешается только после проверки преподавателем результатов лабораторных исследований.

8. После окончания работы необходимо выключить лабораторные стенды и главный автоматический выключатель лаборатории. Привести в порядок рабочее место. Установить приборы и оборудование на исходные места.

## Лабораторная работа 1

### Изучение лабораторного стенда ЛСОЭ-4

*Цель работы:* изучить лабораторный стенд ЛСОЭ-4 общей электротехники.

#### *Основные теоретические сведения*

Лабораторный стенд общей электротехники ЛСОЭ-4 предназначен для выполнения лабораторных работ по общей электротехнике, электрическим измерениям и другим электротехническим дисциплинам. Стенд состоит из блока питания, блока КИП (контрольно-измерительные приборы) и свободного блока (панели) для установки конкретной аппаратуры, исследуемой в лабораторной работе (рис. 1.1).

Блок КИП содержит пять щитовых приборов класса точности 1,5 (обычно один вольтметр и четыре амперметра, но возможны и другие варианты). Блок питания стенда включает в себя: блок трехфазного напряжения (клеммы «А», «В», «С», «0»), блок регулируемого напряжения « $\sim 0 \dots 250$  В», « $-0 \dots 250$  В», включающий в себя ЛАТР (лабораторный автотрансформатор) и диодный мостик VD1...VD4 для получения выпрямленного напряжения.

Подача трехфазного напряжения на стенд осуществляется посредством автоматического выключателя QF. При этом подается напряжение на клеммы « $\sim 220$  В», служащие для подключения вспомогательной аппаратуры (паяльников, калькуляторов и т.д.). Подача напряжения сопровождается загоранием сигнальной лампы HL1 (тиратрон МТХ-90). Включение того или иного блока осуществляется посредством магнитных пускателей KM1 и KM2, расположенных внутри стенда, которые срабатывают при нажатии кнопок SB2, SB4. При включении загораются сигнальные лампы HL2 и HL3.

Для защиты ЛАТРа от перегрузок в стенде установлено реле максимального тока КА, размыкающий контакт которого включен в цепь питания катушки KM2. Если ток через ЛАТР превысит допустимое значение, реле КА сработает и отключит магнитный пускатель KM2, а тот, в свою очередь, — ЛАТР от сети.

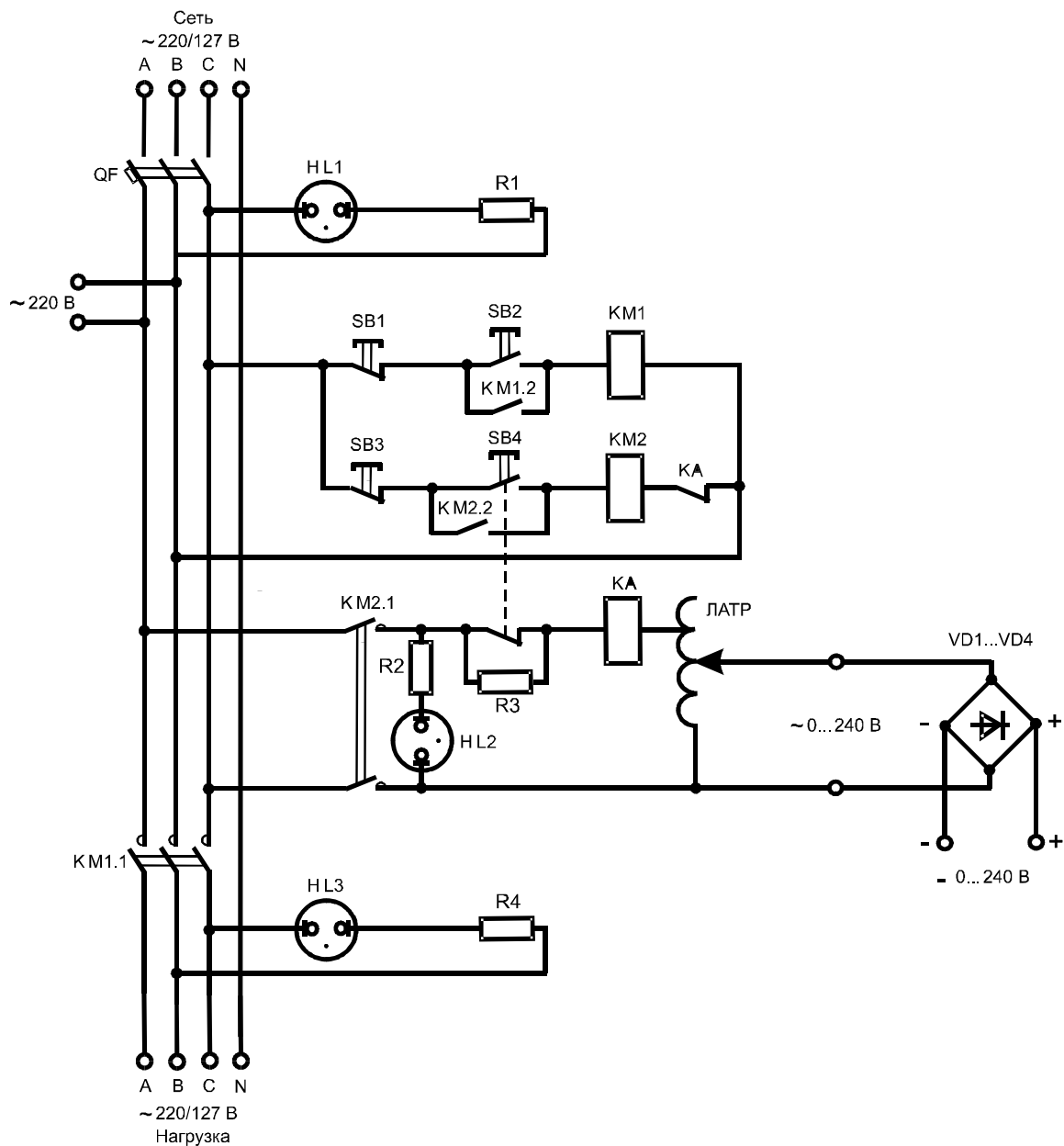


Рис. 1.1. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда ЛСОЭ-4

Резистор R3 служит для предотвращения ложного срабатывания автоматического выключателя QF в момент подачи напряжения на ЛАТР. При нажатии кнопки SB4 ее размыкающий контакт в цепи ЛАТРа размыкается и питание на ЛАТР поступает через резистор R3, включенный параллельно этому контакту. При этом гасится бросок намагничивающего тока, возникающего в момент включения ЛАТРа, когда магнитная система его ненасыщена. При отпускании кнопки SB4 контакт снова замыкается, и ток идет по верхней цепи (в обход резистора R3).

### *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда ЛСОЭ-4.
3. Паспортные данные приборов и оборудования стенда.
4. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы возможности стенда?
2. Опишите принцип работы блока питания стенда.
3. Укажите назначение каждого элемента схемы (QF, КМ, R, HL, КА, VD, ЛАТР).
4. Какое соединение называется по схемам «звезда» и «треугольник»? Каковы фазные и линейные токи, напряжения и соотношения между ними?
5. Сформулируйте законы Ома и Кирхгофа.
6. Что называется узлом и ветвью электрической цепи?
7. По какой схеме соединена вторичная обмотка понижающего трансформатора, установленного в аудитории 558?
8. Какие контрольно-измерительные приборы установлены на стенде и каково их назначение?
9. Укажите приборы для измерения  $U$ ,  $I$ ,  $R$ ,  $f$ ,  $S$ ,  $Q$ ,  $\cos \varphi$ .
10. Как получить на стенде « $\sim U \div 100 \text{ В}$ »; « $-U \div 200 \text{ В}$ »?
11. Каковы устройство и принцип работы КМ, QF, VD, КА, ЛАТР?
12. Укажите виды расцепителей автоматов.
13. Укажите назначение резистора R3.
14. Каким напряжением питается катушка КМ в данной схеме и куда ее надо подключить, если она рассчитана на другое напряжение? Нарисовать схему включения.
15. Как включается прибор для измерения фазного и линейного напряжения?
16. Показать путь тока КЗ при коротком замыкании на клеммах « $\sim 220 \text{ В}$ », « $\sim 220/127 \text{ В}$ », « $\sim 0 \div 240 \text{ В}$ », « $-0 \div 240 \text{ В}$ ». Что может пострадать в результате короткого замыкания? Каковы будут последствия?
17. Что называется принципиальной схемой? Принципы ее построения.



18. Для чего служит световая сигнализация? Ее недостатки.
19. Что представляет собой сигнализация стенда?
20. Что представляют собой сигнальные лампы HL1...HL3?
21. Каковы правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ на стенде ЛСОЭ-4?

*Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с.: ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

## Лабораторная работа 2

### Поверка электроизмерительных приборов

*Цель работы:* изучить конструкции и основные особенности показывающих электроизмерительных приборов, методы поверки амперметров и вольтметров переменного тока с целью определения погрешности прибора и установления его пригодности к применению.

#### *Основные теоретические сведения*

Измерительные приборы могут быть повреждены механически при эксплуатации, при подаче недопустимых значений измерительных величин, а также вследствие износа отдельных частей прибора. Все это приводит к нарушению нормальной работы прибора и появлению недопустимых погрешностей. В связи с этим необходимо производить поверку приборов не только при выпуске их с завода, но и периодически при эксплуатации (не реже одного раза в один-два года).

После ремонта измерительных средств их направляют на поверку независимо от времени предыдущей поверки.

*Поверка приборов* — это определение погрешностей прибора и установление его пригодности к применению или определение, находятся ли его погрешности в допустимых границах.

Различают государственные и ведомственные поверки.

*Государственной поверке* подлежат средства измерений с целью обеспечения единства измерений в стране (время, длина и т.д.).

*Ведомственную поверку* средств измерений, находящихся в обращении на предприятиях и организациях агропромышленного комплекса, проводят органы метрологической службы в метрологических лабораториях.

*Погрешность измерения* характеризует отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Погрешность измерения определяют в единицах измеряемой величины или в относительном виде в процентах, или долях от истинного значения измеряемой величины. В соответствии с этим погрешности измерений по способу числового выражения бывают абсолютные, относительные и приведенные относительные.

*Абсолютная погрешность* измерения определяется как разность между значением величины, получаемым в результате измерения, и истинным значением измеряемой величины:

$$\Delta x = x - x_{И},$$

где  $\Delta x$  — абсолютная погрешность;

$x$  — измеряемая величина;

$x_{И}$  — истинное значение измеряемой величины.

*Относительная погрешность* измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению величины, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_{И}} 100\%.$$

Погрешности измерений считают положительными, если значение величины, полученное в результате измерений, больше действительного значения измеряемой величины, и наоборот.

Для учета погрешностей измерений и получения действительных значений измеряемых величин вводят *поправки*, которые представляют собой абсолютную погрешность, взятую с противоположным знаком.

Необходимо отметить, что относительная погрешность характеризует точность прибора только в данной точке шкалы. Для характеристики точности измерительного прибора по всей его шкале введено понятие *приведенной относительной погрешности*, под которой понимают относительную погрешность, выраженную в процентах от номинального, верхнего предела измерений прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_{Н}} 100\%,$$

где  $x_{Н}$  — верхний номинальный предел прибора.

Поверке подвергают все средства измерений, кроме применяемых для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах физических величин (например, указатель равновесия мостов) и используемых для учебных целей.

*Поверка прибора* состоит из внешнего осмотра, выбора образцового прибора и подготовки к поверке, поверки показаний прибора, документального оформления поверки.

1. Внешний осмотр прибора предполагает выполнение операций по проверке состояния корпуса, стекла, уплотнений, шкалы, стрелки, корректора прибора, т.е. выявлению дефектов, которые могут препятствовать дальнейшему применению прибора. Стрелка должна симметрично смещаться при помощи корректора в обе стороны от нуля. Корректор должен обеспечить точную установку стрелки в нулевое положение.

2. Выбор образцового прибора производится по следующим параметрам:

- род тока должен совпадать;
- образцовые приборы должны отличаться от поверяемых лучшими метрологическими качествами (измерительной системой);
- верхний предел образцового прибора может быть больше поверяемого только на 20%;
- класс точности образцового прибора должен быть выше не менее чем в 3 раза;
- должно быть равенство рабочих диапазонов частот.

При выборе рода тока следует учитывать имеющийся на шкале поверяемого прибора знак рода тока.

Род тока, на котором производится поверка, определяется системой поверяемого прибора, его конструкцией, свойствами и назначением. Считается, что электромагнитные приборы хуже, чем магнитоэлектрические. При поверке на постоянном токе выбирают в качестве образцовых *магнитоэлектрические приборы* — самые точные и чувствительные из всех электроизмерительных приборов. На переменном токе нужно производить поверку по образцовым *электродинамическим приборам* — наиболее точным из всех приборов переменного тока. Приборы индукционной системы поверяются только на переменном токе.

При выборе образцового прибора по номинальным значениям его параметра необходимо, чтобы верхний предел измерений его был таким же, как у поверяемого, или не превышал предел поверяемого прибора более чем на 20%. В противном случае относительные погрешности образцового прибора могут быть недопустимо велики.

Допустимая погрешность образцового прибора должна быть не менее чем в 3, а желательно в 5 раз меньше допустимой погрешности поверяемого прибора. Например, класс точности поверяемого прибора 2,5, тогда класс точности образцового должен быть 0,5. Образцовый прибор для данного примера с классом точности 1,0 не подходит.

Таким образом, поверка классов точности 1,5 и 2,5 производится по приборам класса точности 0,5; поверка приборов класса точности 1 — по приборам класса точности 0,2; поверка приборов класса точности 0,5 — по приборам класса точности 0,1; поверка приборов класса точности 0,1 и 0,2 может производиться только на компенсаторах, которые обеспечивают погрешность 0,02-0,03%.

Частота образцового прибора на переменном токе обязательно должна соответствовать основной частоте поверяемого прибора.

3. Поверка поверяемых приборов производится путем сравнения их показаний с показаниями образцовых приборов.

Схема соединений для поверки приборов должна быть такой, чтобы при поверке амперметра ток поверяемого амперметра соответствовал току образцового амперметра, при поверке вольтметра напряжение на поверяемом вольтметре соответствовало напряжению на образцовом вольтметре.

После сборки схемы рукоятки регулирующих устройств устанавливают в положение, соответствующее наименьшим показаниям приборов (наименьшим значениям токов и напряжений).

Перед поверкой корректором устанавливают стрелку на нуль, включают схему под напряжение и плавно изменяют ток или напряжение от минимального до наибольшего, допустимого прибором (номинальное значение). При правильно отрегулированном положении стрелка прибора плавно подходит к верхней цифровой отметке шкалы и так же плавно возвращается в нулевое положение.

Поверке подлежат все основные (оцифрованные) деления шкалы поверяемого прибора. Подают напряжение на схему поверки. Изменением тока (напряжения) стрелку поверяемого прибора последовательно устанавливают на всех цифровых отметках шкалы сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до номинального значения, а затем по тем же точкам при убывании от номинального значения до нуля. Для всех этих точек сличают показания поверяемого прибора с действительными значениями, получаемыми по образцовому прибору. Результаты записывают в таблицу.

Определение погрешностей и поправок производится по формулам, приведенным ниже.

Поправку к показаниям прибора определяют по формуле

$$\sigma = -(\Delta x) = x - x_{II},$$

где  $\sigma$  — поправка, численно равная абсолютной погрешности прибора с обратным знаком;

$\Delta x$  — абсолютная погрешность;

- $x$  — показания поверяемого прибора;
- $x_{и}$  — показание образцового прибора, принимаемое нами за действительное значение измеряемой величины.

Для всех поверяемых точек по большему значению абсолютной погрешности вычисляют приведенную погрешность:

$$\gamma = \frac{|\Delta x|}{x_{\max}} 100\%,$$

где  $x_{\max}$  — максимальное значение поверяемого прибора.

По приведенной погрешности определяют класс точности поверяемого прибора и делают заключение о его пригодности. По результатам поверки строят графики поправок, где по оси абсцисс откладывают показания поверяемого прибора, а по оси ординат — поправки для восходящих и нисходящих отсчетов; полученные точки соединяют прямыми и получают две ломаные линии — «кривые поправок», примерный вид которых показан на рисунке 2.1.

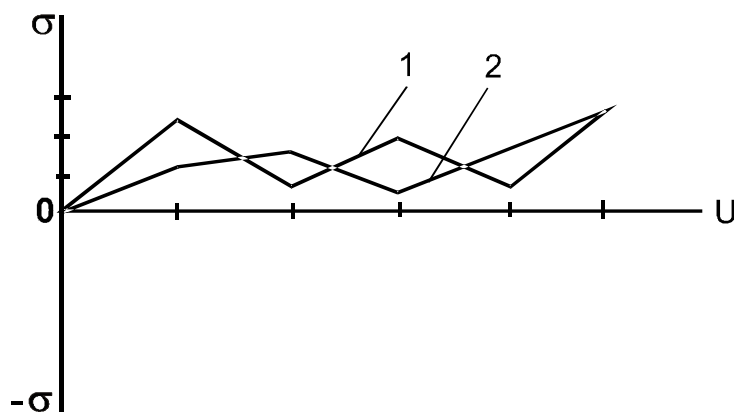


Рис. 2.1. График поправок:  
1 — прямой ход; 2 — обратный ход

4. Поверка приборов оформляется протоколом поверки, в котором должны быть представлены таблицы поверок и кривая поправок.

#### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рисунку 2.2, используя приборы и оборудование, находящиеся на рабочем месте. Снять показания на основных делениях шкалы в каждую сторону, увеличивая показания приборов от нуля до максимума, а затем уменьшая от максимума до нуля. Заполнить таблицу 2.1. Выполнить соответствующие вычисления.

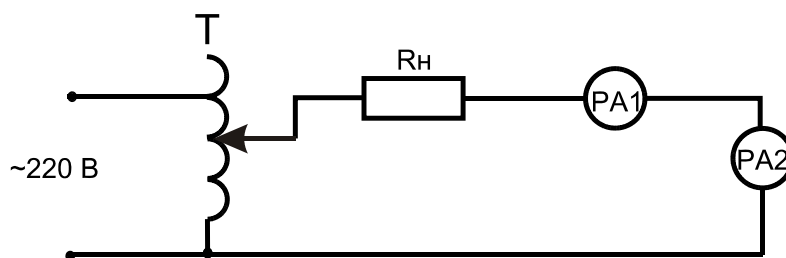


Рис. 2.2. Схема поверки амперметра:  
*PA1* —веряемый амперметр,  
*PA2* —образцовый амперметр

Таблица 2.1. Результаты поверки амперметра

Количество испытаний	Показания приборов		Абсолютная погрешность	Поправки	Приведенная погрешность
	веряемого	образцового			
	$I_{п}, A$	$I_{о}, A$	$\Delta X, A$	$\sigma, A$	$\gamma, \%$
При увеличении силы тока	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
При уменьшении силы тока	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

2. Собрать схему согласно рисунку 2.3 и произвести поверку вольтметра аналогично поверке амперметра. Данные занести в таблицу 2.2.

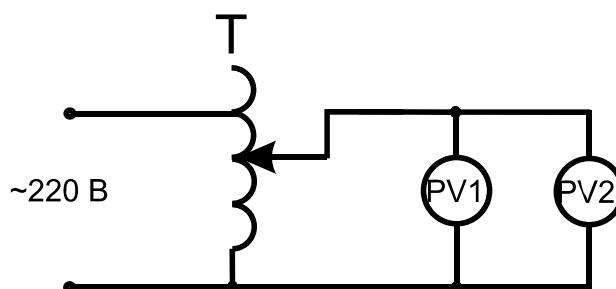


Рис. 2.3. Схема поверки вольтметра:  
*PV1* —веряемый вольтметр,  
*PV2* —образцовый вольтметр

Таблица 2.2. Результаты поверки вольтметра

Количество испытаний	Показания приборов		Абсолютная погрешность	Поправки	Приведенная погрешность
	поверяемого	образцового			
	$U_{п}$ , В	$U_{о}$ , В	$\Delta x$ , В	$\sigma$ , В	$\gamma$ , %
при увеличении напряжения	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
при уменьшении напряжения	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

3. По результатам таблиц 2.1 и 2.2 построить графики поправок.

#### *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные электрические схемы поверки амперметра и вольтметра.
3. Таблицы и графики поправок.
4. Паспортные данные приборов, используемых в работе.
5. Выводы по работе.

#### *Контрольные вопросы*

1. Когда возникает необходимость поверки?
2. Методика поверки (принцип поверки).
3. Выбор образцового прибора.
4. Требования к схемам поверки.
5. Назначение графика поправок. Физический смысл поправок.
6. Абсолютная, относительная, приведенная относительная погрешности.
7. По какой погрешности устанавливают класс точности прибора?
8. В каких случаях указывается класс точности в процентах от длины шкалы?
9. Можно ли поверять сразу несколько амперметров и вольтметров?



10. Расшифруйте условные обозначения на шкале приборов.
11. Время успокоения подвижной части прибора.
12. Назначение корректора, арретира, зеркальной шкалы, ограничителей, успокоителей, спиральных пружин, растяжек, подвесов.
13. Что называется ценой деления прибора?
14. Устройство и принцип действия поверяемых и образцовых приборов.

#### Список рекомендуемых источников

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

### Лабораторная работа 3

#### Изучение устройства и работы индукционных счетчиков электрической энергии

*Цель работы:* изучить устройство, принцип действия и характеристики однофазных индукционных счетчиков электрической энергии. Ознакомиться с методами поверки и регулировки счетчиков электрической энергии.

#### *Основные теоретические сведения*

В цепях постоянного тока электрическую энергию учитывают при помощи электродинамических, а в цепях переменного тока промышленной частоты — при помощи индукционных счетчиков электрической энергии. Счетчики относятся к интегрирующим электроизмерительным приборам.

Задача поверки счетчика — определение его относительной погрешности. Относительная погрешность счетчика определяется по формуле

$$\delta = \frac{C_H - C_D}{C_H} 100\%,$$

где  $C_H$  — номинальная постоянная счетчика;

$C_D$  — действительная постоянная счетчика.

В отличие от показывающих приборов, постоянная счетчика характеризует количество электроэнергии в джоулях (Вт·с), приходящиеся на один оборот диска счетчика:

$$C = \frac{W_t}{N_t},$$

где  $W_t$  — количество электрической энергии, израсходованной за время  $t$ , с;

$N_t$  — количество оборотов диска, сделанных за то же время  $t$ , с.

Передачное число счетчика  $K$  (указывается на счетчике) — число оборотов его диска, соответствующее изменению показания счетного механизма на 1 кВт·ч.

Размерность  $K$  равна количеству оборотов диска, приходящееся на 1 кВт·ч, причем  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

Номинальная постоянная счетчика определяется по формуле

$$C_H = \frac{1}{K}.$$

Например, на счетчике указано: 1 кВт·ч равен 450 оборотам диска. Тогда номинальная постоянная счетчика определится:

$$C_H = \frac{1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{450} = \frac{1\,000 \cdot 3\,600}{450} = 8\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об}.$$

Действительная постоянная счетчика определяется:

$$C_D = \frac{W_D}{N_t},$$

где  $W_D$  — действительный расход электрической энергии, Дж (Вт·с);  
 $N_t$  — количество оборотов диска счетчика при расходе энергии  $W_D$ :

$$W_D = P_t t,$$

где  $P_t$  — действительно зарегистрированная мощность в цепи, Вт;  
 $t$  — время, в течение которого регистрировался расход энергии, с.

Таким образом, действительной постоянной  $C_D$  считают число ватт-секунд, определенным по образцовым приборам (вольтметр, амперметр, ваттметр, секундомер), действительно израсходованных в цепи за время одного оборота диска счетчика:

$$C_D = \frac{UI \cos \varphi \cdot t}{n},$$

где  $U$  — напряжение сети, В;  
 $I$  — ток нагрузки А;  
 $\cos \varphi$  — коэффициент мощности исследуемой цепи;  
 $t$  — время, в течение которого отсчитывается энергия за 10 оборотов, с;  
 $n$  — число оборотов диска (принять равным 10).

Рассчитав  $C_H$  и  $C_D$ , определяют допустимую относительную погрешность  $\delta_{СЧ}$ , причем индукционные счетчики активной энергии подразделяются на классы точности 1; 2,0 и 2,5.

Порог чувствительности счетчика есть отношение минимальной мощности  $P_{\min}$ , при которой диск счетчика начинает вращаться, к номинальной мощности  $P_H$  или отношение тока трогания  $I_{\text{прог}}$  к номинальному току  $I_H$ :

$$S_C = \frac{P_{\min}}{P_H} 100\% = \frac{I_{\text{прог}}}{I_H} 100\%. \quad (3.1)$$

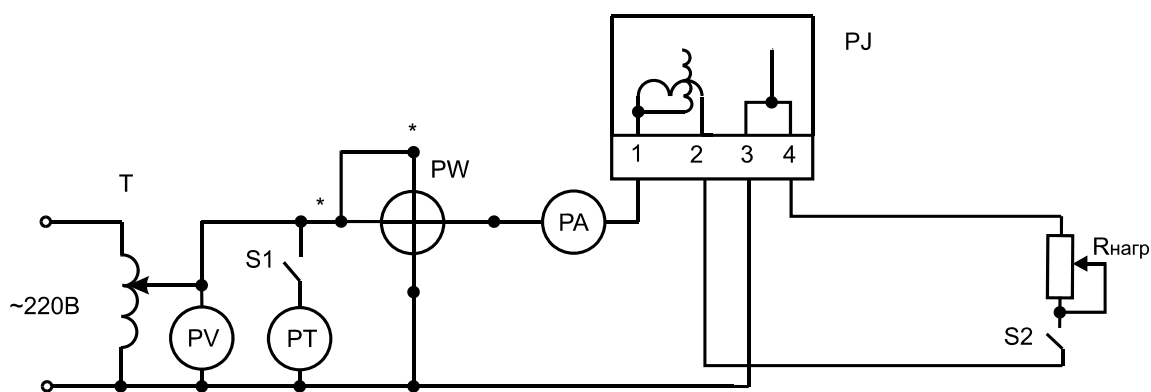
Согласно ГОСТ 6570—60, порог чувствительности должен быть не более 0,5% номинальной нагрузки для счетчиков классов 1,0; 1,5; 2,0 и не более 1% для счетчиков класса 2,5; 3,0; 4,0.

*Самоходом* называют явление, при котором диск счетчика вращается безостановочно при отсутствии нагрузки под воздействием только приложенного номинального напряжения.

### *Порядок выполнения работы*

1. Произвести проверку однофазного счетчика активной электрической энергии на самоход.

Для определения самохода счетчика собирается схема согласно рисунку 3.1. Обратите внимание на то, что нагрузка (в токовой цепи счетчика) отсутствует (тумблеры S2 отключены). Напряжение через ЛАТР повышается до 110% от номинального. Диск счетчика не должен делать более одного оборота. Это означает, что самоход отсутствует.



*Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема  
испытания счетчика  
на самоход и на определение  
соответствия его классу точности*

2. Определить соответствие поверяемого счетчика его классу точности. Для определения класса поверяемого счетчика использовать ту же схему (см. рис. 3.1).

Установить номинальное напряжение. Определить погрешность счетчика при токах нагрузки, равной 20, 40, 60, 80 и 100% от номинальной. Нагрузка устанавливается реостатом R2. Для каждого значения нагрузки определяется погрешность счетчика при 10 оборотах. засекается время, за которое диск счетчика проходит 10 оборотов (в секундах). Номинальный ток счетчика берется из его паспортных данных. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Результаты исследования счетчика электрической энергии на соответствие классу точности

Измерено					Вычислено		
$U, В$	$I, А$	$t, с$	$n, об.$	$P, Вт$	$C_H, Вт·с/об$	$C_D, Вт·с/об.$	$\delta_{сч}$

3. Определить чувствительность счетчика. Для этого собрать схему согласно рисунку 3.2.

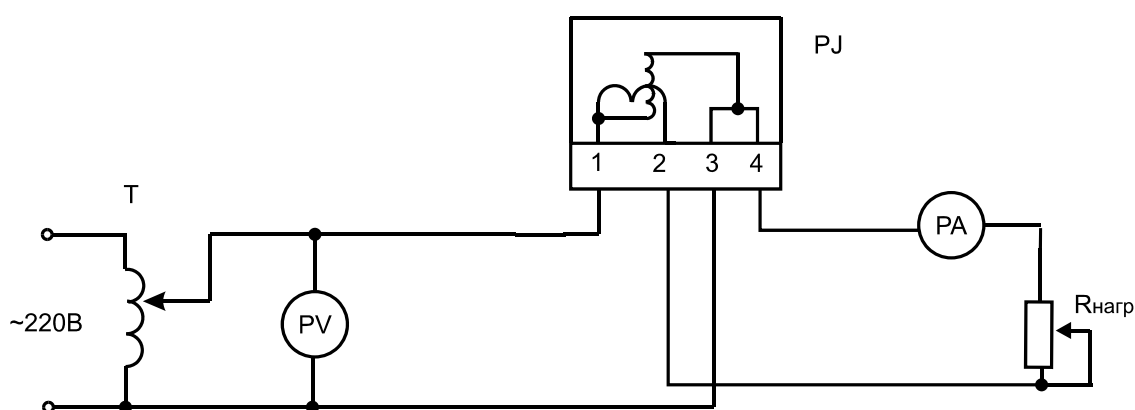


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема для определения чувствительности счетчика

В качестве нагрузки используется реостат большой нагрузки R1 (около 30 кОм). Перед включением в сеть убедиться, что нагрузочное сопротивление  $R_{нагр}$  полностью введено, т.е. общее сопротивление токовой цепи максимально, следовательно, ток в этой цепи будет минимальным. После подачи напряжения убедиться, что диск счетчика не вращается. Затем, плавно уменьшая сопротивление реостата, заметить величину тока, при которой диск счетчика начинает непрерывно вращаться. Снять показания амперметра. Согласно формуле (3.1) определить чувствительность и соответствие ее классу счетчика.

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные электрические схемы.
3. Результаты определения проверки счетчика на самоход, порога чувствительности счетчика и погрешности счетчика.
4. Паспортные данные исследуемого однофазного счетчика.
5. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Что учитывает бытовой счетчик СО? Каковы единицы измерения?
2. Расшифруйте СО; СА-3; СА-4; СР-3; СР-4.
3. Устройство и принцип действия индукционных счетчиков электрической энергии.
4. Что такое самоход счетчика? Условия его поверки. Как устранить самоход счетчика?
5. Защита счетчиков от токов короткого замыкания и перегрузки.
6. Где устанавливается защита: до или после счетчика? Почему?
7. Почему к первой клемме СО подводят фазу, а к третьей — нуль?
8. Возможно ли обратное вращение диска счетчика?
9. Если окажутся замкнутыми выводы счетчика 3 и 4; 1 и 2; 2 и 3; 1 и 3; 2 и 4; 1 и 4, что будет с нагрузкой, счетчиком?
10. Что называется чувствительностью? Как она определяется и какой должна быть для счетчиков разных классов?
11. Что показывает номинальная постоянная счетчика? Ее физический смысл?
12. Чем и как определяется действительная постоянная счетчика?
13. Если погрешность счетчика при поверке получилась отрицательная (положительная), то счетчик недоучитывает или переучитывает потребленную электроэнергию?
14. Что такое  $\cos \varphi$ ? При какой нагрузке  $\cos \varphi = 1$ ;  $\cos \varphi < 1$ ?

### *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.

## Лабораторная работа 4

### Измерительные приборы выпрямительной системы

*Цель работы:* изучить устройство и принцип работы приборов выпрямительной системы, использование комбинированных приборов при измерении различных электрических величин.

#### *Основные теоретические сведения*

Магнитоэлектрические приборы чувствительны, точны и имеют малое собственное потребление мощности. Однако эти приборы пригодны только для цепей постоянного тока. Использование преобразователя переменного тока в постоянный позволяет выполнять измерения магнитоэлектрическим прибором в цепях переменного тока.

В выпрямительных приборах преобразователями переменного тока в постоянный являются полупроводниковые выпрямители на основе кремния и германия. В выпрямительных измерительных приборах, в зависимости от числа применяемых диодов и схемы их включения, осуществляется одно- или двухполупериодное выпрямление тока.

На рисунке 4.1, *а* показано измерение в цепи переменного тока (без выпрямления). В однополупериодной схеме прибора (рис. 4.1, *б*) ток через измерительный механизм проходит только в течение одного полупериода через диод VD1. Отрицательная полуволна тока проходит через диод VD2 и сопротивление R. Сопротивление этой цепи выбирают равным сопротивлению цепи измерительного механизма для того, чтобы входное сопротивление прибора в оба полупериода тока было одинаковым. Действующее значение вращающего момента вследствие инерционности подвижной части магнитоэлектрического прибора определяется через средний момент за период тока:

$$M_{BP} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} m_t dI ,$$

где  $m_t$  — мгновенное значение вращающего момента.

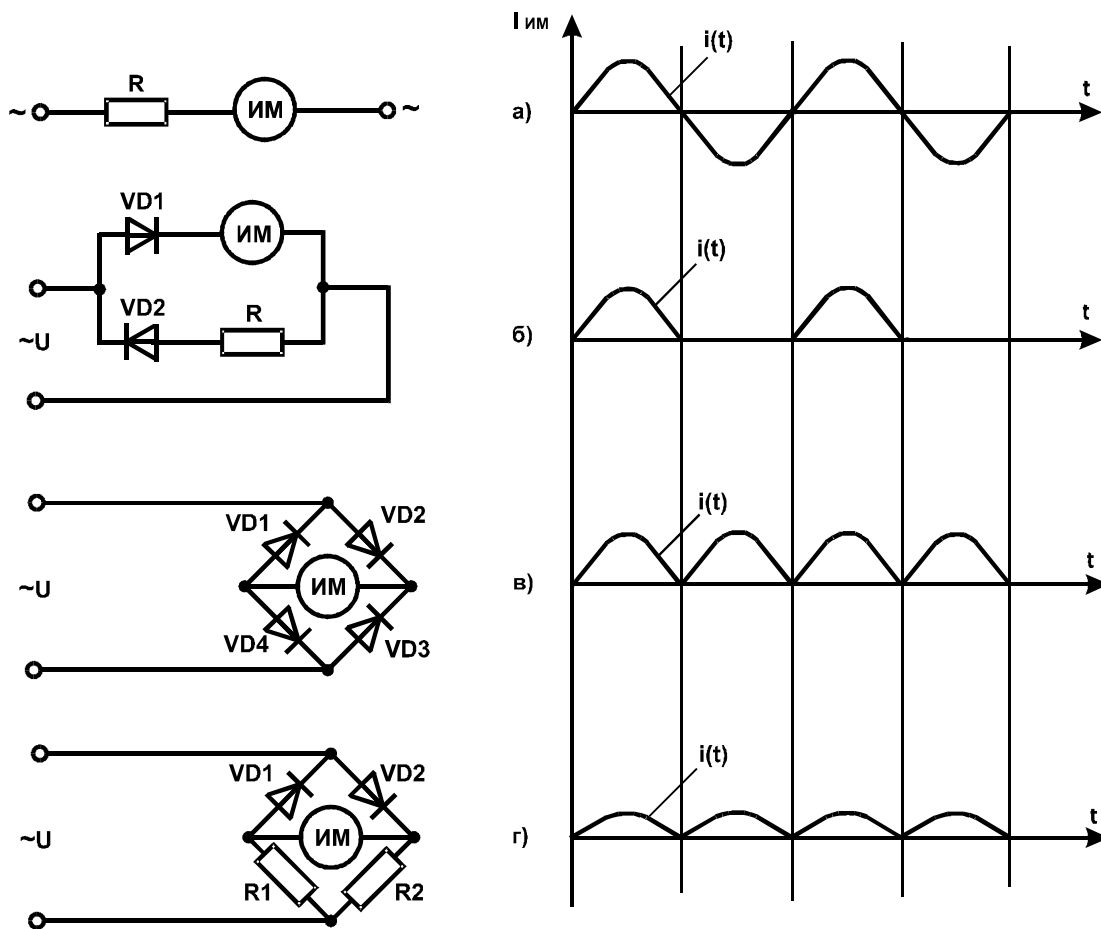


Рис. 4.1. Схемы приборов выпрямительной системы

Известно, что вращающий момент, действующий на катушку, определяется по формуле

$$M_{BP} = BISw,$$

где  $B$  — магнитная индукция в магнитном зазоре, Т;

$I$  — ток катушки, А;

$S$  — активная площадь катушки, м<sup>2</sup>;

$w$  — число витков катушки.

Тогда можно записать:

$$M_{BP} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} B_i S w i(t) dt = \frac{1}{2} B S w I_{CP}.$$

Следовательно, при воздействии противодействующего момента угол перемещения подвижной части прибора (отклонение указателя) определится по формуле

$$\alpha_y = \frac{1}{2} \frac{B S w}{W} I_{CP},$$

где  $W$  — удельный противодействующий момент, зависящий от геометрических размеров и материала пружины (растяжки).



Обычно при изготовлении выпрямительные измерительные приборы градуируют в действующих значениях измеряемых величин. Для этого необходимо учесть коэффициент формы кривой тока  $K_\phi = I/I_{cp} = 1,11$ .

Угол отклонения подвижной части измерительного механизма находится из уравнения

$$\alpha_y = \frac{BSw}{W} \frac{I}{K_\phi} = 0,45 \frac{BSwI}{W},$$

где  $I$  — ток, протекающий по обмотке рамки.

В схеме выпрямительного измерительного прибора с двухполупериодным выпрямлением (рис. 4.1, в) через магнитоэлектрический механизм протекает ток в два раза больший, чем в однополупериодной схеме, поэтому угол отклонения подвижной части измерительного механизма рассчитывается по формуле

$$\alpha_y = 0,9 \frac{BSwI}{W}.$$

Одним из требований, предъявляемых к схеме выпрямительного измерительного прибора, является идентичность параметров полупроводниковых диодов. Если это условие не соблюдено, показания прибора зависят от температуры окружающей среды. Для уменьшения температурной нестабильности схему часто собирают из двух идентичных диодов и двух резисторов (рис. 4.1, з).

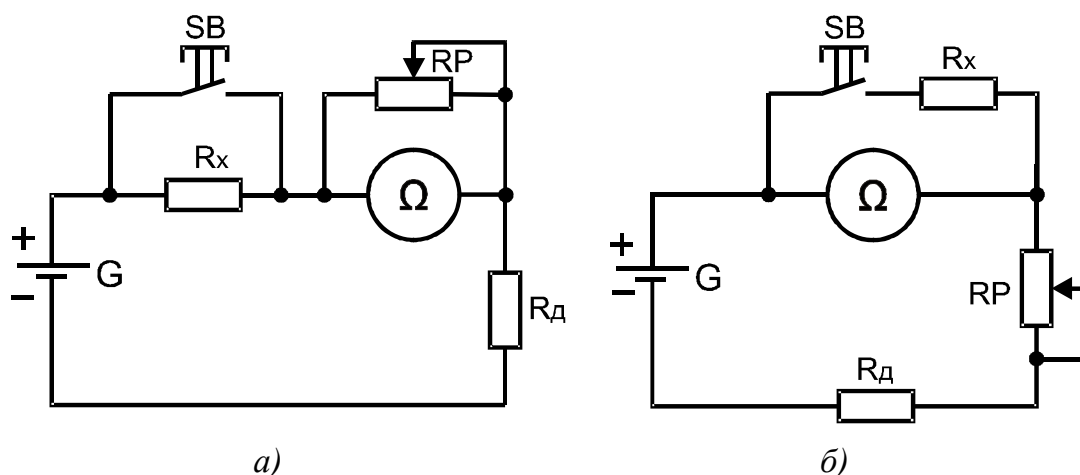
*Достоинства* выпрямительных измерительных приборов: высокая чувствительность; малое собственное потребление мощности; широкий частотный диапазон — до 20 кГц.

*Недостатки*: нелинейность характеристики (вследствие нелинейности вольтамперных характеристик диодов); невысокая точность (не выше 1,0) и зависимость показаний от температуры окружающей среды и формы кривой измеряемого тока.

Однорамочные приборы магнитоэлектрической системы и, в частности, комбинированные приборы с успехом используются для измерения сопротивления постоянному току.

Различают последовательную (рис. 4.2, а) и параллельную (рис. 4.2, б) схемы омметров (мегаомметров).

В последовательной схеме при замкнутой кнопке  $R_x = 0$  ток максимальный, а при  $R_x = \infty$  и разомкнутой кнопке ток измерителя равен «0». Поскольку прибор измеряет ток, который связан с сопротивлением обратно пропорциональной зависимостью, то нуль шкалы находится справа, а слева « $\infty$ ». Шкала у этих приборов неравномерная.



а)

б)

Рис. 4.2. Схемы омметра:  
а — последовательная; б — параллельная

Последовательная схема применяется для измерения больших сопротивлений, т.к. при таком измерении получается наименьшая погрешность и наибольшая ее чувствительность. Перед измерением  $R_x$  закорачивают и регулировочным сопротивлением  $R_p$  устанавливают стрелку на нуль.

Параллельная схема применяется для измерения небольших по величине сопротивлений, т.к. если бы  $R_x$  было большим по сравнению с сопротивлением элементов цепи, то оно слабо влияло бы на величину тока прибора, и схема имела бы низкую чувствительность.

В параллельной схеме, как обычно, нуль слева, а «∞» справа. Регулировку в параллельной схеме производят сопротивлением  $R_p$  при отключенном резисторе  $R_x$ , устанавливая стрелку на «∞».

Основной недостаток рассмотренных приборов — зависимость показаний от напряжения источника питания, что требует постоянного контроля нулевого показания перед каждым измерением.

#### Устройство комбинированного прибора

Прибор (Ц20-05) состоит из измерительного механизма, преобразователя переменного тока в постоянный и элементов измерительной цепи (шунты и добавочные резисторы). В качестве измерителя используется микроамперметр магнитоэлектрической системы.

На передней панели прибора расположены:

- измеритель, имеющий четыре шкалы — две постоянного и переменного тока и напряжения « $\sim V, A$ » и « $-V, A$ »; шкала сопротивлений « $\Omega$ »; шкала уровня передачи переменного напряжения «dB» (в настоящей работе не используется);

- гнезда для подсоединения к исследуемой цепи с обозначением величин диапазонов измерений. Гнездо «\*» является общим;
- переключатель режимов работы с обозначением «—», «~», «R<sub>x</sub>» для изменения рода измеряемой величины;
- ручка потенциометра «Уст. 0» для установки стрелки прибора на нуль при измерении сопротивлений.

### *Порядок проведения измерений*

#### 1. Измерение тока и напряжения:

- нажать кнопку переключателя рода работы «~» или «—» в зависимости от рода измеряемой величины;
- вставить штекеры соединительных проводов в гнезда прибора; один в гнездо, соответствующее виду и диапазону измерения, другой — в гнездо «\*»;
- подключить прибор к измеряемой цепи, нажать кнопку «Вкл.» и произвести отсчет. Если неизвестны параметры измеряемой цепи, то измерения следует начинать с максимальных диапазонов, а затем переходить на соответствующие диапазоны.

#### 2. Измерение сопротивления:

- нажать кнопку «R<sub>x</sub>» переключателя диапазона работы и кнопку выбранного диапазона измерений;
- с помощью соединительных проводов замкнуть гнезда «\*» и «R<sub>x</sub>». Ручкой «Уст. 0» установить указатель на нулевую отметку на шкале «Ω»;
- подключить измеряемое сопротивление к гнездам «\*» и «R<sub>x</sub>» и произвести отсчет. Умножить результат на множитель выбранного диапазона.

По окончании измерений отключить прибор от измерительной цепи: выключить питание, снова нажав кнопку «Вкл.».

*Внимание!* Измерение сопротивления можно производить только в обесточенном состоянии электрических цепей.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство комбинированного прибора и порядок работы с ним.

2. Произвести измерение сопротивлений резисторов, предложенных преподавателем (данные занести в таблицу 4.1), а также измерить линейные и фазные напряжения на лабораторном стенде (данные занести в таблицу 4.2).

Таблица 4.1. Результаты измерения сопротивлений резисторов

Наименование резистора	Сопротивление, Ом, кОм	Паспортные данные	Относительная погрешность, %	Паспортная погрешность, %

Таблица 4.2. Результаты измерения напряжений

$U_{\phi}$ , В	$U_L$ , В	Абсолютная погрешность измерения, %

3. Вычислить погрешность измерения сопротивлений резисторов и сравнить их с погрешностями, указанными на самом резисторе, а также погрешность измерения напряжений.

#### Обозначение погрешностей на сопротивлениях

старое обозначение:

Ж —  $\pm 0,1\%$     У —  $\pm 0,2\%$

Д —  $\pm 0,5\%$     Р —  $\pm 1,0\%$

Л —  $\pm 2\%$         И —  $\pm 5\%$

С —  $\pm 10\%$       В —  $\pm 20\%$

∅ — 30%

новое обозначение:

В —  $\pm 0,1\%$     С —  $\pm 0,25\%$

D —  $\pm 0,5\%$     F —  $\pm 1\%$

G —  $\pm 2\%$         I —  $\pm 5\%$

K —  $\pm 10\%$       M —  $\pm 20\%$

#### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы измерений.
3. Результаты определения погрешностей измерений.
4. Маркировки на приборе и их расшифровка.
5. Выводы по результатам измерений.

### *Контрольные вопросы*

1. Устройство и принцип действия приборов выпрямительной системы.
2. Область применения приборов выпрямительной системы.
3. Расшифровать условные обозначения на шкале прибора.
4. Принцип работы одно- и двухполупериодного выпрямителя.
5. Последовательная и параллельная схемы омметров и мегаомметров.
6. Порядок измерения сопротивлений, постоянного и переменного токов, напряжений комбинированными приборами.
7. Определение цены деления шкалы прибора на разных пределах.
8. Определение абсолютной погрешности по классу точности прибора.
9. Достоинства и недостатки выпрямительной системы.
10. Принцип работы прибора магнитоэлектрической системы. Правило буравчика. Правило левой руки.

### *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.

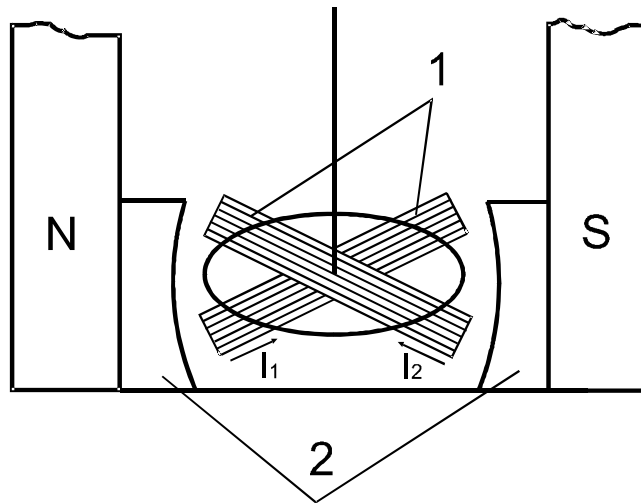
## Лабораторная работа 5

### Измерение больших сопротивлений мегомметром

*Цель работы:* изучить устройство и принцип действия магнитоэлектрического логометра, научиться измерять большие сопротивления при помощи мегомметра.

#### *Основные теоретические сведения*

В логометрах противодействующий момент создается не механическим путем, а электрическим. Для этого в магнитоэлектрическом логометре (рис. 5.1) подвижная часть выполняется в виде двух жестко скрепленных между собой рамок  $I$ , по обмоткам которых протекают токи  $I_1$  и  $I_2$ .



*Рис. 5.1. Устройство магнитоэлектрического логометра:  
1 — подвижная часть; 2 — постоянный магнит*

Ток к рамкам подводится при помощи безмоментных металлических токоподводов и при отсутствии вращающих моментов подвижная часть находится в положении безразличного равновесия. Индукция в воздушном зазоре различна в отдельных его точках, что достигается формой сердечника или формой полюсных башмаков.

Магнитная индукция в местах расположения проводов рамок:

$$B_1 = f_1(\alpha); \quad B_2 = f_2(\alpha),$$

где  $\alpha$  — угол поворота от нулевого деления шкалы.

При наличии токов возникают два вращающих момента:

$$M_1 = I_1 B_1 S_1 W_1 = I_1 S_1 W_1 f_1(\alpha) = I_1 F_1(\alpha);$$

$$M_2 = I_2 B_2 S_2 W_2 = I_2 S_2 W_2 f_2(\alpha) = I_2 F_2(\alpha),$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи в рамках, А;

$S_1$  и  $S_2$  — сечение проводов рамок, мм<sup>2</sup>;

$W_1$  и  $W_2$  — число витков рамок.

Моменты направлены в разные стороны, поэтому подвижная часть будет поворачиваться под влиянием их разности, при этом больший момент будет убывать, так как рамка будет перемещаться в менее интенсивную часть поля, в то же время меньший момент будет возрастать вследствие того, что рамка будет перемещаться в более интенсивную часть поля.

При определенном положении рамок моменты уравниваются:

$$M_1 = M_2$$

или

$$I_1 F_1(\alpha) = I_2 F_2(\alpha).$$

Из вышеприведенного выражения будем иметь

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{F_2(\alpha)}{F_1(\alpha)} \quad \text{или} \quad \alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right),$$

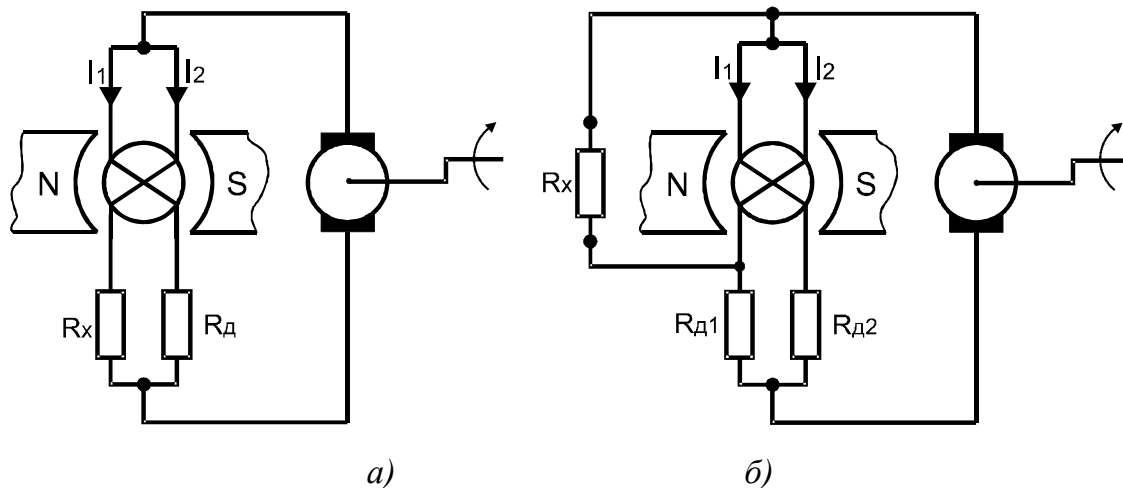
т.е. угол поворота подвижной части определяется отношением токов в рамках.

Такие механизмы наиболее часто применяют в приборах для непосредственного измерения сопротивления в омметрах и мегомметрах.

Показания логометрических омметров не зависят от напряжения питания, и поэтому отпадает необходимость в корректировке нуля. Эти приборы могут работать по последовательной (рис. 5.2, а) или по параллельной (рис. 5.2, б) схемам.

На рисунке 5.3 представлена принципиальная электрическая схема мегомметра М4100/4.

Напряжение, получаемое с генератора G, равно 500 В, а с выпрямителя получаем 1 000 В (двойное умножение) для указанного типа мегаомметра.



а) б)  
 Рис. 5.2. Схемы работы мегаомметра:  
 а — последовательная; б — параллельная

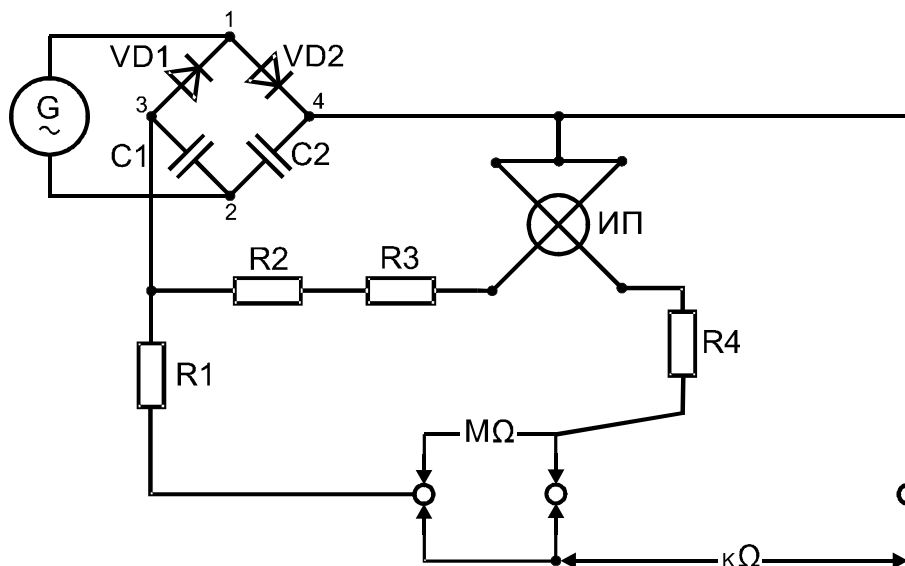


Рис. 5.3. Принципиальная электрическая схема  
 мегаомметра М4100/4

Схема с удвоением напряжения работает следующим образом. В полупериод, когда потенциал точки 2 выше, чем у точки 1, диод VD1 открыт и конденсатор C1 заряжается до величины выходного напряжения генератора. При перемене полярности ток течет через диод VD2 и заряжает конденсатор C2 до напряжения генератора.

Снятие напряжения происходит с точек 3 и 4 и равно сумме напряжений конденсаторов C1 и C2 (удвоенное напряжение генератора).

Для уменьшения влияния токов утечки на результат измерений в конструкции мегомметра предусмотрен специальный экран Э (не на всех модификациях).



### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить техническое описание и порядок работы с мегомметром.
2. Произвести измерения сопротивлений изоляции между жилами кабеля, между обмотками электродвигателя, между обмотками и корпусом электродвигателя.

### *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные электрические схемы измерения указанных сопротивлений.
3. Принципиальная электрическая схема мегомметра.
4. Паспорта используемых приборов.
5. Выводы по результатам измерений.

### *Контрольные вопросы*

1. Принцип действия мегомметра.
2. Почему сопротивление изоляции мегомметром измеряют только при снятом напряжении?
3. Почему при измерении сопротивления изоляции кабельной линии мегомметром отсчет показаний делается не сразу, а через некоторое время?
4. Почему подвижная часть мегомметра находится в положении безразличного равновесия?
5. Опишите работу мегомметра при параллельной и последовательной схеме.
6. Каково минимально допустимое сопротивление изоляции в электроустановках до 1 000 В?
7. Как работает схема умножения напряжения мегомметра?

### *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.

## Лабораторная работа 6 Измерение сопротивлений с помощью моста постоянного тока

*Цель работы:* изучить метод измерения сопротивлений с помощью моста постоянного тока — прибора сравнения.

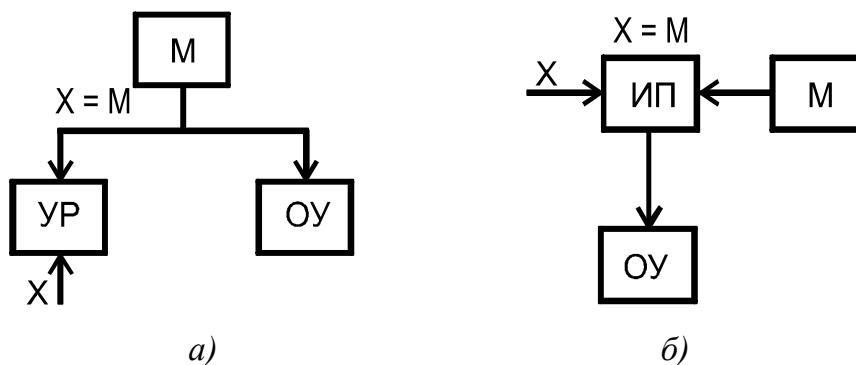
### *Основные теоретические сведения*

*Измерительный прибор сравнения* — это прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.

Приборами сравнения можно выполнять измерения двумя способами: по показанию прибора при полном уравнивании (компенсации) воздействия неизвестной величины ее мерой и по воздействию на прибор разности измеряемой величины и меры.

В зависимости от способа измерения, приборы сравнения используют в равновесном или неравновесном режиме. Воздействие на механизм прибора, работающего в равновесном режиме (рис. 6.1, а), измеряемой величины  $x$  полностью компенсируется воздействием меры  $M$ . Значение меры (или ее части), необходимое для компенсации измеряемой величины, определяют по отсчетному устройству прибора ОУ. Момент компенсации в приборе сравнения, работающем в равновесном режиме, определяют при помощи указателя равновесия УР.

На преобразователь ИП прибора, работающий в неравновесном режиме (рис. 6.1, б), одновременно воздействуют измеряемая величина  $x$  и ее мера  $M$ .



*Рис. 6.1. Способы измерения мостовыми схемами:  
а — в равновесном режиме; б — в неравновесном режиме*

Разность этих воздействий преобразуется в показания прибора, отсчитываемые по отсчетному устройству ОУ. При этом прибор градуируется в единицах измеряемой величины.

Выбор типа моста и его условий работы определяется диапазоном измеряемых сопротивлений и требуемой точностью.

Использование приборов сравнения рассмотрим на примере одинарного моста постоянного тока. Четыре резистора, соединенные в замкнутый четырехугольник, образуют плечи моста (рис. 6.2). В диагональ  $AC$ , называемую *диагональю питания*, включается источник питания  $G$  через кнопку  $SB$ . Ветвь  $BD$  — *измерительная диагональ* моста. В нее включен указатель равновесия  $P$  (НП — нуль-прибор).

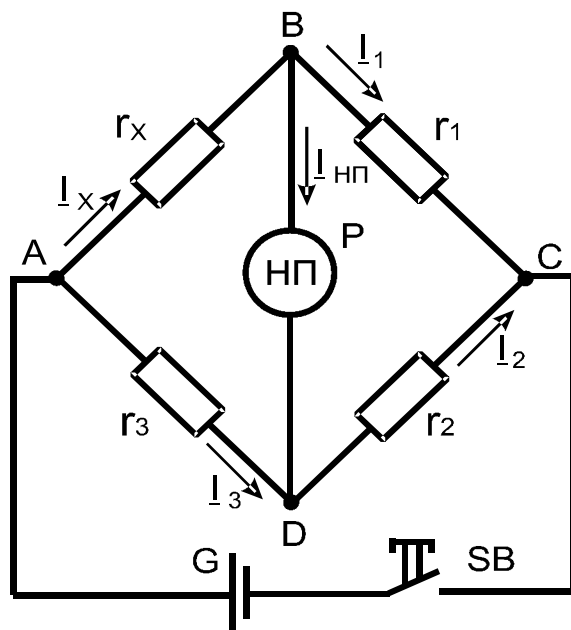


Рис. 6.2. Принципиальная электрическая схема одинарного моста постоянного тока

Падение напряжения на измерительной диагонали  $BD$  может быть равно нулю (т.е. отсутствует ток  $I_{НП}$  через указатель равновесия) при условии

$$U_{AB} = U_{AD}; \quad U_{BC} = U_{DC}.$$

Выразим падения напряжения через токи и сопротивления:

$$I_x r_x = I_3 r_3; \quad I_1 r_1 = I_2 r_2.$$

Так как  $I_2 = 0$ , то  $I_x = I_1$ ;  $I_3 = I_2$ ,

тогда 
$$I_1 r_x = I_2 r_3; \tag{6.1}$$

$$I_1 r_1 = I_2 r_2. \tag{6.2}$$

Условия равновесия одинарного моста получаются в результате деления обеих частей уравнения (6.1) на части уравнения (6.2) с одинаковыми токами:

$$r_x r_2 = r_1 r_3.$$

Таким образом, на условия равновесия одинарного моста оказывают одинаковое влияние сопротивления каждого из четырех резисторов. Сопротивление указателя равновесия и напряжение источника питания схемы на условия равновесия не влияют.

Следовательно, условием равновесия одинарного моста постоянного тока является равенство сопротивлений противолежащих плеч моста.

Таким образом, неизвестное сопротивление можно определить по формуле

$$r_x = r_1 \frac{r_3}{r_2}.$$

Каждый мост характеризуется пределом измерений сопротивлений от  $r_{\min}$  до  $r_{\max}$ . Чувствительность прибора определяется как произведение чувствительности схемы  $S_{CX}$  на чувствительность указания равновесия (гальванометра)  $S_G$ :

$$S_M = S_G S_{CX}.$$

Чувствительность схемы, в свою очередь, определяется:

$$S_G = \frac{\Delta I r}{\Delta R}.$$

Чувствительность указателя равновесия:

$$S_G = \frac{\Delta \alpha}{\Delta I r}.$$

где  $\Delta \alpha$  — угол отклонения стрелки.

#### *Методические указания к выполнению работы*

1. Изучить техническое описание моста постоянного тока Р333.
2. Произвести измерение сопротивления резисторов по указанию преподавателя.
3. Произвести измерение сопротивления ламп накаливания различной мощности. Определить ток и напряжение ламп с помощью приборов.
4. По полученным результатам и номинальным значениям исследуемых резисторов, указанным на их корпусах, определить погрешность и, соответственно, класс точности резистора.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Собрать схему измерения согласно указаниям, приведенным на крышке моста Р333. Измерить сопротивления предложенных резисторов. Заполнить таблицу 6.1.

Таблица 6.1. Результаты измерения сопротивлений резисторов

Маркировка резистора	Номинальная мощность, Вт	Номинальное сопротивление, Ом	Класс точности	Измеренная величина сопротивления, Ом	Относительная погрешность, %

2. Измерить сопротивление ламп накаливания с помощью моста Р333. Заполнить таблицу 6.2.

Таблица 6.2. Результаты измерения сопротивления ламп накаливания

Тип лампы	Номинальная мощность, Вт	Номинальное напряжение, В	Ток, А	Измеренная величина сопротивления, Ом	Рассчитанное значение мощности, Вт

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная схема моста постоянного тока.
3. Основное условие равновесия моста.
4. Таблицы с измеренными и вычисленными значениями.
5. Паспортные данные моста постоянного тока Р333.
6. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Почему мосты называют приборами сравнения? Их достоинства и недостатки.
2. Каково назначение мостов постоянного тока? Устройство и принцип действия моста постоянного тока.
3. Каково условие равновесия моста постоянного тока? Приведите схему.
4. Укажите формулу определения неизвестного сопротивления по мостовой схеме.
5. Как можно непосредственно или косвенно измерить сопротивление?
6. В чем разница активного и омического сопротивлений?

7. Приведите характеристику моста постоянного тока Р333.
8. Какие элементы электрической цепи обладают активным, индуктивным, емкостным сопротивлением?
9. Какие измерительные механизмы можно использовать в качестве нулевого указателя в мостовой схеме постоянного тока?
10. Из чего складывается погрешность измерения сопротивления мостовым методом? Какие две схемы измерения сопротивления имеются в приборе Р333?

*Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

## **Лабораторная работа 7**

### **Измерительные трансформаторы тока и напряжения**

*Цель работы:* изучить устройство, принцип действия и схемы включения трансформаторов тока и напряжения.

#### *Основные теоретические сведения*

Для расширения пределов измерения приборов широко используются шунтирующие и добавочные резисторы. Но этот метод нельзя назвать универсальным, т.к. возможности шунтирующих и добавочных резисторов ограничены. Так, шунтирующие резисторы предназначены для преобразования токов до 5 000 А, а добавочные резисторы — для преобразования напряжений до 30 кВ. Кроме того, применение вышеуказанных резисторов приводит к увеличению габаритов приборов, нестабильности их показаний, возрастанию опасности обслуживания. Поэтому при измерении значительных токов и напряжений переменного тока возможности приборов могут быть расширены при помощи измерительных трансформаторов тока и напряжения. Применение измерительных трансформаторов дает возможность измерять силу тока и напряжения в высоковольтных цепях амперметрами с диапазонами измерений 0...5 А и вольтметрами с диапазонами измерений 0...100 В. Кроме того, использование измерительных трансформаторов в высоковольтных цепях повышает безопасность обслуживания измерительных приборов, т.к. позволяет разделить силовые и измерительные цепи электрооборудования.

#### **Измерительные трансформаторы напряжения**

Устройство трансформатора напряжения показано на рисунке 7.1. По своему устройству и принципу действия он аналогичен силовому трансформатору. Обмотка высшего напряжения с большим числом витков включается в измерительную цепь, а ко вторичной обмотке с меньшим числом витков подключают измерительные приборы (вольтметры, обмотки напряжения ваттметров, счетчиков и др.).

Характерной особенностью измерительного трансформатора напряжения является большое сопротивление приборов, включаемых во вторичную цепь, вследствие чего трансформатор работает в условиях, близких к *холостому ходу*.

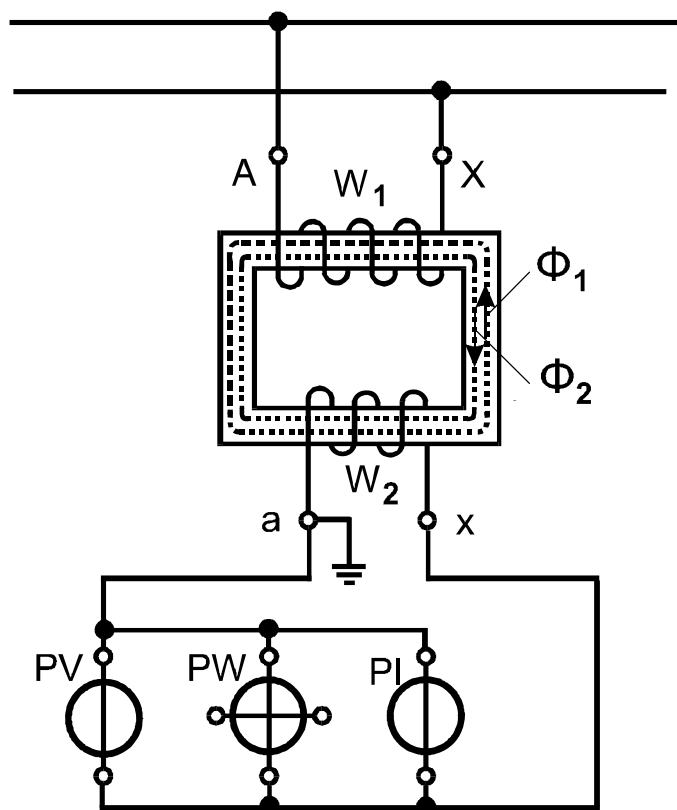


Рис. 7.1. Измерительный трансформатор напряжения

Отношение номинальных значений первичного и вторичного напряжений  $U_{1H}$  и  $U_{2H}$ , или отношение числа витков обмотки высокого напряжения  $W_1$  к числу витков обмотки низкого напряжения  $W_2$ , называют *номинальным коэффициентом трансформации трансформатора напряжения*:

$$K_U = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} \approx \frac{W_1}{W_2}.$$

Этот параметр указывают в паспортных данных трансформатора.

Вторичные цепи измерительных трансформаторов напряжения рассчитаны на напряжение 100 и 150 В, а лабораторных — на  $100\sqrt{3}$  В.

При эксплуатации трансформаторов напряжения для обеспечения безопасности обслуживания обмотку низшего напряжения заземляют.

В зависимости от значения погрешностей, трансформаторы напряжения подразделяются на следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 3,0.

Измерительные трансформаторы напряжения используются в цепях контроля напряжения сельских электрических сетей и устанавливаются преимущественно на трансформаторных подстанциях.



## Измерительные трансформаторы тока

Предназначены для преобразования измеряемых токов в стандартные (обычно 5 А, реже 1; 0,5; 0,3; 0,125 А). Первичная цепь трансформатора тока (рис. 7.2) содержит малое число витков медного или алюминиевого провода, контакты которого Л1 и Л2 (*линия*) включают в разрыв проводника с измеряемым током. К контактам И1 и И2 (*измерительный прибор*) вторичной обмотки трансформатора, число витков которой больше, чем первичной, подключают приборы, диапазон которых требует расширения по току (амперметры, токовые обмотки ваттметров, счетчиков и т.д.). Поскольку сопротивление катушек таких приборов мало, трансформаторы тока работают в условиях, близких к короткому замыканию.

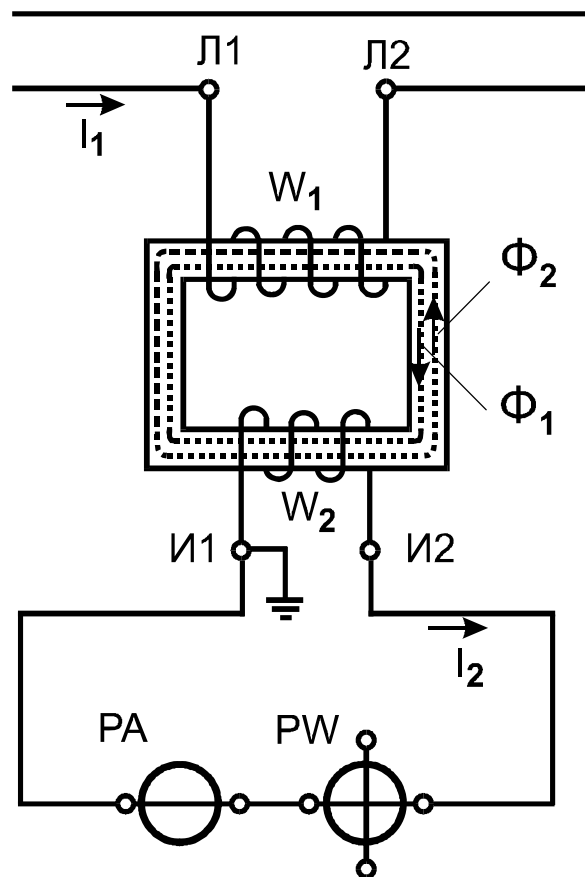


Рис. 7.2. Измерительный трансформатор тока

Номинальный коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{W_1}{W_2},$$

где  $I_1$  — ток в первичной обмотке, А;  
 $I_2$  — ток во вторичной обмотке, А.

Трансформатор тока работает следующим образом. При прохождении тока  $I_1$  по первичной обмотке в ней создается намагничивающая сила  $I_1W_1$ , которая вызывает в сердечнике появление переменного магнитного потока  $\Phi_1$ . Этот поток, пронизывая ветви вторичной обмотки, наводит в ней ЭДС  $E_2$  и, следовательно, ток  $I_2$ . Ток  $I_2$ , в свою очередь, создает намагничивающую силу  $I_2W_2$  и свой магнитный поток  $\Phi_2$ . Так как, согласно закону Ленца, этот поток направлен навстречу потоку  $\Phi_1$ , результирующий магнитный поток в сердечнике трансформатора небольшой. Поэтому во вторичной обмотке наводится небольшая ЭДС, которая вызывает появление сравнительно небольшого вторичного тока  $I_2$  практически при замкнутой накоротко вторичной обмотке.

При работе с трансформаторами тока необходимо следить за тем, чтобы вторичная обмотка при подключении первичной не оставалась разомкнутой, по следующим причинам.

При размыкании вторичной цепи, что может быть, например, при отключении амперметра, исчезает встречный магнитный поток  $\Phi_2$ , следовательно, по сердечнику начинает проходить большой переменный поток  $\Phi_1$ , который вызывает наведение большой ЭДС во вторичной обмотке трансформатора (до 1 000 В), т.к. вторичная обмотка имеет большее число витков. Наличие такой большой ЭДС нежелательно, т.к. это опасно для обслуживающего персонала и может привести к пробое изоляции вторичной обмотки, а при длительном нагреве — к пробое изоляции обеих обмоток. Поэтому надо помнить, что, если надо отключить измерительные приборы, подключенные к клеммам И1 и И2 трансформатора тока, необходимо сначала закортить либо вторичную, либо первичную обмотку трансформатора (как, например, на лабораторном трансформаторе тока, используемом в данной работе).

Выпускаемые промышленностью трансформаторы тока подразделяются на следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 4,0.

При отсутствии разметки выводов трансформатора тока можно произвести ее, используя комбинированный прибор в режиме вольтметра или вольтметр магнитоэлектрической системы. Для этого собирается схема согласно рисунку 7.3.

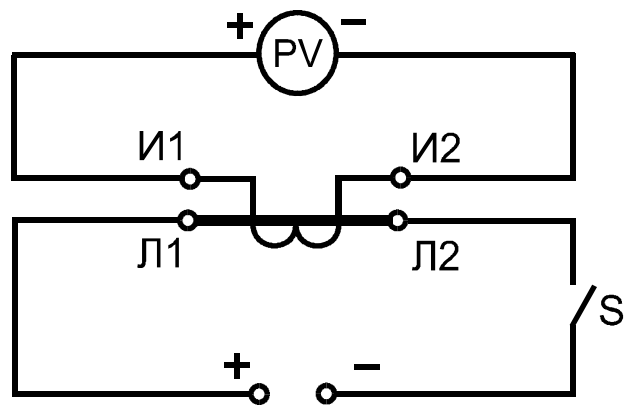


Рис. 7.3. Схема для определения маркировки выводов трансформатора тока

Начало и конец вторичной обмотки должны быть выведены таким образом, чтобы при направлении тока в первичной цепи от Л1 к Л2 ток во вторичной обмотке проходил от И1 к И2.

Если при замыкании выключателя S стрелка вольтметра отклоняется вправо, то это означает, что выводу трансформатора, соединенному с положительным зажимом вольтметра, надо присвоить обозначение И1.

Измерительные трансформаторы тока широко используются в цепях контроля параметров сельских электрических сетей и установок.

### Порядок выполнения работы

1. Произвести разметку выводов трансформатора тока согласно рисунку 7.3.

2. Собрать схему для исследования трансформатора тока и трансформатора напряжения согласно рисунку 7.4. В качестве нагрузки использовать блок резисторов R2 лабораторного стенда. Резисторы соединить в «звезду» и «треугольник».

3. Произвести замеры токов и напряжений. Данные измерений занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1. Результаты исследования измерительных трансформаторов

Схема соединения потребителей	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$K_U$	$K_I$	$S$ , В·А

4. По данным измерений определить коэффициенты трансформации по току и напряжению, полную мощность потребителя.

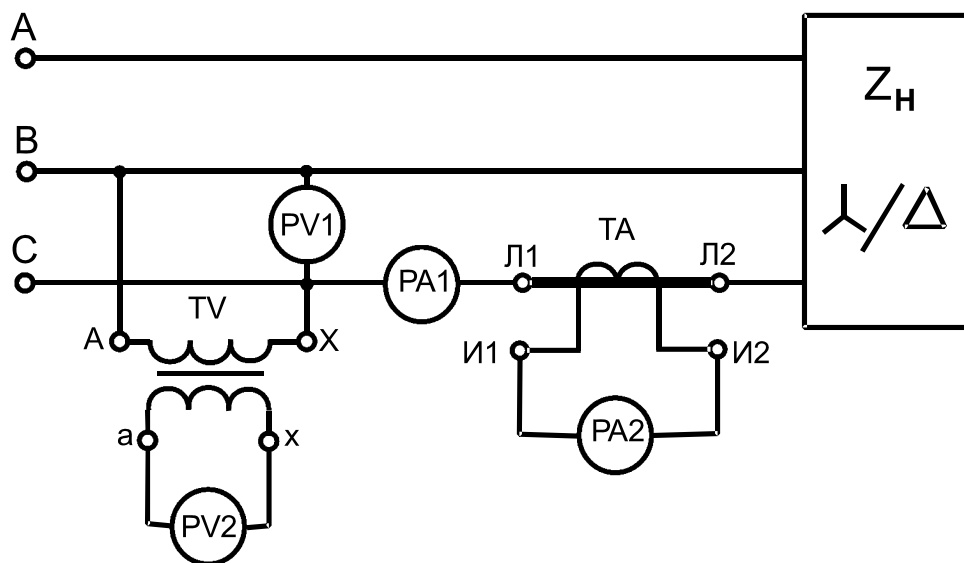


Рис. 7.4. Схема для исследования измерительных трансформаторов

Полная мощность потребителя  $S$ , В·А, определяется по формуле

$$S = \sqrt{3}U_{л} I_{л}.$$

#### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Паспортные данные приборов, используемых в работе.
3. Схемы исследований.
4. Таблица с результатами измерений и вычислений.
5. Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены измерительные трансформаторы тока и напряжения?
2. Каковы устройство и принцип действия трансформатора напряжения?
3. Каковы устройство и принцип действия трансформатора тока?
4. Каковы требования техники безопасности при измерениях с использованием трансформаторов тока?
5. Как учитываются действительные показания приборов, включенных через ТН и ТТ?

6. Какие приборы можно подключать к вторичным обмоткам ТН и ТТ?
7. Как производится разметка зажимов измерительного трансформатора тока?

*Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

## Лабораторная работа 8

### Измерение активной мощности

*Цель работы:* изучить методы измерения активной мощности в однофазных и трехфазных цепях переменного тока.

#### Основные теоретические сведения

Для измерения мощности в цепях постоянного тока, а также активной и реактивной мощности в цепях переменного тока в лабораторной практике в основном используют электродинамические и ферродинамические измерительные механизмы. В цепях с высокими частотами применяются электронные ваттметры.

Ваттметр электродинамической системы состоит из неподвижной катушки  $I$  (рис. 8.1), которая включается в цепь нагрузки последовательно и называется *последовательной катушкой* ваттметра (токовой катушкой). Подвижная катушка  $2$  включается параллельно нагрузке и называется *параллельной катушкой* ваттметра (катушкой напряжения).

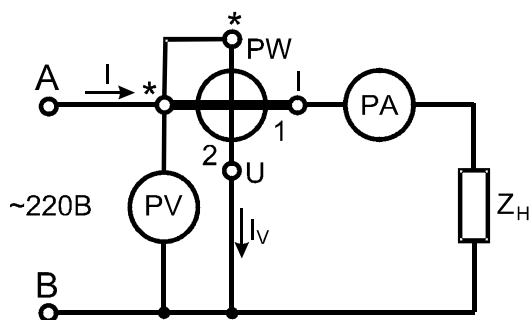


Рис. 8.1. Схема включения ваттметра для измерения активной мощности в однофазной цепи

При подключении электродинамических ваттметров следует помнить, что они *полярны* как в цепях постоянного, так и в цепях переменного тока. Чтобы обеспечить правильное (в сторону шкалы) отклонение стрелки прибора от нуля, начала и концы обмоток ваттметра маркируют: начала обмоток — звездочками «\*», а концы обмоток — «I» или «U», в зависимости от вида обмотки. Зажимы «\*» называют также *генераторными*.

Для контроля тока и напряжения обмоток  $I$  и  $U$  ваттметра вместе с ваттметром в цепь включают амперметр и вольтметр.

Если принять то, что нагрузка носит индуктивный характер, то векторная диаграмма для цепи будет иметь вид, показанный на рисунке 8.2.

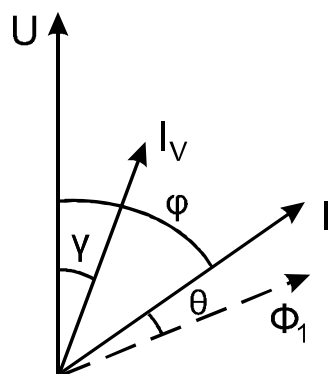


Рис. 8.2. Векторная диаграмма для цепи с ваттметром

Вектор тока  $I_V$  отстает от вектора  $U$  на угол  $\gamma$  вследствие некоторой индуктивности подвижной катушки;  $\theta$  — угол между векторами тока  $I$  и потока  $\Phi_1$  в зазоре сердечника, зависящий от потерь в нагрузке и вихревых потоков в сердечнике.

В цепях с силой тока и напряжением, превышающими диапазон измерений прибора по току и напряжению, ваттметры необходимо включать через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Мощность цепи в этом случае определяется как произведение показания ваттметра на коэффициенты трансформации трансформатора тока  $K_I$  и трансформатора напряжения  $K_U$ :

$$P = P_W K_I K_U.$$

В трехфазных цепях мощность измеряют одним или несколькими ваттметрами. В трехпроводной трехфазной системе с симметричной нагрузкой для измерения активной мощности используют один ваттметр (рис. 8.3, а и б).

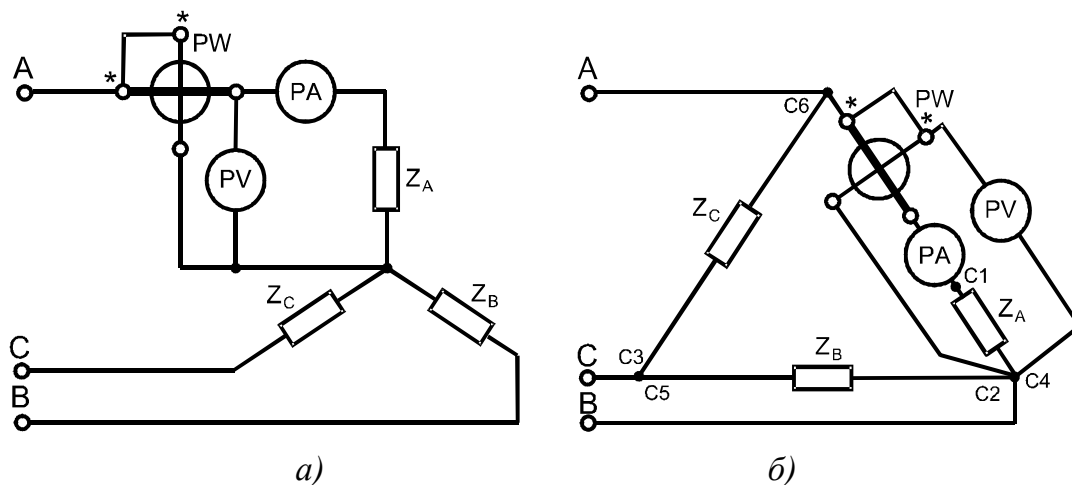


Рис. 8.3. Схемы измерения активной мощности трехфазной системы с симметричной нагрузкой: а — «звезда»; б — «треугольник»

Мощность всей системы определяется произведением показаний ваттметра на 3. Для обеих систем:

$$P = 3P_w = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi.$$

При соединении приемника электроэнергии по схеме «треугольник» или «звезда» с недоступной нулевой точкой в цепях с симметричной нагрузкой возможны две схемы включения (рис. 8.4 и 8.5).

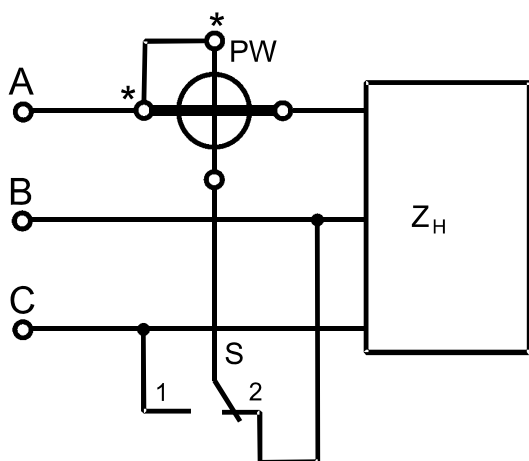


Рис. 8.4. Схема измерения мощности в цепи с переключателем

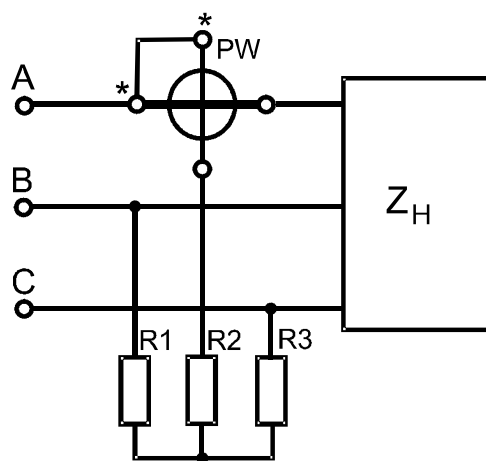


Рис. 8.5. Схема измерения мощности в цепи с искусственной звездой

В схеме с переключателем (см. рис. 8.4) по последовательной цепи прибора протекает ток  $I_A$ , а параллельная может переключаться на линейные напряжения  $U_{AC}$  или  $U_{AB}$ . Для этой схемы

$$P = P_{w1} + P_{w2} = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi,$$

где  $P_{w1}$  и  $P_{w2}$  — мощность, измеряемая при переключении обмотки напряжения в положениях 1 и 2.

Схема с искусственной звездой (см. рис. 8.5) не требует переключения параллельной цепи прибора. В этом случае последовательно с катушкой напряжения включается резистор — один из элементов звезды, которая создается из условия

$$R_1 = R_3 = R_2 + R_w,$$

где  $R_w$  — сопротивление параллельной цепи ваттметра.

Мощность в этом случае определяется

$$P = 3P_w = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi.$$

Активная мощность в трехфазных трехпроводных цепях независимо от схем соединения и характера приемников энергии может быть измерена двумя ваттметрами (рис. 8.6 а, б, в).



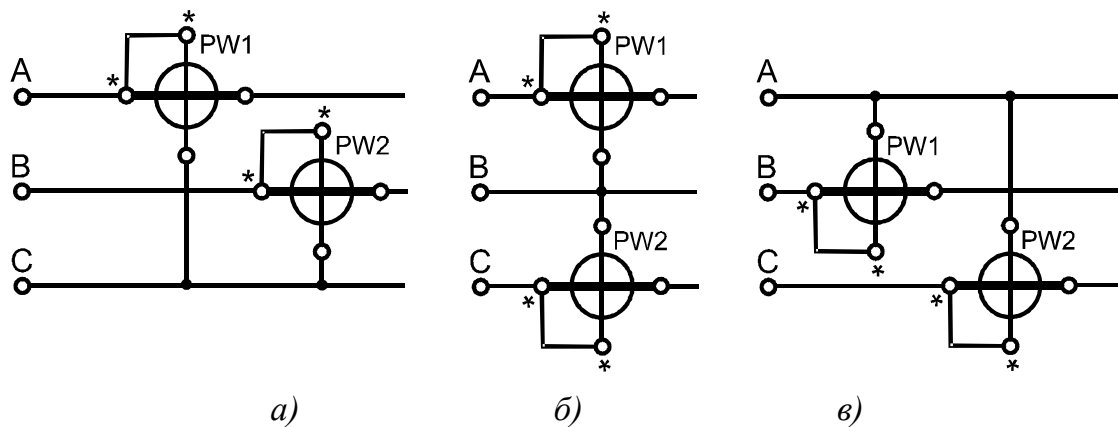


Рис. 8.6. Измерение мощности двумя ваттметрами:  
а, б, в — варианты включений

Мощность потребителя:

$$P = P_{w_1} + P_{w_2} = \sqrt{3}U_{Л} I_{Л} \cos\varphi.$$

В производственных условиях для измерения мощности используются трехфазные двухэлементные ваттметры. В основу их конструкции положен метод измерения мощности двумя ваттметрами.

В четырехпроводных трехфазных цепях активную мощность измеряют однофазными или трехфазными (трехэлементными) ваттметрами. Схема включения трех однофазных ваттметров показана на рисунке 8.7.

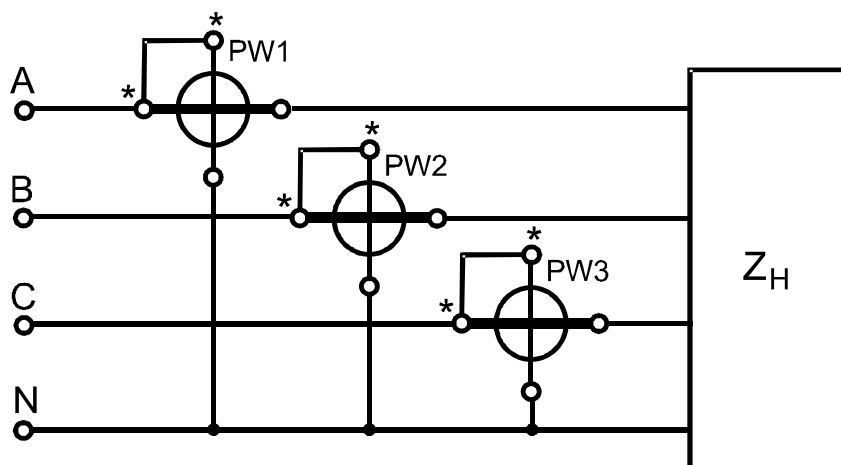


Рис. 8.7. Измерение активной мощности  
три ваттметрами

Мощность системы определяется арифметической суммой показаний ваттметров:

$$P = P_{w_1} + P_{w_2} + P_{w_3}.$$

Трехэлементный ваттметр конструктивно выполняется в виде трех измерительных электродинамических механизмов, действующих на одну подвижную часть. Результирующий момент прибора пропорционален активной мощности цепи.

### *Порядок выполнения работы*

1. Произвести измерения активной мощности однофазной нагрузки согласно рисунку 8.1. В качестве однофазной нагрузки использовать лампу накаливания. Данные измерений занести в таблицу 8.1.

2. Произвести измерение активной мощности трехфазной нагрузки согласно рисункам 8.3, 8.6, 8.7. В качестве нагрузки использовать трехфазный асинхронный двигатель, обмотки которого соединить по схемам «звезда» и «треугольник». Результаты измерения активной мощности занести в таблицу 8.1.

*Таблица 8.1. Результаты измерения активной мощности нагрузки, Вт*

Одно-фазная нагрузка	Трехфазная симметричная нагрузка методом одного ваттметра		Трехфазная трехпроводная нагрузка методом двух ваттметров						Трехфазная четырехпроводная нагрузка
	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y

### *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы измерений.
3. Таблица с результатами измерений.
4. Паспортные данные приборов, используемых в работе.
5. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы устройство и принцип действия приборов электродинамической и ферродинамической систем?
2. Какая нагрузка называется: симметричной, несимметричной, равномерной, однофазной?
3. Как измеряется мощность в однофазной цепи?
4. Как измерить мощность симметричной трехфазной нагрузки?
5. Как измерить мощность при недоступной нулевой точке?

6. С какой целью рядом с ваттметром включают амперметр и вольтметр?
7. Как измерить мощность несимметричной трехфазной нагрузки?
8. Опишите устройство двух- и трехэлементных ваттметров, укажите область их применения.

*Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

## Лабораторная работа 9

### Изучение и использование электронного двухлучевого осциллографа

*Цель работы:* изучить устройство, принцип действия электронного осциллографа С1-83 и научиться производить с его помощью электрические измерения.

#### *Основные теоретические сведения*

*Электронно-лучевой осциллограф* — это прибор, предназначенный для визуального наблюдения, измерения и регистрации процессов, изменяющихся во времени. В настоящей работе используется двухлучевой (двухканальный) осциллограф С1-83, который может быть применен для одновременного исследования двух сигналов.

Структурная схема осциллографа показана на рисунке 9.1.

Осциллограф содержит:

- осциллографический индикатор — электронно-лучевую трубку ЭЛТ;
- входные делители (аттенюаторы), позволяющие получить сигналы, удобные для наблюдения на экране ЭЛТ;
- предварительные усилители каналов I и II;
- диодные ключевые схемы (линии задержки). Используются при работе осциллографа в импульсном режиме. Позволяют подавать номинальный импульсный сигнал на канал Y с задержкой относительно начала периода пилообразного напряжения;
- коммутатор (мультивибратор) управляет диодными ключевыми схемами. Вертикальные каналы, в зависимости от режимов работы мультивибратора, могут работать в одном из следующих режимов: «I»; «I+II»; «←→→»; «II»; «X–Y» (см. лицевую панель);
- промежуточный усилитель, с выхода которого снимается сигнал для внутренней синхронизации от канала I, а также сигнал, поступающий на внешнее гнездо XS3 и на выходной усилитель X при работе осциллографа в режиме «X–Y»;
- калибратор амплитуды и длительности — источник напряжений с известной амплитудой и длительностью;
- выходной усилитель Y, подающий усиленный сигнал на отклоняющие пластины ЭЛТ;

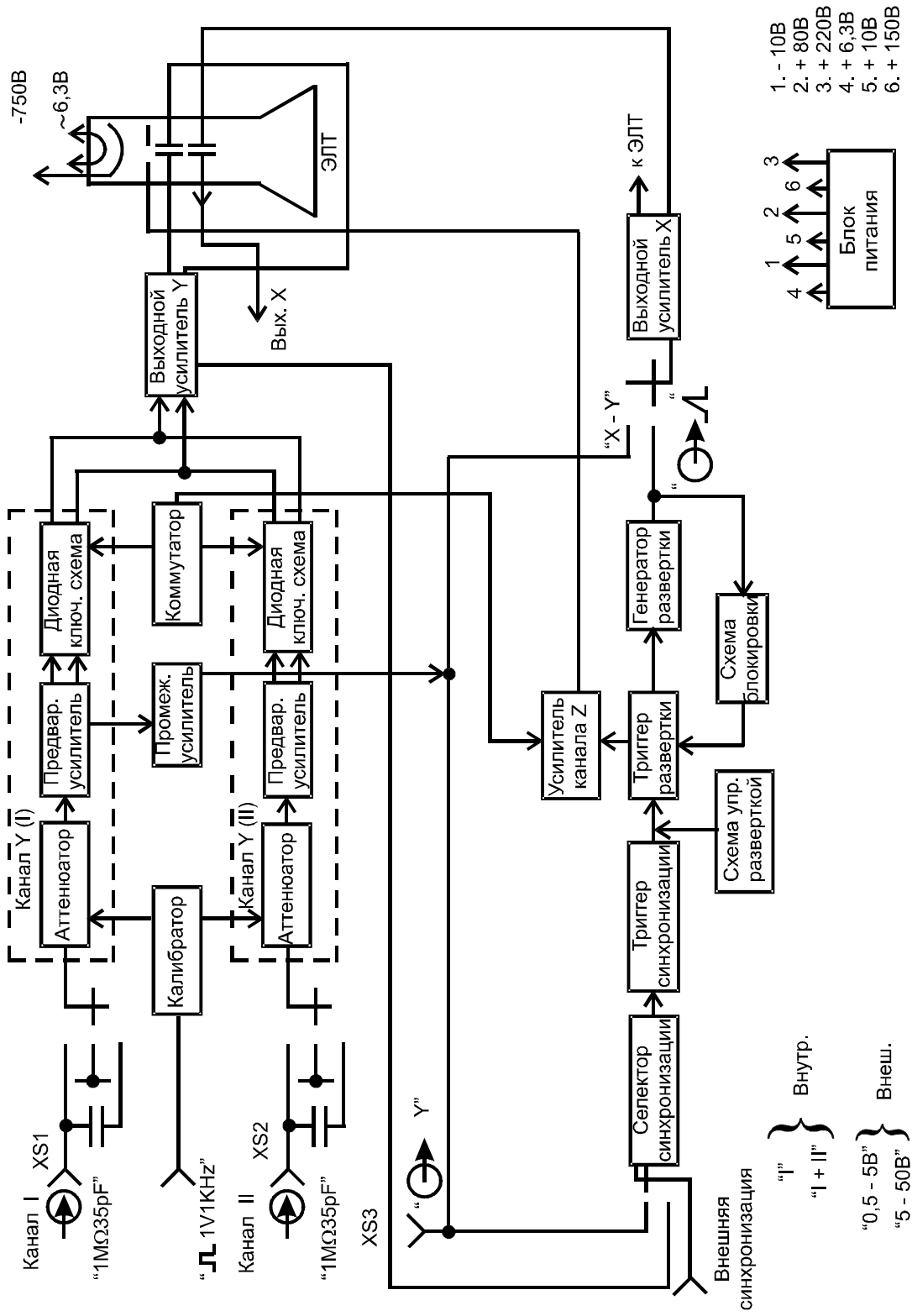







Рис. 9.1. Структурная схема электронного двухлучевого осциллографа

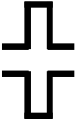

- селектор, служащий для выбора вида синхронизации;
- триггер синхронизации, усиливающий исследуемый сигнал и преобразующий его в импульсы, запускающие генератор пилообразного напряжения;
- схема управления разверткой, запускающая генератор развертки сигнала;
- триггер развертки, подающий сигнал на усилитель канала Z (управление яркостью свечения сигнала);
- генератор пилообразного напряжения (генератор развертки). Пилообразное напряжение необходимо для временной развертки луча ЭЛТ;
- схема блокировки, предупреждающая повторный запуск развертки при обратном ее ходе и обеспечивающая работу генератора развертки в автоматическом режиме;
- выходной усилитель X, усиливающий пилообразное напряжение, поступающее от генератора пилообразного напряжения до величины, необходимой для нормальной работы ЭЛТ;
- блок питания, обеспечивающий схему необходимым питающим напряжением.

Основные органы управления и настройки размещены на левой панели осциллографа, а их функции обозначены надписями. При этом символ  предупреждает о недопустимости нажатия двух и более кнопок.

### Органы управления ЭЛТ

-  — регулировка яркости изображения;
-  — регулировка четкости (фокусировка) изображения;
-  — астигматизм луча;
-  — регулировка освещения шкалы.



## Органы управления вертикальным отклонением луча

V/ДЕЛ	— переключатель входа осциллографа, с помощью которого выбирается коэффициент отклонения луча первого и второго каналов. При этом:
□	— для регулирования коэффициентов отклонения луча ступенчато;
□	— для регулирования коэффициентов отклонения луча плавно;
↕	— ручки регулирования положения лучей по вертикали (совмещены с переключателем коэффициента усиления каналов «×1» и «×10»);
⊕ 1MΩ35pF	— входы исследуемых сигналов;
~	— закрытый вход (через конденсатор);
≈	— открытый вход (без конденсатора);
≈ НЧ	— то же, но подключается фильтр нижних частот;
⊥	— для включения входа делителя на корпус;
I	— для наблюдения за изображением сигнала, действующего на первом канале;
II и X-Y	— то же для второго канала;
I ± II	— для наблюдения алгебраической суммы сигналов, действующих на входах I и II;
---	— для наблюдения изображения первого и второго каналов, переключаемых с частотой 100 кГц;
→ →	— для наблюдения изображения первого и второго каналов с переключением после каждого прямого хода развертки;
	— фаза сигнала во втором канале не изменяется;
	— фаза сигнала во втором канале изменяется на 180°.

## Органы управления синхронизацией

УРОВЕНЬ	— с его помощью выбирают уровень исследуемого сигнала для запуска развертки;
ВНУТР. I	— развертка синхронизируется сигналом первого канала;
ВНУТР. II	— то же, но обоих каналов;
0,5–5 и 5–50	— развертка синхронизируется внешним сигналом 0,5-5 и 5-50 В соответственно;
X–Y	— вход усилителя «X» отключается от генератора развертки и подключается к первому каналу;
~ и $\simeq$	— закрытый и открытый входы синхронизации;
+, –	— полярности синхронизируемого сигнала.

## Органы управления разверткой

ВРЕМЯ/ДЕЛ	— калибровка развертки, когда ручка $\square$ находится в крайнем правом положении;
ПЛАВНО	— плавное регулирование коэффициентов развертки;
$\leftrightarrow$	— перемещение лучей по горизонтали;
$\times 1$ и $\times 0,2$	— переключатель увеличения скорости развертки в 1 и 5 ( $\times 0,2$ ) раза;
АВТ	— для получения пилообразного напряжения независимо от запускающего сигнала;
ЖДУЩ	— запуск развертки возможен только при наличии синхронизирующего сигнала;
ПИТАНИЕ	— включение и выключение питания;
	— соответствует нажатому положению клавиши;
	— соответствует отжатому положению клавиши.



Органы управления и присоединения,  
расположенные на левой боковой стенке прибора

$\perp$	— корпус прибора;
$\ominus \rightarrow \square 1V1kHz$	— гнездо выхода калибратора;
$\ominus \rightarrow Y$	— выход первого канала;
$\square, -$	— переключение выхода калибратора с постоянного напряжения на переменное;
БАЛАНСИР. I, БАЛАНСИР. II	— балансировка усилителей каналов I и II.

Органы управления, расположенные  
на правой боковой стенке прибора

$\perp$	— корпус прибора;
$\ominus \rightarrow \Delta$	— гнездо выхода пилообразного напряжения;
$\square \times 1$	— калибровка скорости развертки;
$\square \times 0,2$	— калибровка скорости развертки при растяжке.

Органы, расположенные  
на задней панели прибора

СЕТЬ	— разъем для подсоединения шнура питания к сети или источнику постоянного напряжения;
1A, 2A	— держатели предохранителей;
220 V 50 Hz 115 V 400 Hz	— тумблер для переключения питания на соответствующее напряжение сети;
$\equiv, \sim$	— тумблер для переключения питания при работе от источника постоянного напряжения или от сети переменного тока;
$\ominus \rightarrow Z$	— гнездо для подачи сигнала, модулирующего луч по яркости;
$\perp$	— клемма для заземления корпуса прибора.

## Методические указания к проведению измерений

### Измерение амплитудного значения напряжения

Для измерения амплитудного значения напряжения  $U_m$  выполнить следующие операции:

- 1) подать сигнал на гнездо  $\oplus 1\text{M}\Omega 35\text{pF}$  одного из каналов;
- 2) установить переключатель режима работы усилителя на требуемый канал;
- 3) установить переключатели V/ДЕЛ и « $\times 1$ », « $\times 10$ » в такое положение, чтобы амплитуда изображения составляла больше половины шкалы;
- 4) установить переключатель « $\sim \perp \simeq$ » в положение « $\sim$ »; переключатель « $+$ ,  $-$ » — в положение « $-$ »;
- 5) ручкой УРОВЕНЬ установить устойчивое изображение. Поставить переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ в положение, при котором наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;
- 6) установить ручку  $\updownarrow$  вертикального смещения так, чтобы изображение было симметрично относительно центральной горизонтальной оси. Ручкой  $\leftrightarrow$  горизонтального перемещения сместить изображение таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на вертикальной средней линии шкалы (рис. 9.2);

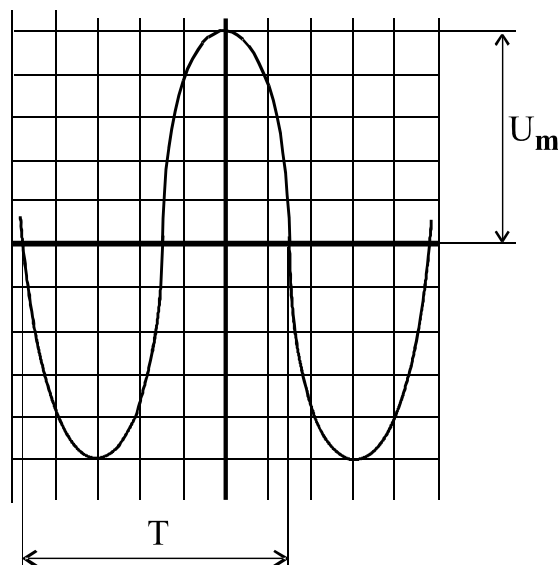


Рис. 9.2. Измерение амплитудного значения напряжения и частоты сигнала

- 7) измерить расстояние в делениях между горизонтальной осью и верхней точкой амплитуды. Ручка  $\square$  должна быть установлена в крайнем правом положении;
- 8) умножить расстояние, измеренное выше, на показания переключателей V/ДЕЛ и « $\times 1$ ,  $\times 10$ ».

*Пример 1.* Расстояние в делениях от верхнего максимума кривой до оси X составляет 5 делений, используется делитель 1:10, переключатель V/ДЕЛ установлен в положение «5 mV», а переключатель « $\times 1$ ,  $\times 10$ » установлен в положение « $\times 10$ ».

Напряжение амплитуды составляет:

$$U_m = 5 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10 = 2\,500 \text{ мВ.}$$

### Измерение частоты периодических сигналов

Для измерения частоты периодических сигналов необходимо измерить длительность времени одного периода сигнала. Для этого нужно сделать следующее:

- подать сигнал на гнездо  $\rightarrow 1\text{M}\Omega 35\text{pF}$ ;
- установить переключатель V/ДЕЛ в такое положение, чтобы расстояние между измеряемыми точками составило не менее 10 делений;
- установить ручкой УРОВЕНЬ устойчивое изображение на экране ЭЛТ;
- переместить ручкой  $\updownarrow$  изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились на горизонтальной центральной линии;
- установить ручкой  $\leftrightarrow$  изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились в пределах десяти центральных делений сетки;
- умножить горизонтальное расстояние, измеренное выше, на коэффициент развертки и положение переключателя « $\times 1$ ,  $\times 0,2$ » (рис. 9.2).

*Пример.* Расстояние между измеренными точками составляет 6 делений (см. рис. 9.2), переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ установлен в положение «0,2 mS», а переключатель « $\times 1$ ,  $\times 0,2$ » — в положение « $\times 1$ ». Длительность сигнала будет:  $T = 0,2 \cdot 6 \cdot 1 = 1,2 \text{ мс.}$

После этого рассчитать частоту сигнала  $f_c$  по формуле

$$f_c = \frac{1}{T},$$

где  $f_c$  — частота сигнала, Гц;

$T$  — длительность периода, с.

### Сравнение фаз между двумя сигналами

Для того чтобы сравнить фазы между двумя сигналами, необходимо выполнить следующие операции:

- 1) установить переключатели « $\sim$ ,  $\perp$ ,  $\simeq$ » обоих каналов в одинаковое положение;
- 2) установить переключатель режима работы делителя в положение «---» или « $\rightarrow \rightarrow$ ». Режим «---» обычно используется при низкочастотных сигналах;
- 3) установить переключатель синхронизации в положение ВНУТР. I;
- 4) подать опорный сигнал на вход канала I, а сравниваемый — на вход канала II. Опорный сигнал должен предшествовать сравниваемому по времени;
- 5) установить переключателями V/ДЕЛ и ручками  $\triangleright$  обоих каналов идентичные изображения около 6-7 делений по амплитуде;
- 6) установить ручкой УРОВЕНЬ устойчивое изображение;
- 7) установить переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ на скорость развертки, обеспечивающую один цикл сигналов на экране;
- 8) переместить кривые сигналов к центру градуированной линии ручками  $\updownarrow$ ;
- 9) измерить период одного сигнала  $l_1$  (рис. 9.3) в делениях шкалы;
- 10) измерить разность по горизонтали между соответствующими точками сигналов  $l_2$  (в делениях шкалы);
- 11) вычислить фазовый сдвиг по формуле

$$\varphi = \frac{l_2}{l_1} 360^\circ,$$

где  $l_2$  — горизонтальная разность фаз,

$l_1$  — период опорного сигнала.

*Пример:*  $l_2 = 1$  дел.,  $l_1 = 3,3$  дел.

$$\varphi = \frac{1}{3,3} 360^\circ = 109^\circ.$$

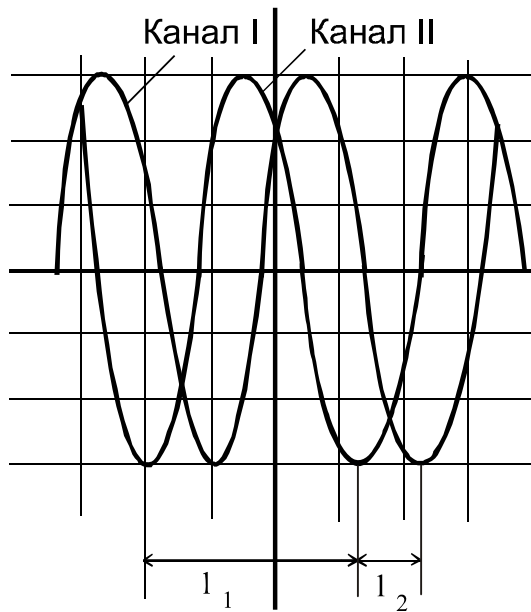


Рис. 9.3. Определение угла сдвига фаз

### Порядок выполнения работы

1. Произвести измерения амплитудного значения напряжения и частоты. Сигнал на гнездо « $\text{⊕}1\text{M}\Omega35\text{pF}$ » подается с клемм лабораторного стенда («ABCN» или «0...240 В»).

2. Вычислить действующее значение напряжения, среднее значение напряжения за одну полуволну, длину волны и угловую частоту.

Действующее значение напряжения:

$$U_{\text{дейст}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707U_m.$$

Среднее значение напряжения за одну полуволну:

$$U_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi}U_m = 0,63U_m.$$

Длина волны, м:

$$\lambda = \vartheta T = \frac{\vartheta}{f},$$

где  $\vartheta$  — скорость света, м/с.

Угловая частота, рад/с:

$$\omega = 2\pi f.$$

3. Определить разность фаз, подключив входы « $\text{⊕}1\text{M}\Omega35\text{pF}$ » на 220 или 127 В к входам «ABCN» стенда.

4. По окончании работ отключить питание стенда.

## *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Структурная схема осциллографа С1-83.
3. Осциллограммы, полученные в результате опытов.
4. Результаты измеренных и вычисленных величин.
5. Выводы по работе.

## *Контрольные вопросы*

1. Указать назначение, устройство и принцип действия электронного осциллографа.
2. Каковы устройство и принцип действия электронной трубки?
3. Как формируется сигнал развертки на осциллографе?
4. Что такое напряжение развертки? Период развертки?
5. Что называется осциллограммой?
6. Что называется синхронизацией? Виды синхронизации.
7. Что называется электронной пушкой?
8. Дать описание структурной схемы осциллографа С1-83 с пояснением каждого из элементов схемы.
9. Описать органы управления осциллографом С1-83.
10. Как измерить при помощи осциллографа напряжение, частоту тока и разность фаз?
11. Что называется амплитудным значением напряжения? Действующим значением? Средним значением?
12. Каково назначение канала Z и какие устройства он в себя включает?
13. Каково назначение канала X и какие устройства он в себя включает?
14. Каково назначение канала Y и какие устройства он в себя включает?
15. Что называется длиной волны?
16. Почему для развертки напряжения в осциллографах используется напряжение пилообразной формы?
17. Каковы условия получения неподвижного изображения на экране осциллографа?

## *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.

## Лабораторная работа 10 Измерение реактивной мощности

*Цель работы:* изучить методы измерения реактивной мощности в однофазных и трехфазных цепях переменного тока.

### *Основные теоретические сведения*

Несмотря на то, что реактивная мощность не определяет ни совершаемой работы, ни передаваемой энергии за единицу времени, ее измерение имеет большое народнохозяйственное значение в энергетических установках. Это объясняется тем, что наличие реактивной мощности приводит к дополнительным потерям электрической энергии в электрических цепях. Как известно, в технике под реактивной мощностью понимается выражение

$$Q = UI \sin \varphi.$$

Реактивный ваттметр или варметр имеет, в отличие от обычного, усложненную схему параллельной цепи, в которую включены активное и реактивное сопротивления для получения сдвига фаз в приборе между векторами тока и напряжения (рис. 10.1).

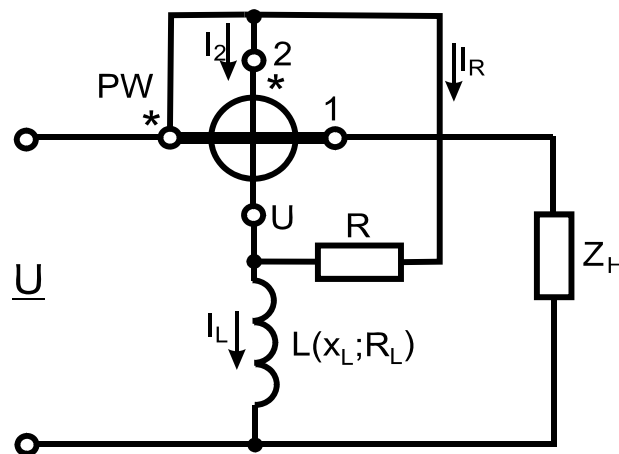


Рис. 10.1. Принципиальная электрическая схема варметра

Векторная диаграмма такого прибора показана на рисунке 10.2.

Вектор тока  $I_2$  будет отставать от вектора напряжения  $U_{AB}$ , а вектор тока  $I_R$  будет совпадать по фазе с вектором  $U_{AB}$ . Подбором параметров схемы можно получить угол сдвига фаз между векторами тока  $I_2$  и напряжением  $U$ , равный  $90^\circ$ .

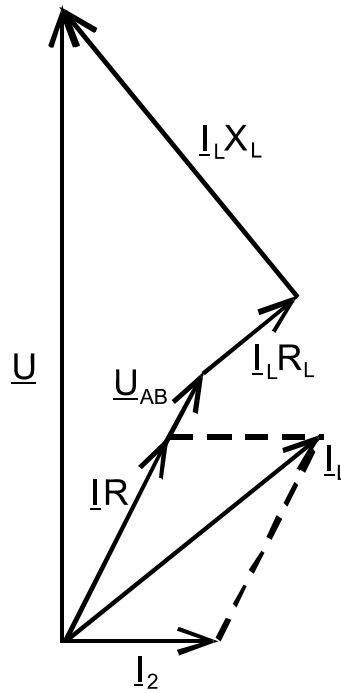


Рис. 10.2. Векторная диаграмма  
ваттметра

Недостатком такого прибора является зависимость показаний от частоты, кроме того, наличие шунтирующего сопротивления  $R$  приводит к уменьшению вращающего момента прибора.

Измерить реактивную мощность в цепи можно и при помощи обычного ваттметра. Для этого нужно обеспечить в приборе фазовый сдвиг между векторами тока и напряжения:

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \sin \varphi.$$

Такой сдвиг фаз можно получить, включив последовательную цепь ваттметра, так же, как и при измерении активной мощности, а параллельную — на такое напряжение, которое обеспечивало бы отставание от напряжения, подаваемого на эту цепь при измерении ваттметром активной мощности (рис. 10.3).

Показание ваттметра для данной схемы:

$$P_W = U_{BC} I_A \cos(U_{BC}, I_A) = U_{BC} I_A \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = U_{BC} I_A \sin \varphi = Q.$$

Реактивная мощность системы будет равна показаниям ваттметра, умноженным на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = \sqrt{3} P_W.$$



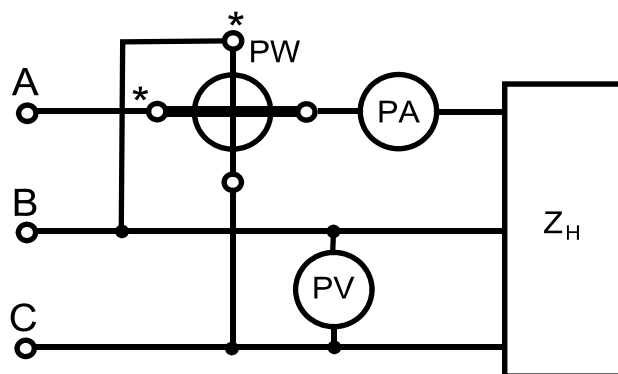


Рис. 10.3. Схема включения ваттметра для измерения реактивной мощности в однофазной цепи

Векторная диаграмма трехфазной цепи при измерении реактивной мощности показана на рисунке 10.4.

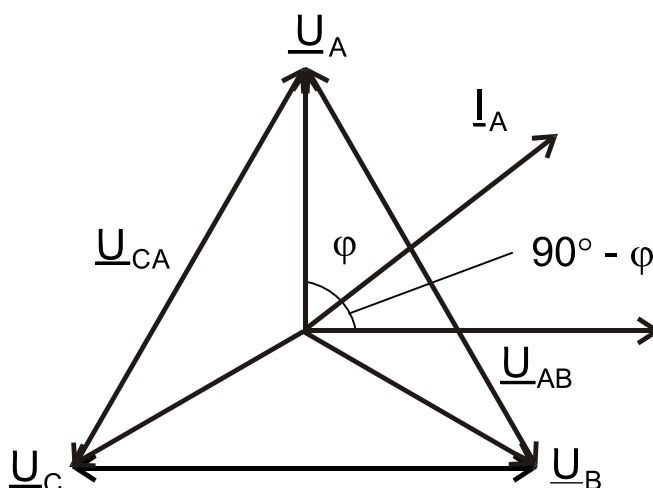


Рис. 10.4. Векторная диаграмма трехфазной цепи при измерении реактивной мощности

Данная схема используется для измерения реактивной мощности при симметричной нагрузке.

Для того чтобы правильно подключить обмотки ваттметра к сети, необходимо определить последовательность чередования фаз согласно схеме, представленной на рисунке 10.5.

Если при подаче напряжения на схему одна из ламп горит ярче, чем другая, то она включена в опережающую фазу *B*. Тогда другая лампа будет включена в отстающую фазу *C*.

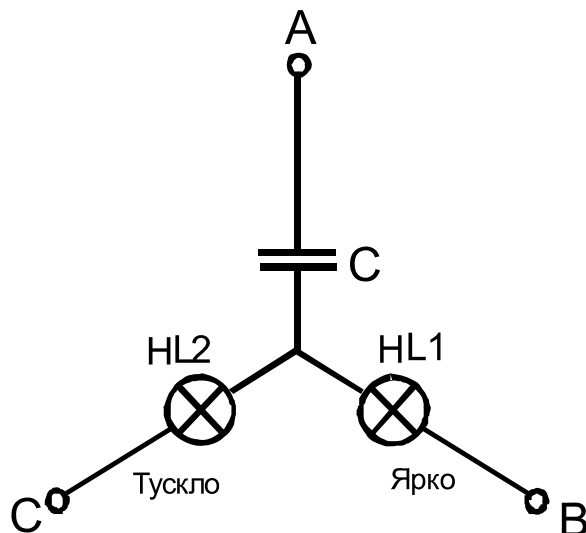


Рис. 10.5. Схема для определения последовательности чередования фаз

Емкость конденсатора подбирают, исходя из нижеследующих условий:

$$R_{EL} \approx X_C, \quad R_{EL} = \frac{U_C^2}{P_{EL}}, \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

где  $R_{EL}$  — сопротивление лампы, Ом;

$U_C$  — напряжение сети, В;

$P_{EL}$  — номинальная мощность лампы, Вт.

Недостаток схемы с одним ваттметром — большая погрешность даже при незначительной асимметрии нагрузки. Меньшая погрешность получается при использовании двух ваттметров (рис. 10.6).

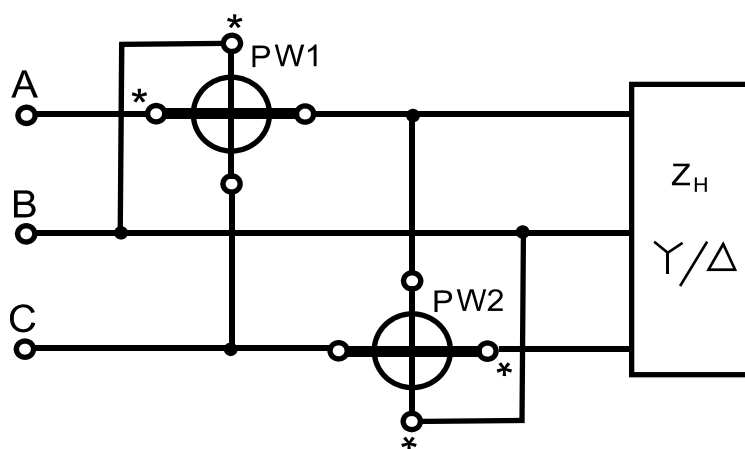


Рис. 10.6. Схема для измерения реактивной мощности двумя ваттметрами

При симметричной нагрузке:

$$P_{W1} + P_{W2} = 2U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \sin \varphi.$$

Для получения реактивной мощности необходимо использовать коэффициент  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ :

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} 2U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \sin \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2} (P_{W1} + P_{W2}).$$

Реактивную мощность трехфазной реактивной системы можно определить косвенно по показаниям двух ваттметров, включенных по одной из схем (рис. 10.7, а, б, в).

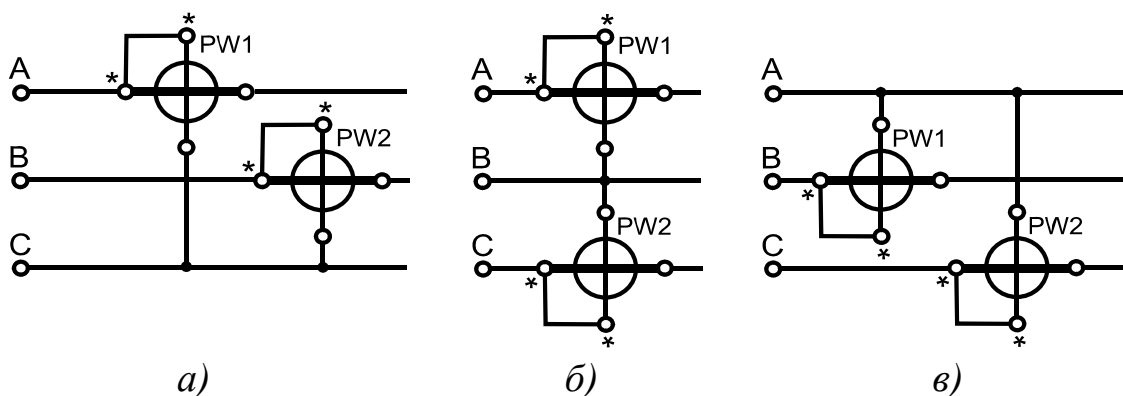


Рис. 10.7. Схемы для измерения реактивной мощности косвенным методом по показаниям двух ваттметров

Реактивная мощность в этом случае определится как:

$$Q = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \sin \varphi = \sqrt{3} (P_{W1} - P_{W2}),$$

где  $P_{W1}$  — показание ваттметра, включенного в опережающую фазу;  
 $P_{W2}$  — показание ваттметра, включенного в отстающую фазу.

Для измерения реактивной мощности в трехпроводной несимметричной системе используют два ваттметра с включением обмоток напряжения на искусственную звезду (рис. 10.8).

Необходимое условие измерения:

$$R = R_1 + R_{W1} = R_2 + R_{W2},$$

где  $R_{W1}$  и  $R_{W2}$  — сопротивления параллельных ветвей ваттметров.

Сумма показаний ваттметров:

$$\begin{aligned} P_{W1} + P_{W2} &= U_C I_A \cos(60^\circ - \varphi) + U_C I_A \cos(120^\circ - \varphi) = \\ &= \sqrt{3} U_{\varphi} I_{\varphi} \sin \varphi = \sqrt{3} Q_{\varphi}. \end{aligned}$$

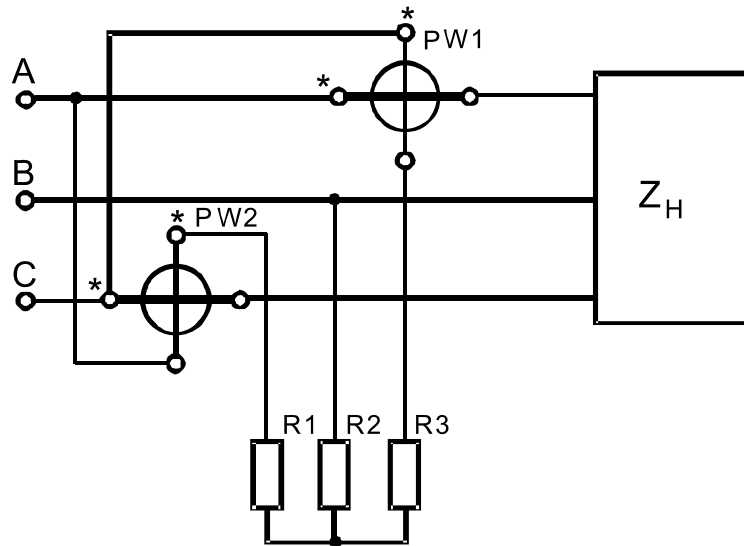


Рис. 10.8. Схема измерения реактивной мощности с включением обмоток напряжения на искусственную звезду

Векторная диаграмма для данной цепи изображена на рисунке 10.9.

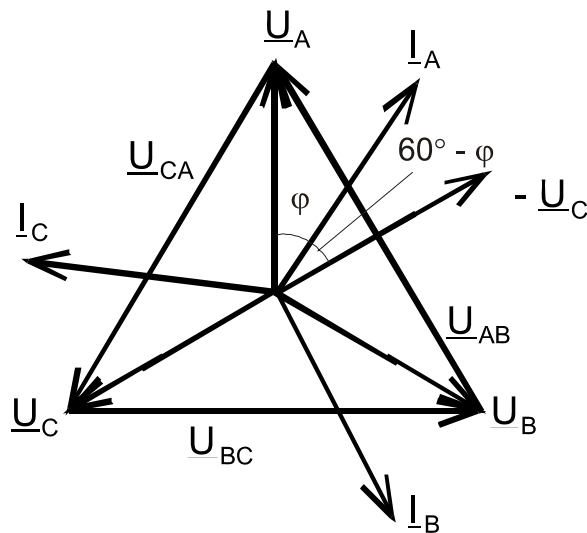


Рис. 10.9. Векторная диаграмма для схемы измерения реактивной мощности с включением обмоток напряжения на искусственную звезду

В четырехпроводной цепи реактивная мощность может быть определена по показаниям трех ваттметров (рис. 10.10).

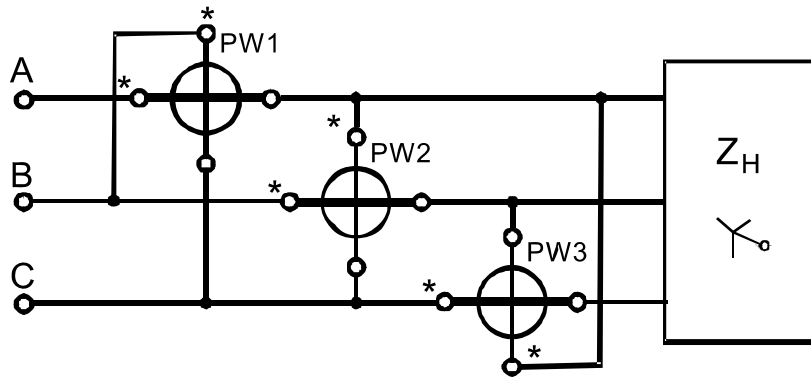


Рис. 10.10. Схема измерения реактивной мощности при помощи трех ваттметров

Независимо от степени равномерности нагрузки реактивная мощность системы определяется делением суммы показаний ваттметра на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = \frac{P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}}{\sqrt{3}}.$$

### Порядок выполнения работы

1. Определить последовательность чередования фаз на лабораторном стенде. Для этого собрать схему согласно рисунку 10.5. Рассчитать необходимую емкость конденсатора и установить ее значение при помощи магазина емкостей лабораторного стенда.

2. Произвести измерения реактивной мощности по схемам, изображенным на рисунках 3, 6, 7, 10. В качестве нагрузки использовать трехфазный асинхронный двигатель, обмотки которого соединить по схемам «звезда» и «треугольник». Данные измерений занести в таблицу 10.1.

Таблица 10.1. Результаты измерения реактивной мощности

Трехфазная симметричная нагрузка, метод одного ваттметра		Трехфазная трехпроводная нагрузка, метод двух ваттметров						Трехфазная четырехпроводная нагрузка, метод трех ваттметров		
Рис. 3		Рис. 6		Рис. 7				Рис. 10		
Y	Δ	Y	Δ	а		б		в		Y
				Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	

## *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы измерений.
3. Таблица с результатами измерений.
4. Паспортные данные приборов, используемых в работе.
5. Выводы по работе.

## *Контрольные вопросы*

1. Какими приборами измеряется реактивная мощность в трехфазных цепях?
2. Какое необходимое условие должно выполняться для измерения реактивной мощности обычным ваттметром?
3. Как определяется последовательность чередования фаз?
4. Каковы устройство и принцип действия приборов электродинамической и ферродинамической систем?
5. Как определяется цена деления ваттметра?
6. Измерение реактивной мощности в трехфазных несимметричных цепях.
7. С какой целью вместе с ваттметром включают в цепь амперметр и вольтметр?
8. Способы измерения реактивной мощности в трехфазных цепях. Достоинства и недостатки каждого способа.
9. Устройство ваттметра. Достоинства и недостатки.

## *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.

## Лабораторная работа 11

### Измерение активных сопротивлений, индуктивности и емкости с помощью моста переменного тока (измерителя RCL)

*Цель работы:* научиться измерять сопротивления, индуктивность и емкость при помощи моста переменного тока.

#### Основные теоретические сведения

Мост переменного тока представляет собой четырехполюсник, который составлен из пассивных элементов, включенных по схеме, показанной на рисунке 11.1.

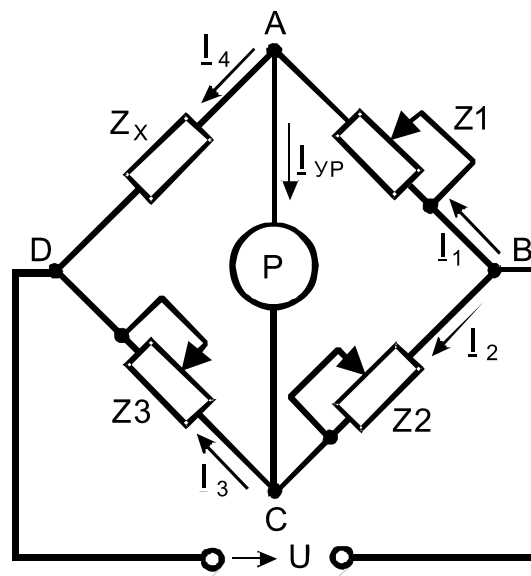


Рис. 11.1. Принципиальная электрическая схема  
одинарного моста переменного тока

Элементами схемы моста являются комплексные сопротивления  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  и  $Z_4$ .

Для достижения равновесия схемы необходимо, чтобы  $I_1 Z_1 = I_2 Z_2$  и  $I_3 Z_3 = I_4 Z_4$ . При этом  $I_{yp} = 0$ .

Согласно первому закону Кирхгофа:  $I_4 = I_1$ ;  $I_3 = I_2$ .

Следовательно:  $I_1 Z_1 = I_2 Z_2$ ;  $I_2 Z_3 = I_1 Z_4$ .

Условие равновесия моста получается в результате деления обеих частей первого равенства на части второго с одинаковыми токами:

$$\frac{I_1 Z_1}{I_1 Z_4} = \frac{I_2 Z_2}{I_2 Z_3} \quad \text{или} \quad \frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3}, \quad (11.1)$$

откуда  $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4.$  (11.2)

Следовательно, обеспечить равновесие одинарного моста переменного тока можно за счет равенства произведений комплексных сопротивлений противоположащих ветвей.

В показательной форме уравнение (11.1) имеет вид:

$$\frac{z_1 e^{j\varphi_1}}{z_4 e^{j\varphi_4}} = \frac{z_2 e^{j\varphi_2}}{z_3 e^{j\varphi_3}} \quad \text{или} \quad \frac{z_1}{z_4} e^{j(\varphi_1 - \varphi_4)} = \frac{z_2}{z_3} e^{j(\varphi_2 - \varphi_3)}.$$

Отсюда 
$$\frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3} \quad \text{или} \quad \frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4},$$

$$\varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_2 - \varphi_3 \quad \text{или} \quad \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4.$$

Из условий (11.2) видно, что мост переменного тока может быть уравновешен при определенном характере сопротивления (индуктивном или емкостном) и схеме включения резисторов его ветви. С целью уравновешивания моста необходимо обеспечить равенство модулей сопротивлений и сумм фазовых сдвигов в ветвях. Поэтому мост можно уравновесить регулировкой двух параметров. Чтобы упростить уравновешивание мостов переменного тока, в качестве регулируемых элементов их схем используют не переменные конденсаторы и катушки индуктивности, а переменные резисторы.

С помощью мостов переменного тока измеряют параметры электрических цепей — сопротивление, частоту, индуктивность катушек, емкость конденсаторов и т.д.

Измеритель *RCL* служит для измерения в широких пределах активных сопротивлений, индуктивностей и емкостей, а также в качестве генератора сигнала звуковой частоты 1000 Гц (работа генератора не рассматривается). Основой измерителя является четырехплечный мост, схема которого показана на рисунке 11.2.

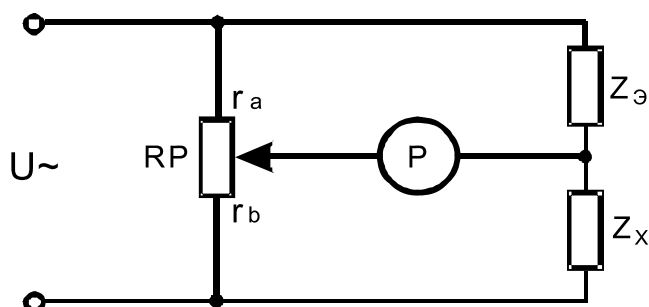


Рис. 11.2. Схема четырехплечного моста измерителя *RCL*

Мост состоит из потенциометра *RP* и двух плеч  $Z_x$ ,  $Z_э$ , коммутируемых в зависимости от вида измерения.



При перемещении подвижного контакта потенциометра добавляются уравновешивания моста, т.е. равенства

$$\frac{r_a}{r_b} = \frac{Z_{\text{Э}}}{Z_X}.$$

Таким образом, положение движка потенциометра показывает соотношение между эталонным элементом  $Z_{\text{Э}}$  и измеряемым  $Z_X$ .

Момент уравновешивания моста определяется по минимальному отклонению индикатора  $P$ , включенного в диагональ моста. К другой диагонали моста подводится напряжение переменного тока  $U_{\sim}$ . В зависимости от положения переключателя «Множитель» коммутируются эталонные резисторы, конденсаторы или катушки индуктивности.

### *Методика проведения измерений*

#### Измерение активных сопротивлений

1. Подключить шнур питания к сети.
2. Ручку «Чувствительность» повернуть назад до упора.
3. Подключить резистор к измерительным клеммам прибора.
4. Нажать кнопку «R» переключателя «Род работ» и одну из кнопок переключателя «Множитель» (согласно паспортной величине измеряемого сопротивления).
5. Произвести балансировку моста, для этого:
  - ручкой «Чувствительность» вывести стрелку индикатора в среднюю часть шкалы (на черную полосу);
  - добиться минимального отклонения стрелки, вращая назад ручку «Баланс», постепенно повышая чувствительность (ручку «Чувствительность» вращать вперед). Если момент минимального отклонения стрелки не найден, то необходимо перейти к следующему пределу измерения (рекомендуется переходить от большего множителя к меньшему и повторить балансировку). При обнаружении этого момента произвести отсчет по шкале с учетом множителя. Например, минимальное отклонение стрелки найдено при показании «10» и нажатой кнопке «10» переключателя «Множитель», тогда сопротивление  $R = 10 \cdot 10 = 100 \text{ Ом}$ ;
  - снять показания по правой шкале барабана «Баланс» с учетом множителя.

6. При измерении сопротивления на поддиапазоне с множителем «1» его сопротивление определяется по формуле

$$R_x = R_{ИЗМ} - 0,3 \text{ Ом},$$

где  $R_{ИЗМ}$  — значение сопротивления по шкале барабана «Баланс», Ом.

Оценку погрешностей производить по левой шкале барабана «Баланс», на которой одному делению 1 мм соответствует величина погрешности 1%.

На остальных поддиапазонах при отсчете показаний величину 0,3 Ом можно не учитывать.

7. По окончании измерений все кнопки переключателей установить в отключенное положение, а ручку «Чувствительность» повернуть вниз до упора.

#### Измерение емкостей

1. Нажать кнопку «С» переключателя «Род работ».

2. Подключить измеряемую емкость к клеммам прибора.

3. Нажать одну из кнопок переключателя «Множитель». Произвести балансировку моста и снять показания. При измерении емкостей менее 1 000 ПФ для округления более точной величины измеряемой емкости необходимо пользоваться формулой

$$C_x = C_{ИЗМ} - C_0,$$

где  $C_{ИЗМ}$  — величина измеряемой емкости, отсчитанная по шкале прибора;

$C_0$  — емкость прибора, отсчитанная при свободных измерительных клеммах.

4. По окончании измерений кнопки переключателей и ручку «Чувствительность» вернуть в исходное положение.

#### Измерение индуктивностей

1. Подключить измеряемую индуктивность (катушку индуктивности, обмотки трансформатора или электродвигателя) к клеммам прибора.

2. Нажать кнопку «L» переключателя «Род работ». Произвести балансировку моста и произвести отсчет по правой шкале с учетом множителя.

3. По окончании работ кнопку переключателя и ручку чувствительности вернуть в исходное положение.

### Порядок выполнения работы

1. Измерить значения  $R$ ,  $L$ ,  $C$  по заданию преподавателя. Данные измерений занести в таблицу 11.1.

2. По всем видам измерений определить относительную погрешность.

Таблица 11.1. Результаты измерения параметров электрических цепей

Измеряемая величина		Паспортное значение измеряемой величины	Измеренное значение величины	Относительная погрешность, %
$R$	1			
	2			
	3			
$L$	1			
	2			
	3			
$C$	1			
	2			
	3			

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные электрические схемы (рис. 11.1, 11.2).
3. Таблица с измеренными и вычисленными значениями.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия моста переменного тока.
2. Устройство и принцип работы измерителя RCL.
3. Как производится балансировка моста RCL?
4. Режим измерения сопротивлений при помощи измерителя RCL.
5. Режим измерения индуктивностей при помощи измерителя RCL.
6. Режим измерения емкостей при помощи измерителя RCL.

*Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебник для студ. сред. проф. образования / В.А. Панфилов. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 288 с.
7. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Я. Алексеев, В.В. Алексеев, Е.М. Антонюк. — М. : Издат. центр «Академия», 2007. — С. 114, 245-246.

## Лабораторная работа 12

### Измерение малых и средних сопротивлений на постоянном токе методом амперметра-вольтметра

*Цель работы:* изучить метод амперметра-вольтметра и научиться применять его на практике.

#### *Основные теоретические сведения*

Одним из распространенных методов измерения сопротивлений является метод амперметра-вольтметра. Электрическую схему по этому методу можно собрать двумя способами (рис. 12.1).

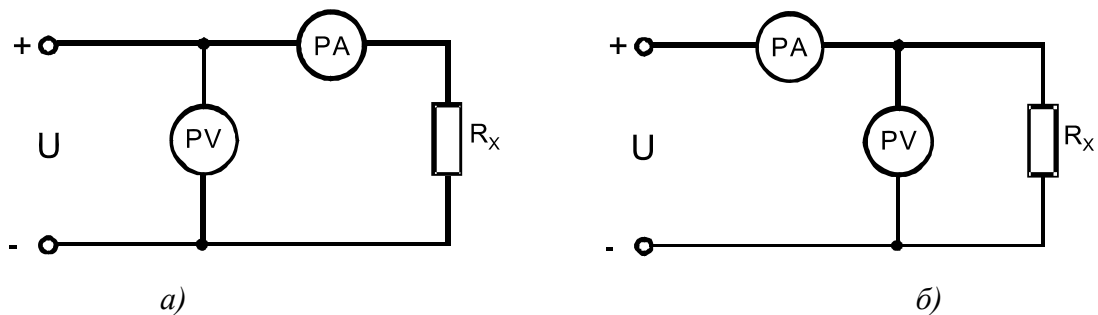


Рис. 12.1. Схемы для измерения сопротивлений  
методом амперметра-вольтметра

Метод амперметра-вольтметра основан на законе Ома. Зная напряжение  $U_X$  на измеряемом сопротивлении  $R_X$  и ток  $I_X$ , протекающий через это сопротивление, можно определить численное значение  $R_X$ :

$$R_X = \frac{U_X}{I_X}.$$

Измерив силу тока  $I$  и напряжение  $U$  приборами, сопротивление можно рассчитать по формуле

$$R_X = \frac{U}{I}. \quad (12.1)$$

Найденное значение  $R_X$ , полученное с применением схемы (рис. 12.1, а), больше действительного значения величины измеряемого сопротивления, т.к. вольтметр измеряет сумму напряжений на измеряемом сопротивлении и на амперметре.

Действительное значение сопротивления можно найти следующим образом:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A} = \frac{U}{I} - R_A. \quad (12.2)$$

Если измеряемое сопротивление  $R_X$  велико по сравнению с сопротивлением амперметра  $R_A$ , то формулу (12.2) можно упростить и привести к виду формулы (12.1):

$$R_X = \frac{U}{I}.$$

В этом случае можно считать, что схема, изображенная на рис. 12.1, а, пригодна для измерения средних сопротивлений (десятки Ом, десятки кОм).

В случае применения схемы по рис. 12.1, б найденное значение  $R_X$  по формуле (12.1) будет меньше действительного значения измеряемого сопротивления, т.к. амперметр измеряет сумму токов в измеряемом сопротивлении и в вольтметре. Действительное значение сопротивления можно найти следующим образом:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}.$$

Если сопротивление вольтметра велико по сравнению с измеряемым, то током вольтметра можно пренебречь и найденное значение принять за действительное. В этом случае можно считать, что схема по рис. 12.1, б пригодна для измерения малых сопротивлений (единицы Ом), и для расчетов можно пользоваться формулой (12.1).

Если не требуется большой точности при измерении сопротивления, то для этой цели можно воспользоваться и одним вольтметром. Для этого надо знать его внутреннее сопротивление  $R_V$ , которое обычно указано на приборе. Если внутреннее сопротивление вольтметра неизвестно, то его надо измерить при помощи моста постоянного тока или омметра, запомнить его или записать на приборе.

Для того чтобы измерить сопротивление вольтметром, его включают последовательно с измеряемым сопротивлением  $R_X$ , которое закорачивают при помощи выключателя  $S$  (рис. 12.2).

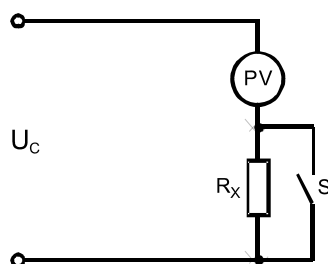


Рис. 12.2. Схема измерения сопротивления при помощи вольтметра

При замкнутом выключателе определяют показание вольтметра, т.е. получают напряжение сети  $U_C$ , после чего размыкают выключатель и фиксируют показание вольтметра  $U_V$ . Можно определить ток в цепи по формуле

$$I = \frac{U_V}{R_V}.$$

Затем находят падение напряжения на  $R_X$ :

$$IR_X = \frac{U_V}{R_V} R_X = U_C - U_V.$$

Следовательно, зная показания вольтметра при замкнутом выключателе  $U_C$  и при выключенном  $U_V$ , а также его внутреннее сопротивление  $R_V$ , можно определить измеряемое сопротивление  $R_X$  по формуле

$$R_X = \left( \frac{U_C}{U_V - 1} \right) R_V.$$

#### *Порядок выполнения работы*

1. Произвести измерения трех-четырех резисторов по указанию преподавателя по методу амперметра-вольтметра и по методу одного вольтметра.

2. По полученным результатам и номинальным значениям резисторов, указанным на их корпусах, определить относительную погрешность резисторов. Данные занести в таблицу 12.1.

*Таблица 12.1. Результаты измерения сопротивлений резисторов*

Маркировка резистора	Номинальная мощность, Вт	Номинальное сопротивление, Ом	Класс точности	Измеренная величина сопротивления, Ом	Относительная погрешность
Метод амперметра-вольтметра					
Метод одного вольтметра					

### *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные схемы измерений.
3. Технические данные приборов, используемых в работе.
4. Таблица с результатами измеренных и вычисленных величин.
5. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие сопротивления называются малыми, средними, большими?
2. В чем заключается метод амперметра-вольтметра? Какие две схемы измерения существуют?
3. Какие требования предъявляются к измерительным приборам, которые используются при данном методе измерения?
4. Из чего складывается погрешность измерения методом амперметра-вольтметра?
5. В чем заключается метод одного вольтметра? Его достоинства и недостатки?
6. Можно ли измерить сопротивление при помощи одного амперметра?
7. Приборы какой системы могут использоваться только в цепях постоянного тока?

### *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с. : ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.
4. Сергеев, А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация [Текст] : учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - М. : Юрайт, 2010. - 820 с. - (Основы наук). - ISBN 978-5-9916--0160-3.
5. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. ; Карпов Л.И. ; Приходько В.М. [и др.]. - М. : Академия, 2006, 2008. - 384 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-2317-4 : 312-00.



## Лабораторная работа 13

### Исследование трехфазных счетчиков электрической энергии

*Цель работы:* изучить устройство, принцип работы и схемы включения в электрическую цепь трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии.

#### *Основные теоретические сведения*

Активную и реактивную энергию в трехфазных трехпроводных и четырехпроводных цепях учитывают при помощи трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии.

В трехпроводных цепях энергию учитывают при помощи двухэлементных счетчиков, а в четырехпроводных — с помощью трехэлементных. В качестве вращающихся элементов, как в двухэлементных, так и в трехэлементных счетчиках, используются вращающиеся элементы однофазных индукционных счетчиков, которые рассматривались ранее.

Как в двухэлементных, так и в трехэлементных счетчиках диски вращающихся элементов расположены на одной оси. Это позволяет получить общий вращающийся момент подвижной части счетчика, равный алгебраической сумме вращающихся моментов отдельных элементов. Таким образом, независимо от количества вращающихся элементов, в счетчиках применяется один счетный механизм.

Для двух- и трехэлементных счетчиков введены следующие обозначения:

- СА3 — счетчики для учета активной энергии в трехфазной трехпроводной цепи;
- СА4 — счетчики для учета активной энергии в трехфазной четырехпроводной цепи;
- СР4 — счетчики для учета реактивной энергии в трехфазной трехпроводной цепи.

По точности учета электрической энергии счетчики активной энергии могут быть следующих классов точности: 0,5; 1,0; 2,0 и 2,5; счетчики реактивной энергии: 1,5; 2,0 и 3,0.

Включение счетчиков для учета как активной, так и реактивной энергии проводится по схемам включения ваттметров для измерения активной и реактивной мощности. При этом генераторные зажимы токовых обмоток обозначаются буквой Г, а зажимы, к которым подключается нагрузка, — буквой Н. Зажимы,

мы обмоток напряжения счетчиков, предназначенных для включения в трехфазные трех- и четырехпроводные цепи, обозначаются цифрами 1, 2, 3 и 0.

Промышленностью выпускаются счетчики трех разновидностей: непосредственного включения, трансформаторные и трансформаторные универсальные.

Трансформаторные счетчики предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие определенные, наперед заданные коэффициенты трансформации.

Трансформаторные универсальные счетчики предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие любые коэффициенты трансформации. Такие счетчики имеют в своем обозначении букву У. Например, СА3У, СА4У, СР4У.

Рассмотрим наиболее распространенные схемы включения трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии.

### 1. Трехфазные двухэлементные счетчики активной энергии

Включение вращающихся элементов таких счетчиков в трехфазных трехпроводных цепях производится по схеме включения двух ваттметров для измерения активной мощности. На рисунке 13.1 показана схема непосредственного включения такого счетчика, а на рисунке 13.2 — включение такого же трансформаторного универсального через измерительные трансформаторы тока.

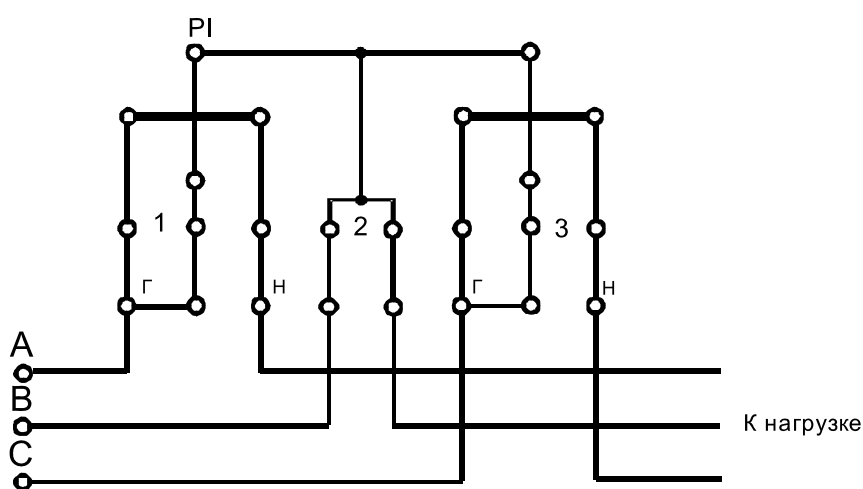


Рис. 13.1. Схема трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии непосредственного включения

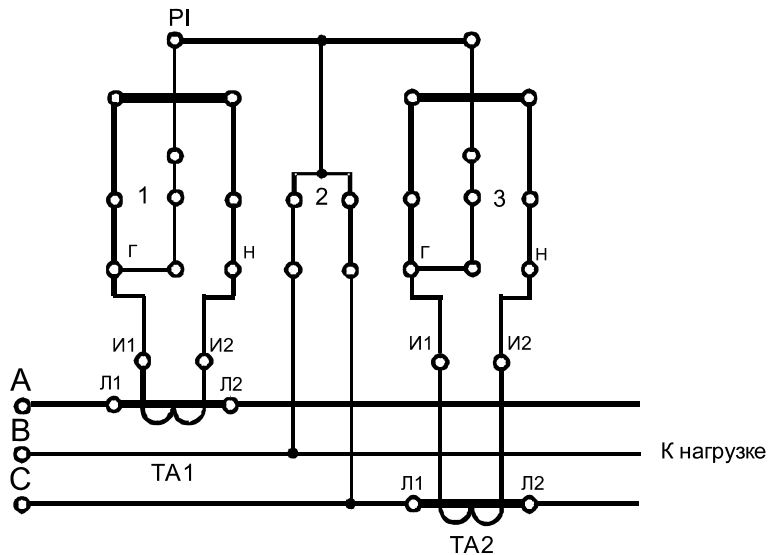


Рис. 13.2. Схема трансформаторного трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии

## 2. Трехфазные трехэлементные счетчики активной энергии

Вращающиеся элементы этих счетчиков включаются в трехфазную четырехпроводную цепь аналогично включению трех ваттметров для измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи. На рисунке 13.3 показана схема включения трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии непосредственного включения. Данный счетчик может также подключаться через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

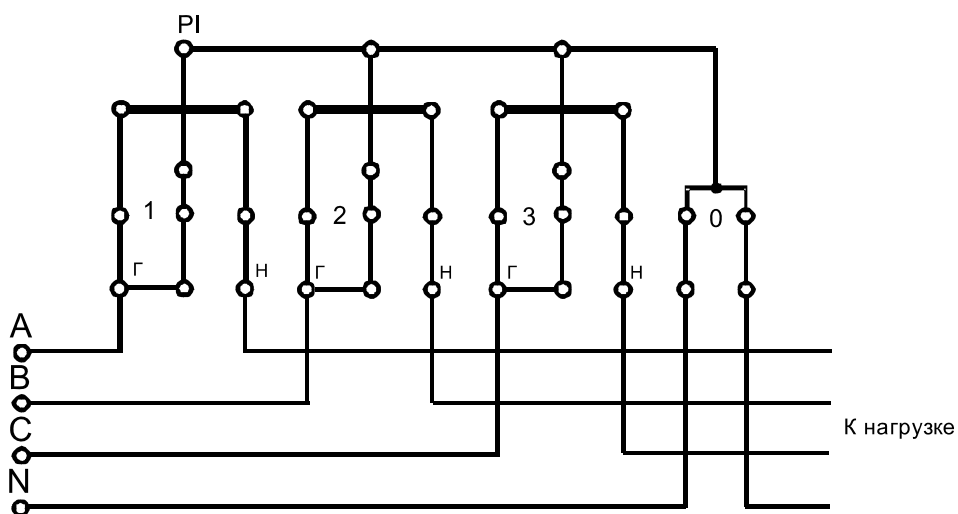


Рис. 13.3. Схема трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии непосредственного включения

### 3. Трехфазные трехэлементные счетчики реактивной энергии

Включение вращающихся элементов счетчиков производится по правилам включения на измененные напряжения обычных ваттметров в случае применения их для измерения реактивной мощности в трехфазных цепях. На рисунке 13.4 приведена схема подключения счетчика реактивной энергии непосредственного включения при измерении в трехфазной трехпроводной цепи.

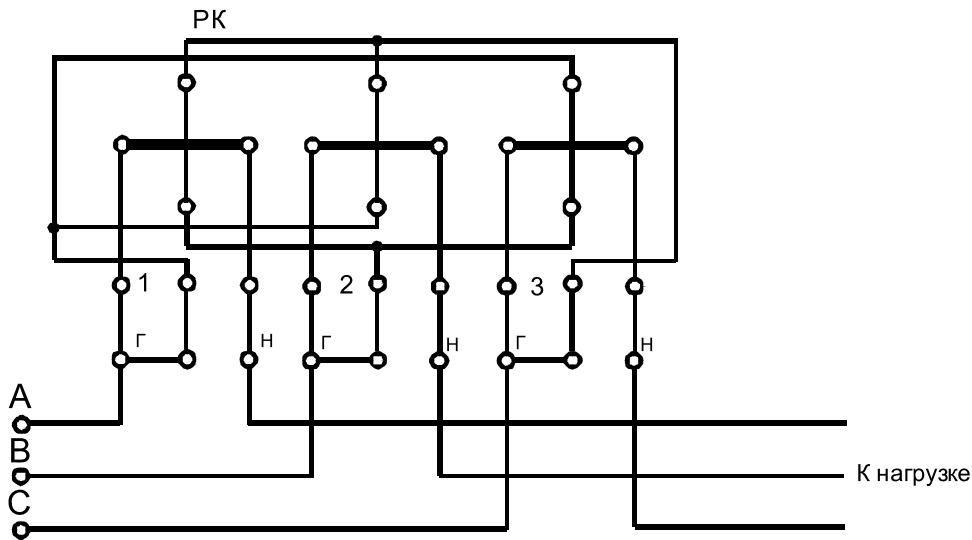


Рис. 13.4. Схема трехфазного счетчика реактивной энергии непосредственного включения

Счетчик реактивной энергии может быть также подключен через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия трехфазных счетчиков активной энергии СА3 и реактивной энергии СР4, используемых в работе.

2. Определить постоянную  $C_H$  счетчика СА3 и постоянную  $C'_H$  счетчика СР4.

3. Собрать схему согласно рисунку 13.5, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов счетчиков. В качестве нагрузки использовать трехфазный асинхронный электродвигатель. Обмотки электродвигателя соединяются по схемам «звезда» и «треугольник».

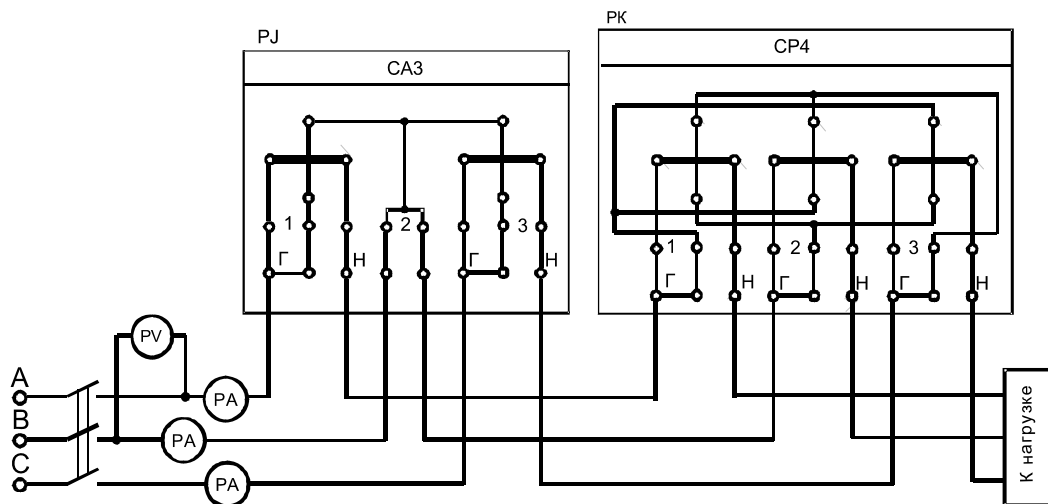


Рис. 13.5. Принципиальная электрическая схема исследования трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии

4. После проверки преподавателем схемы подать на нее напряжение. Записать показания амперметров и вольтметра в таблицу 13.1.

Таблица 13.1. Результаты исследования трехфазных счетчиков электрической энергии

	Измерено					Вычислено			
	$U, В$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$N_{CA3}$	$N_{CP3}$	$W_a$	$W_p$	$\cos \varphi$

5. Произвести учет активной и реактивной энергии в течение 15 мин. В период выполнения пункта подсчитать количество оборотов дисков счетчиков  $N_{CA3}$  (CA3) и  $N_{CP4}$  (CP4) за 1 минуту по секундомеру. За действительные значения  $N_{CA3}$  и  $N_{CP4}$  принять средние арифметические значения, определенные из трех экспериментов. Затем отключить напряжение и записать показания счетчиков. Данные занести в таблицу 13.1.

6. Используя значения постоянных  $C_H$  и  $C'_H$  счетчиков, определенных в п. 2, и результаты п. 5, определить активную и реактивную энергию, расходуемую нагрузкой за 15 мин работы:

$$W_a = 15C_H N_{CA3}, \quad W_p = 15C'_H N_{CP3} \cdot 15.$$

7. Рассчитать коэффициент мощности цепи, используя формулу

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W_p}{W_a}.$$

8. Разобрать схему.

## *Содержание отчета*

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки.
3. Таблица с результатами опытных и расчетных данных.
4. Выводы по работе.

## *Контрольные вопросы*

1. Каковы устройство и принцип действия индукционного трехфазного счетчика активной энергии?
2. Каковы устройство и принцип действия индукционного трехфазного счетчика реактивной энергии?
3. Схемы подключения трехфазных счетчиков непосредственно и через измерительные трансформаторы.
4. Что означает буква «У» в обозначении трехфазного счетчика?
5. Что такое самоход счетчика? Условия его проверки, способы устранения?
6. Возможно ли обратное вращение диска трехфазного счетчика?
7. Что показывает номинальная постоянная счетчика электрической энергии? Ее физический смысл?
8. Как определяется действительная постоянная счетчика?
9. Как маркируются выводы счетчиков активной и реактивной энергии?
10. Устройство и принцип действия измерительных трансформаторов тока и напряжения.
11. Как определяется коэффициент мощности трехфазной цепи, если известны значения активной и реактивной энергии?

## *Список рекомендуемых источников*

1. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Аристов А.И. [и др.]. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 416 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение. Бакалавриат). - ISBN 978-5-7695-8597-5. - гл. 213 : 607-20.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 6-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Приборостроение). - ISBN 978-5-7695-7075-9. - гл. 211 : 477-00.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ким К.К., ред. - СПб : Питер, 2008, 2010. - 368 с.: ил. - ISBN 978-5-469-01090-6 : 278-00.

*Учебно-практическое издание*

**Метрология, стандартизация и сертификация** : практикум / сост. А.В. Рожнов, А.С. Яблоков. — Караваево : Костромская ГСХА, 2021. — 88 с. ; 20 см. — 100 экз. — Текст непосредственный.

*Практикум издаётся в авторской редакции*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, д. 34

Компьютерный набор. Подписано в печать 17/05/2021. Заказ № 239. Формат 60x84/16. Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 5,28. Бумага офсетная. Отпечатано 17/05/2021. Цена 91,00 руб.

вид издания: первичное (электронная версия)  
(редакция от 6.04.2021 № 239)

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе. Качество соответствует предоставленным оригиналам.

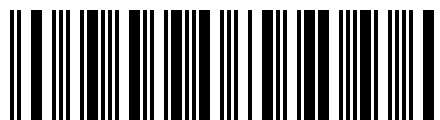
(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\239.pdf)



2021\*239

Цена 91,00 руб.

ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА



2021\*239

(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\239.pdf)