МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО ДГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра «Электроэнергетика и теплоэнергетика»

А.П. Мартынов, А.Н. Токарева, М.С. Демченко

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ АПК

Учебно-методическое пособие

Зерноград – 2024

© Мартынов А.П., Токарева А.Н.,
Демченко М.С., 2024
© Азово-Черноморский
инженерный институт ФГБОУ ВО
Донской ГАУ, 2024

Об издании – 1,2
Содержание

УДК 621.311.1(075)

Публикуется по решению методического совета
энергетического факультета
Азово-Черноморского инженерного института – филиала
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде

Рецензент:
к.т.н., доцент кафедры ЭЭО и ЭМ В.Н. Беленов

Мартынов, А.П. Метрология, стандартизация и сертификация в электроснабжении объектов АПК [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / А.П. Мартынов, А.Н. Токарева, М.С. Демченко. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. – 111 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Учебно-методическое пособие содержит необходимые сведения для подготовки и проведения лабораторных работ по дисциплине, а также краткие указания для самостоятельного усвоения студентами материалов курса.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов бакалавриата энергетического факультета, обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроснабжение», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Энергообеспечение предприятий», 35.03.06 «Агроинженерия» профиль «Электрооборудование и электротехнологии».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры электроэнергетики и теплоэнергетики
Протокол № 2 от 01.10.2024 г.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией энергетического факультета
Протокол № 2 от 28.10.2024 г.

© Мартынов А.П., Токарева А.Н., Демченко М.С., 2024
© Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Лабораторная работа № 1. Изучение и поверка рабочих амперметров и вольтметров 7

Лабораторная работа № 2. Изучение и поверка электродинамического ваттметра. 18

Лабораторная работа № 3. Изучение и поверка однофазного индукционного счетчика электрической энергии 27

Лабораторная работа № 4. Исследование свойств ферромагнитного сердечника в магнитном поле промышленной частоты. 35

Лабораторная работа № 5. Косвенное измерение сопротивлений постоянному току. 42

Лабораторная работа № 6. Изучение одинарных мостов постоянного тока 49

Лабораторная работа № 7. Изучение двойных мостов постоянного тока. 56

Лабораторная работа № 8. Измерение температуры электрическими методами 62

Лабораторная работа № 9. Измерение ЭДС компенсационным методом 70

Лабораторная работа № 10. Проверка и поверка трансформаторов тока. 77

Лабораторная работа № 11. Измерение мощности методом двух ваттметров 84

Лабораторная работа № 12. Измерение активной энергии в цепях трехфазного тока 90

Лабораторная работа № 13. Изучение электронного осциллографа и его применение в измерительной практике 100

Литература 110

ВВЕДЕНИЕ

ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы являются одним из видов практического обучения. Их цель – закрепить теоретические знания, проверить на опыте некоторые положения теории в области измерений электрических и неэлектрических величин, приобрести практические навыки в проведении эксперимента, научиться пользоваться простейшими электроизмерительными приборами, оценивать погрешности измерений.

Вдумчивое отношение к лабораторной работе позволит студенту сделать правильные выводы, проанализировать результаты опытов, научиться решать некоторые несложные задачи исследовательского характера.

Задание на очередную работу выдается преподавателем за несколько дней до ее выполнения.

Чтобы качественно выполнить лабораторные работы, студенту необходимо подготовиться к ним. При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить следующее:

- изучить теоретический материал по конспекту и учебнику (см. список литературы);
- ознакомиться с описанием лабораторной работы;
- в специальной рабочей тетради записать номер и название работы, вычертить таблицы для записи показаний приборов и результатов расчета, исследуемые схемы электрических цепей, а также подготовить миллиметровую бумагу (если потребуются графические построения);
- записать необходимые формулы и сделать предварительные расчеты, если это необходимо согласно заданию;

ответить устно или письменно на контрольные вопросы.

ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Прежде чем приступить к сборке электрической цепи, следует выбрать необходимые приборы и аппараты. В описании каждой лабораторной работы приводится порядок проведения опыта и перечень необходимой аппаратуры. При выборе измерительных приборов следует учитывать их тип, предел измерений, род тока, класс точности.

Выбрав предел измерений прибора, необходимо рассчитать цену деления и только тогда приступить к измерениям.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ

Согласно «Правилам эксплуатации электроустановок потребителей» для помещений без повышенной опасности поражения током, к которым относится лаборатория электрических измерений, безопасным считается напряжение до *42 В*.

Сопротивление тела человека определяется главным образом сопротивлением кожного покрова и может составлять *200 – 500 кОм*. Увлажнение или повреждение кожи снижает сопротивление до *600 – 800 Ом* (большое влияние на снижение сопротивления оказывает также общее состояние организма и нервной системы). Таким образом, при указанном напряжении через тело человека, находящегося в нормальном состоянии, протекает ток *0,1 – 0,3 мА*. Известно, что ток *50 мА* может привести к травме, а в *100 мА* – к смертельному исходу.

Следует иметь в виду, что при токе даже менее чем *50 мА* мышцы кистей рук непроизвольно сокращаются и токоведущая часть может оказаться зажатой в кулаке. В этом случае иногда не удается разжать руку и прервать ток через тело человека.

Приведем основные правила по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Перед началом сборки электрической цепи следует убедиться в том, что автоматический выключатель на лабораторном столе отключен.
2. Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправными клеммами, проводов с поврежденной изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и др.
3. Собранная электрическая цепь должна быть проверена преподавателем или лаборантом и может включаться только по его разрешению.
4. Перед включением электрической цепи необходимо убедиться, что никто не прикасается к оголенным токоведущим частям.
5. Все необходимые изменения в цепях нужно производить только при выключенном напряжении. Всякие изменения в электрической цепи должны быть проверены преподавателем.
6. Студентам не разрешается производить какие-либо переключения на главном распределительном щите лаборатории.
7. Если во время работы возникают какие-либо повреждения, в результате чего появляется дым, специфический запах или накаляются проводники, то следует немедленно выключить напряжение и сообщить преподавателю о случившемся.
8. Если кто-либо попадет под напряжение и не сможет сам оторваться от токоведущих частей цепи, то не пытайтесь его оттащить – вы сами будете поражены током. Немедленно отключите напряжение! Сообщите о случившемся преподавателю.
9. Студенты допускаются к работам в лаборатории после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в журнале по технике безопасности.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО СДАЧА

Отчет по лабораторной работе является документом о проделанном эксперименте, поэтому он должен иметь все необходимые сведения для проверки результатов опытов и расчета. Составление отчета является индивидуальной работой каждого члена бригады. Отчет должен содержать название и номер лабораторной работы, ее цель, перечень приборов и оборудования, оформленный в виде таблицы 1в, схемы электрических цепей, программу работы, расчетные формулы и сами расчеты, таблицы результатов измерений и расчетов, графики полученных зависимостей и выводы.

Таблица 1в - Паспортные данные приборов и оборудования

Наименование	Система прибора	Тип	Класс Точности	Пределы измерений	Примечание

Отчеты выполняются с учетом действующих стандартов на оформление текстовых документов (ЕСКД).

Схемы, таблицы, графики и другие построения выполняются карандашом с помощью чертежных инструментов. При начертании схем должны соблюдаться стандартные графические и буквенные обозначения (ГОСТ).

После выполнения лабораторной работы и подготовки отчета проводится его сдача. Учащиеся должны уметь собирать электрические цепи, знать порядок постановки и проведения экспериментов, пояснять, как проводились расчеты, уметь анализировать полученные результаты и объяснять причины расхождения расчетных и опытных данных.

Сдача отчетов по лабораторным работам проводится в определенное преподавателем время (как правило, в часы следующей лабораторной работы или в часы индивидуальной работы).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА РАБОЧИХ АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение конструкции и основных особенностей измерительных механизмов приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем. Знакомство с методами и правилами поверки рабочих амперметров и вольтметров.

1.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

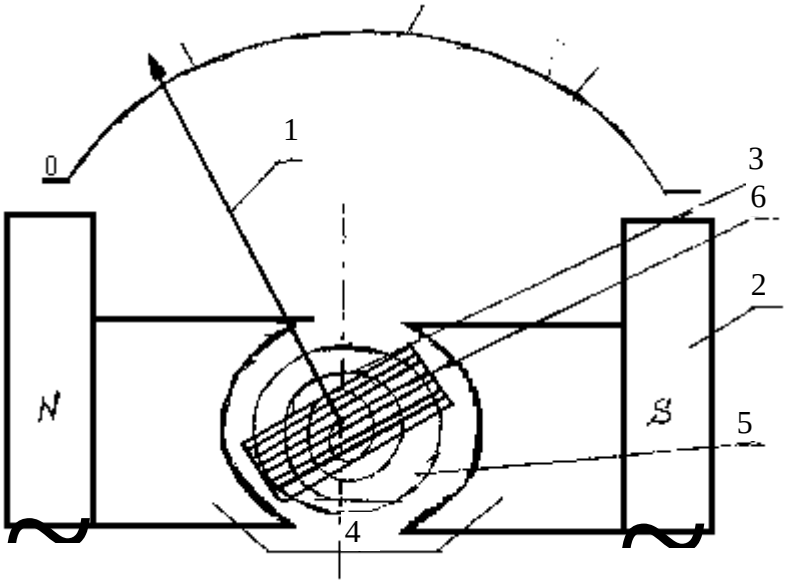
1.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- источник стабилизированного напряжения *ИСН-1* - 1 шт.;
- прибор магнитоэлектрической системы для изучения устройства и принципа действия; - 1 шт.;
- поверяемый амперметр - 1 шт.;
- поверяемый вольтметр - 1 шт.;
- образцовый амперметр - 1 шт.;
- образцовый вольтметр - 1 шт.;
- миллиамперметр - 1 шт.;
- магазин сопротивлений - 1 шт.

1.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнитоэлектрические приборы используются для измерений в цепях постоянного тока. В сочетании с выпрямителями или термопреобразователями эти приборы применяются также для измерений в цепях переменного тока. Схема устройства магнитоэлектрического прибора представлена на рисунке 1.1.



1 – стрелка; 2 – постоянный магнит;3 – спиральная пружина; 4 – полюсные наконечники; 5 - неподвижный сердечник; 6 - подвижная рамка с обмоткой.

Рисунок 1.1 – Схема устройства магнитоэлектрического прибора

Принцип действия прибора основан на законе Ампера. При включении прибора ток проходит по обмотке рамки *6*. Взаимодействие этого тока и поля постоянного магнита *2* приводит к возникновению крутящего момента и, как следствие, к повороту рамки со стрелкой *1*. Противодействующий момент в механизме создается парой спиральных пружин 3 или растяжками.

Установившееся отклонение подвижной части измерительного механизма наступает при равенстве вращающего и противодействующего моментов:

$$B \cdot S \cdot w \cdot I = \alpha_c \cdot W ,$$

откуда

$$\alpha_c = \frac{B \cdot S \cdot w}{W} \cdot I = S_n \cdot I , \qquad (1.1)$$

где α_c – угол поворота рамки, *рад*;

B – магнитная индукция в зазоре, *Тл*;

S – активная площадь обмотки рамки, м^2;

w – число витков обмотки рамки;

I – ток, *А*;

W – удельный противодействующий момент, *Н·м/рад*;

S_n – чувствительность прибора, *рад/А*.

Из уравнения (1.1) следует, что магнитоэлектрические приборы имеют равномерную шкалу, так как отклонение стрелки (угол поворота рамки) прямо пропорционально току, протекающему через обмотку рамки.

Успокоение прибора происходит за счет токов, индуктируемых в алюминиевом каркасе рамки при перемещении последней в магнитном поле постоянного магнита (магнитное успокоение).

Магнитоэлектрические приборы не чувствительны к внешним магнитным полям, так как обладают собственным сильным магнитным полем.

Магнитоэлектрические приборы – это наиболее чувствительные и точные из всех существующих приборов с непосредственным отсчетом. Их изготавливают как в виде лабораторных многопредельных, классов точности *0,1; 0,2; 0,5*, так и в виде технических приборов классов *1,0* и *1,5*.

Собственное потребление энергии магнитоэлектрических приборов относительно невелико. Полное сопротивление цепи вольтметров бывает обычно от *30* до *300 Ом* на *1 В* номинального напряжения и выше. Это соответствует потребляемой мощности в *0,1–1 Вт*. У амперметров потребляемая мощность составляет *0,2 – 0,5 Вт*.

Электромагнитные приборы пригодны для измерений как в цепях постоянного, так и переменного тока, но применяют их преимущественно при измерениях в цепях переменного тока.

На рисунке 1.2 представлена схема устройства одного из вариантов электромагнитного прибора.

Принцип действия электромагнитного прибора основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки, обтекаемой измеряемым током, с подвижным ферромагнитным сердечником.

При включении прибора в цепь постоянного или переменного тока на сердечник действует сила, втягивающая его внутрь катушки. Вращающий момент, действующий при этом на сердечник, будет пропорционален производной от энергии магнитного поля катушки по углу поворота подвижной части:

$$M_{вр} = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha};$$

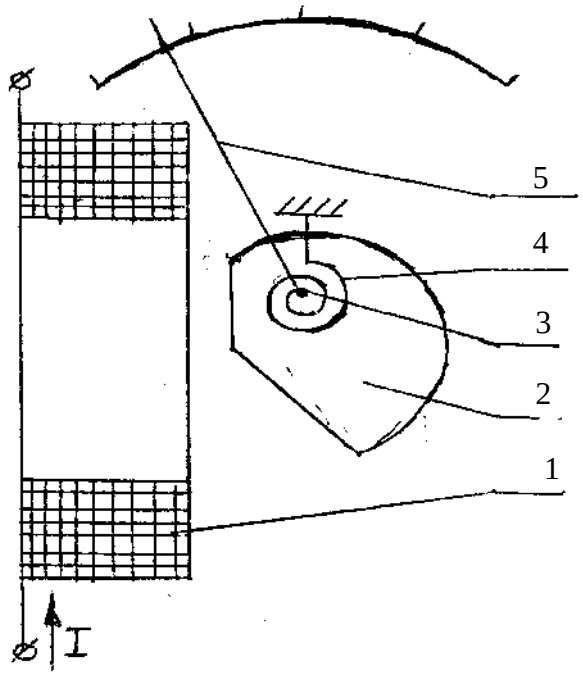
$$\alpha_c = \frac{1}{2 \cdot W} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} = S_П \cdot I, \qquad (1.2)$$

где L – индуктивность катушки, *Гн*;

$S_П$ – чувствительность прибора: $S_n = \frac{1}{2W} \cdot I \cdot \frac{dL}{d\alpha}$.

Из уравнения (1.2) следует, что шкала электромагнитных приборов неравномерная, так как угол поворота стрелки, связанной с подвижной частью, прямо пропорционален квадрату тока.

Влияние внешних магнитных полей на показания электромагнитных приборов относительно велико, так как собственное магнитное поле катушки слабое.



1 – катушка; 2 – сердечник; 3 – ось; 4 – спиральная пружина; 5 – стрелка.

Рисунок 1.2 – Схема устройства электромагнитного прибора

Изменение температуры в основном сказывается на показаниях вольтметров, поскольку сопротивление катушки приборов составляет значительную часть от сопротивления всей цепи вольтметров.

На показания электромагнитных вольтметров существенное влияние может оказать частота. С повышением частоты полное сопротивление обмотки прибора возрастает, и при одном и том же измеряемом напряжении вольтметр дает заниженные показания.

Электромагнитные приборы нашли широкое применение в качестве технических щитовых приборов классов точности *1,0 – 2,5* для цепей переменного тока промышленной частоты благодаря простоте их конструкций, надежности и низкой стоимости.

Для определения метрологических характеристик приборов производят их поверку.

Поверить прибор – значит определить его погрешность (абсолютную, относительную, для электромагнитной системы – приведенную) и сравнить с классом точности прибора, указанным на его шкале.

Абсолютная погрешность (∆) – это разность между измеренным и действительным значениями измеряемой величины, например:

- для амперметра $\Delta_I = I_{изм} - I_Д$;

- для вольтметра $\Delta_U = U_{изм} - U_Д$.

Относительная погрешность (β) – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

- для амперметра $\beta_I = \frac{\Delta_I}{I_Д} \cdot 100\ \%$;

- для вольтметра $\beta_U = \frac{\Delta_U}{U_Д} \cdot 100\ \%$.

Приведенная погрешность (γ) – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к нормированному значению измеряемой величины:

- для амперметра $\gamma_I = \frac{\Delta_I}{I_H} \cdot 100\%$;

- для вольтметра $\gamma_U = \frac{\Delta_U}{U_H} \cdot 100\ \%$.

Если вольтметр имеет номинальный предел измерений $U_н$ и сопротивление $R_{вн}$ и нужно изменить его предел измерений до $U_н^* > U_н$, то (так как ток должен сохранять свое значение) значение добавочного сопротивления $R_д$ определяется из равенства

$$\frac{U_н}{R_{вн}} = \frac{U_н^*}{R_{вн} + R_д}.$$

Отсюда сопротивление добавочного резистора

$$R_д = R_{вн} \cdot (n-1),$$

где n – множитель шкалы: $n = \frac{U_H^*}{U_H}$.

1.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Перед включением *ИСН - 1* необходимо установить переключатель *S3* в нулевое положение во избежание появления опасного напряжения на его зажимах.

Кроме того, необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ в лаборатории электрических измерений.

1.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.6.1. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать их паспортные данные в таблицу 1в (см. стр. 5).

1.6.2. Изучить устройство и принцип действия магнитоэлектрических и электромагнитных измерительных механизмов.

1.6.3. Произвести поверку амперметра и вольтметра электромагнитной системы.

Поверку амперметра и вольтметра выполняют с помощью образцовых приборов и источника стабилизированного напряжения *ИСН-1*. При поверке переключатель диапазона *S2 ИСН-1* должен находится в положении *I=10A, U=150 В* (рисунок 1.3). Переключатель *S1* частоты выходных напряжений должен стоять на отметке *50 Гц*.

Для поверки амперметра собрать цепь по схеме рисунок 1.3. При этом переключатель *S4* необходимо установить в положение «Амперметры».

Для поверки вольтметра собрать цепь по схеме рисунок 1.4. При этом переключатель *S4* необходимо установить в положение «Вольтметры».

При работе с источником стабилизированного напряжения *ИСН-1* следует соблюдать следующие правила:

- прибор включают в работу и не выключают до ее конца, так как на прогрев прибора требуется значительное время;
- сборка цепи, различные переключения и т.п. производят при обесточенных выходных контактах *ИСН-1*, для чего необходимо выключить выключатель *S3*, совмещенный с потенциометром *РП* (рисунок 1.3).

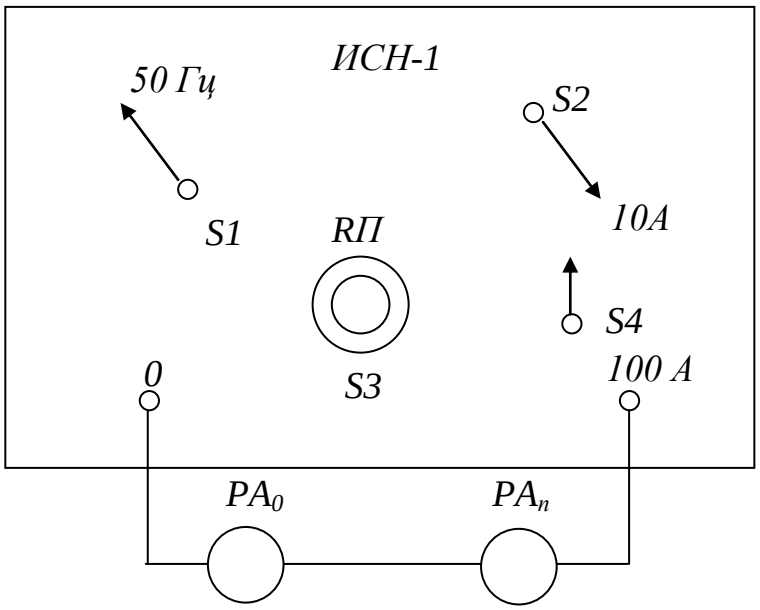


Рисунок 1.3 – Схема измерительной цепи для поверки амперметра

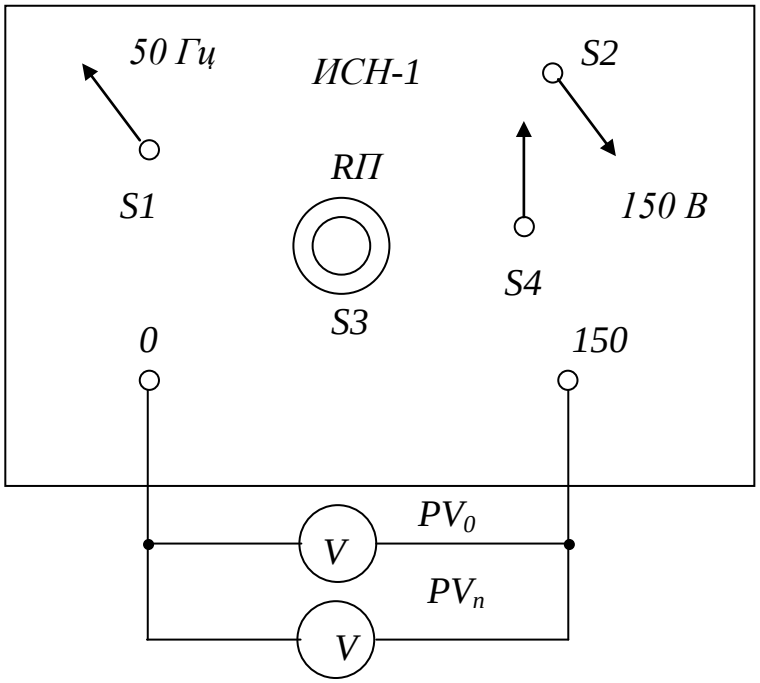


Рисунок 1.4 – Схема измерительной цепи для поверки вольтметра

Перед проведением поверки приборы прогреваются в течение *15 минут* при номинальном значении тока.

Поверка приборов проводится в следующем порядке. Изменяя ток (напряжение) с помощью потенциометра *РП*, стрелку поверяемого прибора последовательно устанавливают на всех цифровых отметках шкалы сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до номинального значения, а затем при тех же значениях (тока или напряжения) при убывании от номинального значения до нуля. Для всех

этих точек сравнивают показания поверяемого прибора с их действительными значениями, получаемыми по образцовому прибору. Результаты измерений заносят в таблицы 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Абсолютная и приведенная погрешности амперметра

Показания поверяемого амперметра, $I_{изм}$	Показания образцового амперметра		Среднее значение показаний образцового амперметра	Погрешности прибора		
	при увеличении тока	при уменьшении тока		абсолютная Δ_I	приведенная γ_I	поправка δ_I
A	*A*	*A*	*A*	*A*	*%*	

Таблица 1.2 – Абсолютная и приведенная погрешности вольтметра

Показания поверяемого вольтметра $U_{изм}$	Показания образцового вольтметра		Среднее значение показаний образцового вольтметра	Погрешности прибора		
	при увеличении напряжения	при уменьшении напряжения		абсолютная Δ_U	приведенная γ_U	поправка δ_U
B	*B*	*B*	*B*	*B*	*%*	*B*

1.6.4. Определить внутреннее сопротивление вольтметра $R_{ВН}$ методом амперметра и вольтметра (рисунок 1.5). При этом переключатель *S4* находится в положении «Вольтметры». Результаты записать в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Внутреннее сопротивление вольтметра

Показания вольтметра U	Показания миллиамперметра I	Сопротивление вольтметра $R = \frac{U}{I}$	Среднее сопротивление вольтметра $R_{вн}$	Мощность, потребляемая вольтметром, P_v	Сопротивление добавочного резистора $R_д$
B	*A*	*Ом*	*Ом*	*Вт*	*Ом*

1.6.5. Рассчитать сопротивление добавочного резистора для расширения пределов измерений вольтметра в два раза.

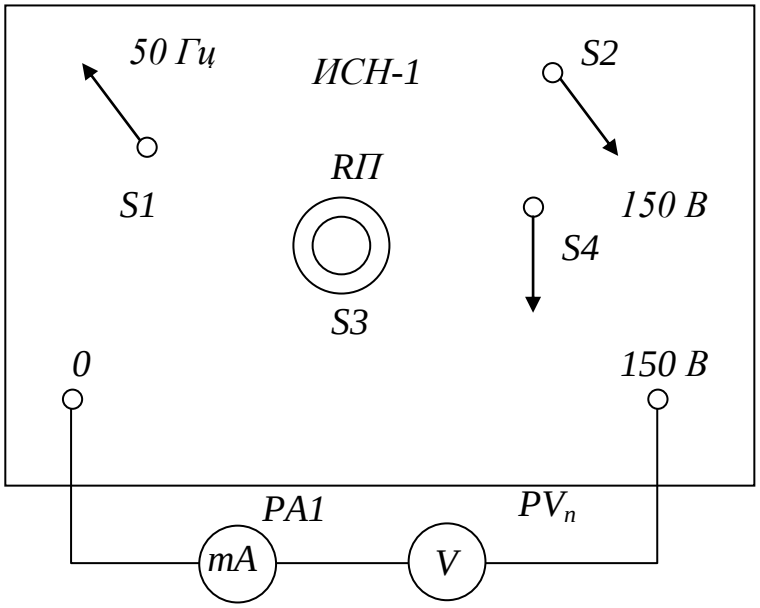


Рисунок 1.5 – Схема электрической цепи для определения внутреннего сопротивления вольтметра

1.6.6. Собрать цепь по рисунке 1.6 для поверки вольтметра на расширенном пределе измерений $U_н$=*300 В*. Для этого последовательно с вольтметром включить резистор (магазин сопротивлений) с сопротивлением $R_д$ и установить переключатель диапазона *S2* на *ИСН-1* на напряжении *600 В*.

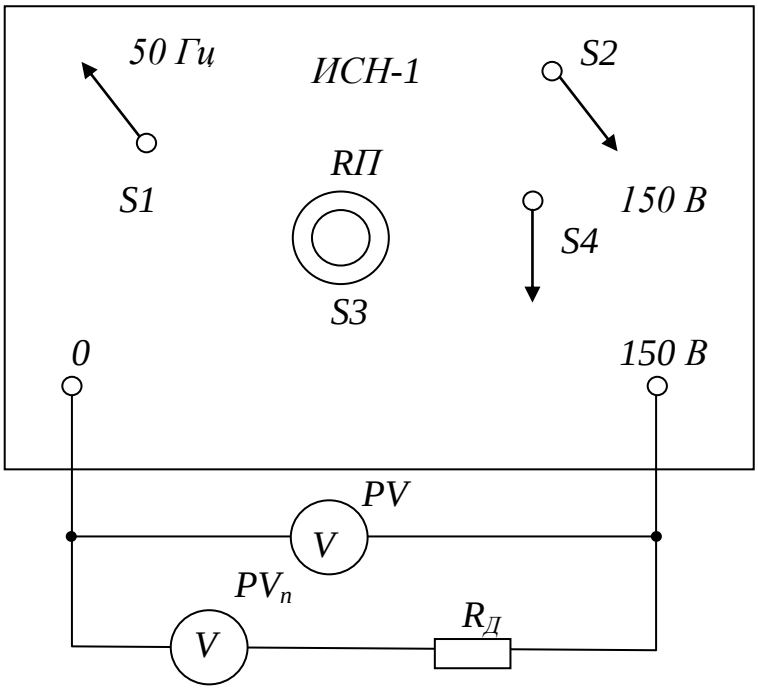


Рисунок 1.6 – Схема для проверки правильности выбора добавочного резистора

Произвести поверку вольтметра по методике, рассмотренной в пункте 1.6.3. Данные измерений занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Абсолютные и приведенные погрешности вольтметра при расширении предела измерений

Показания поверяемого вольтметра	Показания образцового вольтметра		Среднее значение показаний образцового вольтметра	Погрешности прибора		
	при увеличении напряжения	при уменьшении напряжения		абсолютная Δ_U	приведенная γ_U	поправка δ_U
B	*B*	*B*	*B*	*B*	*%*	*B*

1.6. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Вычислить значения погрешностей Δ, β, γ и занести их в таблицы 1.1 – 1.4.

Определить среднее значение приведенной погрешности γ и сравнить с классом точности прибора (для всех трех случаев).

Построить графики поправок (графики строятся в виде двух ломаных линий) амперметра и вольтметра.

1.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать рисунки, показывающие устройство магнитоэлектрических и электромагнитных приборов, схемы измерительных цепей, таблицы, результаты опытов, кривые поправок. В выводах по работе следует сделать заключение о пригодности поверяемых приборов в дальнейшей эксплуатации.

1.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие из приборов электромеханической группы предназначены для измерений в цепях только постоянного тока (только переменного тока, постоянного и переменного токов)?

2. По каким погрешностям определяют класс точности показывающего прибора?

3. Объясните принцип действия и устройство успокоителя в магнитоэлектрическом приборе.

4. Почему с увеличением частоты переменного тока показания вольтметра электромагнитной системы уменьшаются?

5. Какое из указанных ниже значений абсолютной погрешности:
а) $\pm 0{,}0075$ *В*; б) $\pm 0{,}075$*В;* в) $\pm 0{,}75$ *В*; г) $\pm 7{,}5$ *В* – максимально допустимо для вольтметра класса точности *0,5* на напряжении 150 В?

6. Имеются три вольтметра со следующими характеристиками: класс точности *0,5* при диапазоне измерений *0 – 350 В*; *1,0* – диапазон измерений *0 – 250 В*; *1,5* – диапазон измерений *0 – 150 В*. Какой из данных вольтметров обеспечит минимальную относительную погрешность измерений напряжения *127 В*?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВАТТМЕТРА

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства приборов электродинамической системы и ознакомление с методикой поверки рабочих ваттметров.

2.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

2.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

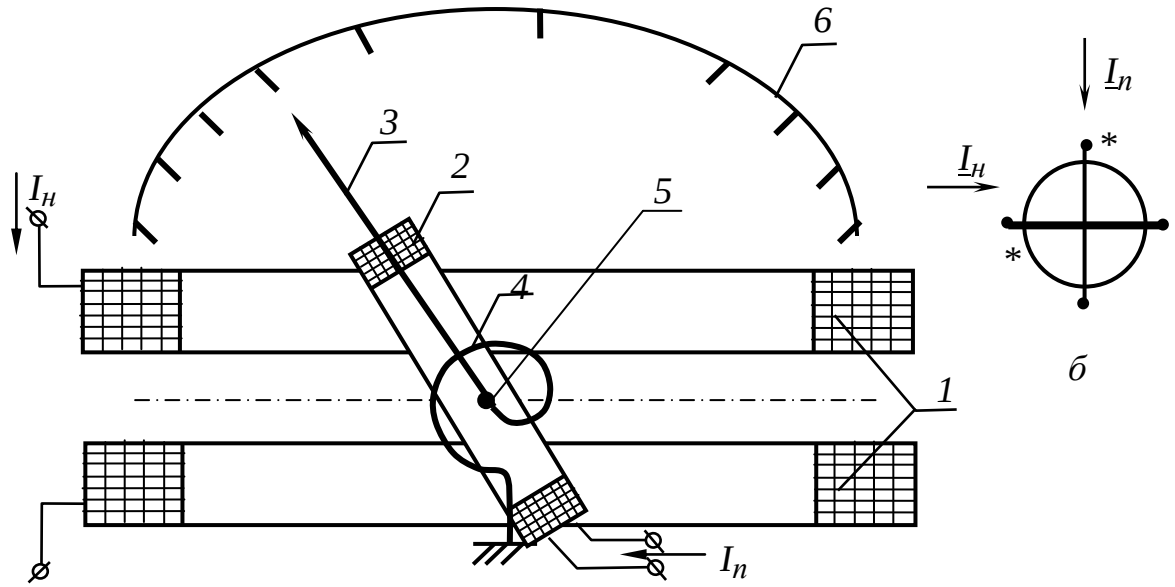
Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- приборы электродинамической и ферродинамической систем (для изучения устройства и принципа работы);
- поверяемый ваттметр - 1 шт.;
- образцовый вольтметр - 1 шт.;
- образцовый амперметр - 1 шт.;
- лабораторный автотрансформатор - 1 шт.;
- стабилизатор напряжения *СН- 500* - 1 шт.;
- нагрузочный резистор - 1 шт.;
- магазин сопротивлений - 1 шт.;
- вольтметр цифровой - 1 шт.;
- выключатель - 1 шт.

2.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии магнитных полей подвижных и неподвижной катушек с токами.

На рисунке 2.1а показано устройство измерительного механизма такого прибора. Он состоит из неподвижной катушки 1, состоящей из двух секций, подвижной катушки 2 на оси 3, противодействующей пружины 4, стрелки 5 и шкалы 6.



1 – неподвижная катушка; 2 – подвижная катушка; 3 – стрелка;
4 – противодействующая пружина; 5 – ось; 6 – шкала

Рисунок 2.1 – Устройство (а) и условное обозначение в схемах электрических цепей (б) электродинамического прибора

Условное обозначение данного прибора на принципиальных электрических схемах показано на рисунке 2.1б.

Неподвижная катушка выполняется обычно из более толстого провода, поэтому показана жирной линией, а **подвижная** катушка – из тонкого провода, поэтому показана тонкой линией.

При протекании постоянных токов $I_н$ (в неподвижной катушке) и $I_п$ (в подвижной катушке) в окружающем их пространстве создается электромагнитное поле, энергия которого W_e может быть выражена так:

$$W_e = \frac{L_Н \cdot I_Н^2}{2} + \frac{L_П \cdot L_П^2}{2} + M \cdot I_Н \cdot I_П , \qquad (2.1)$$

где $L_Н$, $L_П$ – индуктивности неподвижной и подвижной катушек,

M – взаимная индуктивность катушек.

Силы, возникающие при взаимодействии магнитных полей токов $I_Н$, $I_П$, создают вращающий момент

$$M_{вр} = \frac{dW_e}{d\alpha} , \qquad (2.2)$$

где α – угол поворота подвижной части.

Так как от взаимного расположения катушек зависит только взаимная индуктивность катушек M, то

$$M_{вр} = I_H \cdot I_П \cdot \frac{dM}{d\alpha} . \qquad (2.3)$$

Возможные варианты схем включения обмоток электродинамического прибора показаны на рисунке 2.2.

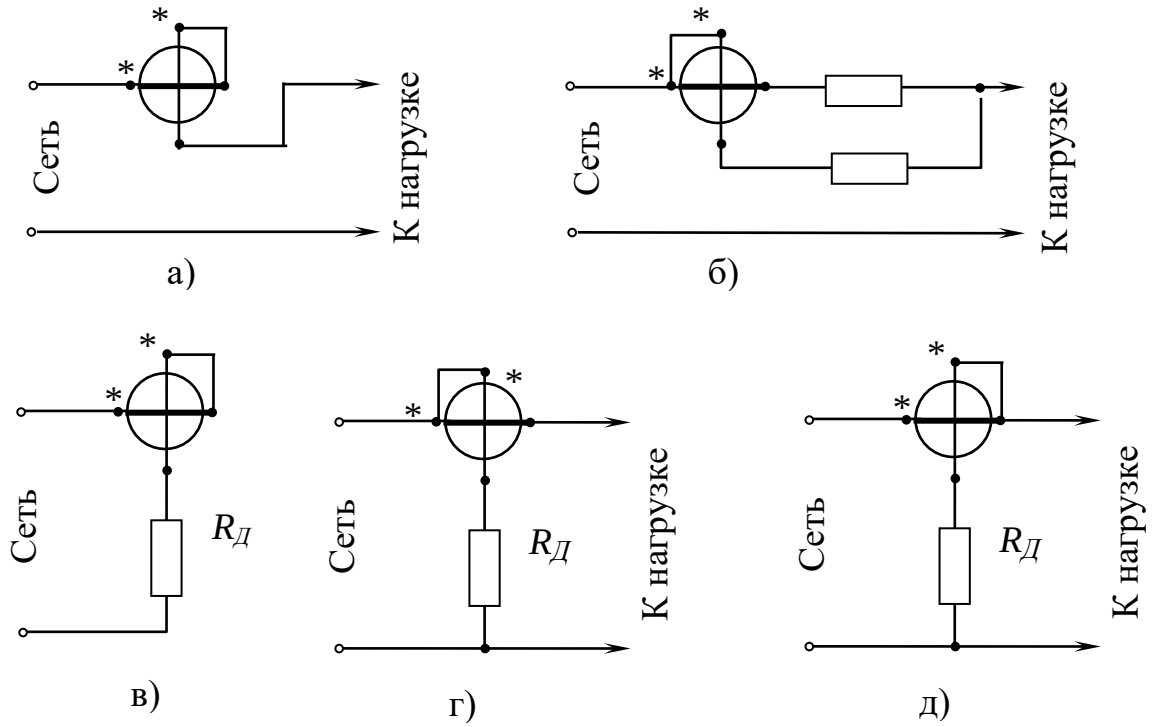
Если соединить катушки последовательно и включить их также последовательно с сопротивлением нагрузки (рисунок 2.2а), то $I_H = I_П = I$. Такой прибор будет работать как амперметр, при этом вращающий момент будет пропорционален квадрату тока: $M_{вр} \sim I^2$.

Если соединить катушки прибора последовательно между собой, включить добавочное сопротивление $R_Д$ и подключить прибор в сеть параллельно (рисунок 2.2в), то он будет работать как вольтметр и тоже иметь $M_{вр} \sim I^2$ (то есть шкала прибора неравномерна).

Наконец, если включить одну обмотку прибора последовательно с сопротивлением нагрузки (ток I_H), а вторую обмотку параллельно первой (ток $I_П$) (рисунок 2.2г), то вращающий момент будет пропорционален мощности

$$P = U \cdot I_H = I_П \cdot R_П \cdot I_H , \qquad (2.4)$$

где $R_П$ – сопротивление подвижной катушки.



а – миллиамперметр; б – амперметр; в – вольтметр; г,д – ваттметр.

Рисунок 2.2 – Схемы включения обмоток электродинамического прибора

Такой измерительный механизм применяется в ваттметрах, он имеет равномерную шкалу, так как согласно выражению (2.4) $M_{вр} \sim P$.

Знак момента $M_{вр}$ зависит от знаков $I_Н$ и $I_П$, то есть от направления токов в катушках, поэтому для правильного подключения прибора один из выводов (начало) каждой обмотки обозначают звездочкой (*****) или точкой (·).

Токовой, то есть последовательной, обмоткой является неподвижная катушка, так как она обычно рассчитана на большой ток (от *50 мА* до *5 А*).

Подвижную катушку легче изготовить на малый ток, особенно для точных приборов. Поэтому обмоткой напряжения (параллельной) является подвижная катушка, она рассчитана на несколько миллиампер. Кроме того, ток к подвижной катушке подводится через противодействующие пружины, а они не должны перегреваться током.

Для цепи переменного тока все основные зависимости остаются такими же, но вращающий момент является функцией времени. Среднее значение его за период равно:

$$M_{вр} = I_П \cdot I_Н \cdot cos(\underline{I}_П \hat{} \underline{I}_Н) \cdot \frac{dM}{d\alpha}, \qquad (2.5)$$

где *Iп, Iн* – комплексы действующих значений токов подвижной и неподвижной катушек.

При равновесии

$$M_{вр}=M_{пр} = W \cdot \alpha,$$

где $M_{пр}$ – противодействующий момент;

W – удельный противодействующий момент пружин.

Откуда

$$\alpha = \frac{M_{вр}}{W} = \frac{I_П \cdot I_Н}{W} \cdot cos(\underline{I}_П \hat{} \underline{I}_Н) \cdot \frac{dM}{d\alpha}, \qquad (2.6)$$

Для синусоидального тока активная мощность P равна:

$$P = U \cdot I_Н \cdot cos(\underline{U} \hat{} \underline{I}_Н).$$

Если $U=I_П \cdot R_П$, то $P \sim M_{вр}$, поэтому угол поворота пропорционален мощности P, и при

$$\frac{dM}{d\alpha} = const.$$

шкала прибора будет равномерной. Поэтому электродинамический измерительный

механизм применяется в ваттметрах, чаще всего лабораторных классов точности *0,1*; *0,2* или *0,5*. У высокоточных приборов подвижная часть крепится на растяжках.

Основной причиной погрешностей при измерениях мощности является собственное потребление прибора. Если включить обмотки прибора так, как показано на рисунке 2.2 г, то для цепи постоянного тока

$$P_{изм} = U \cdot I_{нагр} = (U_{нагр} + I_{нагр} \cdot R_T) \cdot I_{нагр} =$$

$$= U_{нагр} \cdot I_{нагр} + I^2_{нагр} \cdot R_T = P_{нагр} + \Delta P_T ,$$

где $P_{изм}$ – измеренная мощность;

$I_{нагр}, U_{нагр}, P_{нагр}$ – ток, напряжение и мощность нагрузки;

ΔP_T – потери мощности в токовой обмотке.

Для схемы 2.2д имеем:

$$P_{нагр} = U_{нагр} \cdot (I_{нагр} + I_П) = U_{нагр} \cdot I_{нагр} + U_{нагр} \cdot I_П = P_{нагр} + \Delta P_н , \qquad (2.8)$$

где $\Delta P_н$ – потери в цепи напряжения; $\Delta P_н = U_{нагр} \cdot I_П = U^2_{нагр} / R_н$;

$R_н$ – сопротивление подвижной катушки и добавочного сопротивления, $R_н = R_П + R_{Д.}$

Так как почти всегда $\Delta P_T < \Delta P_н$, то, как правило, при измерениях мощности применяется схема 2.2г.

При измерениях мощности в цепи переменного тока возникает также угловая погрешность ваттметра, вызванная тем, что ток в подвижной обмотке не совпадает по фазе с напряжением из-за наличия индуктивности.

Обычно угол между напряжением и током в подвижной обмотке не превышает 50^0.

Соответствующая погрешность β_γ называется угловой

$$\beta_\gamma \cong \gamma \cdot tg\varphi,$$

где φ – угол между напряжением и током нагрузки.

Если угол φ близок к 90^0, то угловая погрешность становится весьма значительной. В этом случае рекомендуется применять специальные “малокосинусные” ваттметры.

Цену деления ваттметра (“постоянную прибора”) следует определять по формуле

$$C = \frac{U_н \cdot I_н \cdot cos\varphi_н}{\alpha_{max}} , \qquad (2.9)$$

где $U_н$ – выбранный предел измерений по напряжению;

$I_н$ – выбранный предел измерений по току;

$cos\varphi_н$ – номинальный коэффициент мощности прибора;

α_{max} – число делений шкалы.

Для большинства ваттметров $cos\varphi_н=1$. Для малокосинусных ваттметров он указан на шкале прибора и, как правило, равен *0,1*.

2.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы следует соблюдать общие правила техники безопасности. Кроме того, при подключении магазина сопротивлений $R_Д$ (рисунок 2.3) необходимо убедиться, что ток через сопротивление $R_Д$ не будет больше допустимого (см. паспортные данные).

2.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.6.1. Изучить устройство и принцип действия электродинамических приборов.

2.6.2. Ознакомиться с приборами и оборудованием. Записать их паспортные данные в таблицу 1в. Вычислить номинальное значение постоянной ваттметра.

2.6.3. Собрать электрическую цепь (рисунок 2.3). Обратить внимание на то, что в данном случае токовые цепи и цепи напряжения имеют раздельное питание. Напряжение на ваттметр подается от стабилизатора *СН- 500*. Так как на выходе стабилизатора номинальное напряжение равно *220 В,* а у ваттметра оно меньше (например *150 В*), то последовательно включается добавочное сопротивление $R_Д$. Для измерения напряжения на ваттметре предусмотрен образцовый вольтметр *PV1*. Ток в последовательной цепи регулируется с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) *TV1* и измеряется образцовым амперметром *PA1*. Благодаря раздельному питанию легко обеспечить требуемый режим работы ваттметра, причем в нагрузке $R_Н$ выделяется мощность во много раз меньшая, чем показывает ваттметр (“фиктивная мощность”). Подобные схемы измерительных цепей применяются также при поверке счетчиков и других приборов.

2.6.4. Произвести поверку ваттметра. Для этого следует:

- рассчитать или подобрать сопротивление $R_Д$ такое, чтобы обеспечить на ваттметре номинальное напряжение. Если $R_Д$ подбирается, то сначала надо установить его максимальное значение (например, *10 кОм* или больше), установить ЛАТР в нулевое положение, подать напряжение на стабилизатор и, уменьшая $R_Д$, добиться того, чтобы образцовый вольтметр показал номинальное напряжение;

- плавно увеличивая ток от нуля до номинального (автотрансформатором), записать показания приборов при пяти различных значениях мощности (*30, 60* и т.д. делений);

- аналогично снять показания при уменьшении тока (при тех же показаниях ваттметра). Результаты измерений записать в таблицу 2.1.

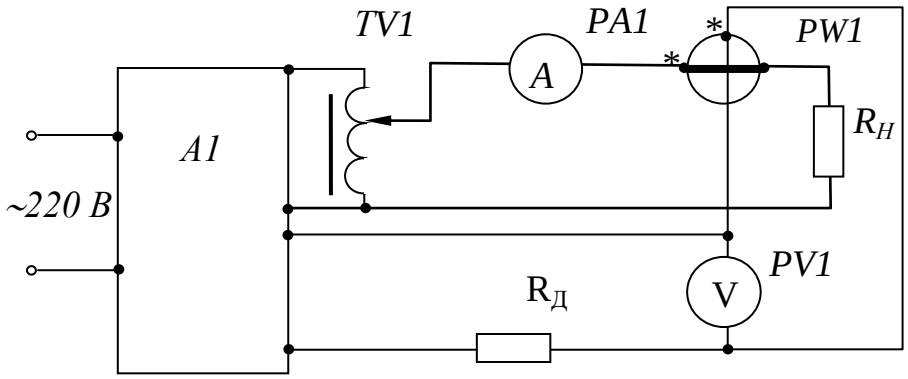


Рисунок 2.3 – Схема поверки ваттметра.

Таблица 2.1 – Поверка ваттметра

Измерено				Вычислено			
Показания ваттметра		Показания амперметра					
α	$P_{изм}$	при увеличении тока I'_0	при уменьшении тока I''_0	Ток $I_{ср} = (I'_0 + I''_0)/2$	Действительная мощность $P = I_{ср} \cdot U_Н$	Приведенная погрешность ваттметра $\gamma = \frac{P_{изм} - P}{P_н}$	Действительная постоянная ваттметра $C = P/\alpha$
дел	*Вт*	*А*	*А*	*А*	*Вт*	%	Вт/дел

2.6.5. Измерить сопротивление токовой обмотки ваттметра. Для этого выполнить следующее:

- собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 2.4. Вольтметр *PV2* рекомендуется применять электронный;

- при трех значениях токов (от номинального и менее) снять показания приборов и записать их в таблицу 2.2.

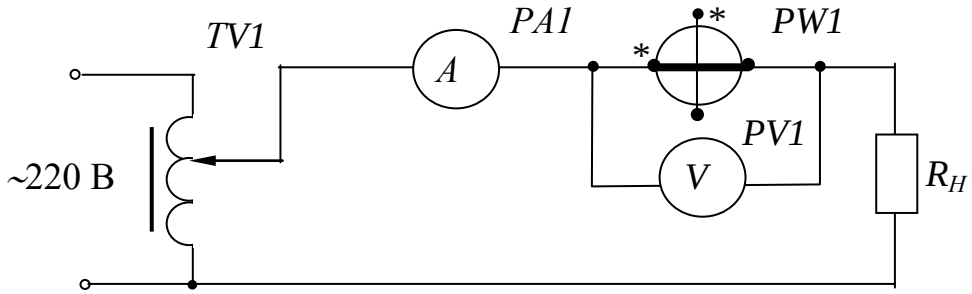


Рисунок 2.4 – Схема для измерений сопротивления
токовой обмотки ваттметра

Таблица 2.2 – Определение параметров токовой обмотки ваттметра

I	U	R_T	$R_{T.ср} = \frac{R_{T1} + R_{T2} + R_{T3}}{3}$	$P_T = I^2 \cdot R_{T.CP}$	Примечания
А	*В*	*Ом*	*Ом*	*Вт*	-

2.6.6. Измерить сопротивление обмотки напряжения ваттметра:

- собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 2.5. Внутреннее сопротивление вольтметра $R_в$ *PV1* должно быть известно и соизмеримо с сопротивлением обмотки напряжения ваттметра;

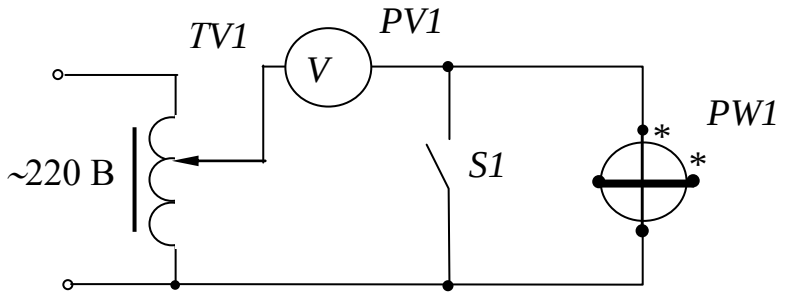


Рисунок 2.5 – Схема для измерений сопротивления
обмотки напряжения ваттметра

- при трех значениях напряжения (но не более номинального напряжения ваттметра) записать показания вольтметра при замкнутом ключе *S1* (U_1) и при разомкнутом ключе *S1* (U_2). Записать их в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Определение сопротивления обмотки напряжения ваттметра

U_1 (ключ *S1* замкнут)	U_2 (ключ *S1* разомкнут)	$R_H = R_B \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right)$	$P_H = \frac{U^2{}_H}{R_H}$	Примечания
В	*В*	*Ом*	*Вт*	-

2.7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

При вычислении приведенной погрешности γ номинальная мощность $P_н$ определяется по паспортным данным ваттметра.

Результаты вычислений сравнить с классом точности ваттметра и сделать соответствующие выводы. Сравнить потери $\Delta P_т$ и $\Delta P_н$ и сделать выводы о том, по какой схеме следует включать обмотки ваттметра при измерениях мощности.

Отчет должен содержать принципиальные схемы, применяемые при поверке ваттметра и определении сопротивлений его обмоток, таблицы измерений и вычислений, выводы по работе.

2.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как устроен прибор электродинамической системы?
2. Поясните принцип работы приборов электродинамической системы.
3. Почему начала обмоток у ваттметра обозначают специальным значком, а у амперметра не обозначают?
4. Почему при измерении мощности ваттметром необходимо так же контролировать значение напряжения и силу тока в цепи?
5. Каковы основные причины погрешностей при измерениях мощности ваттметром?
6. В каких случаях следует применять «малокосинусные» ваттметры?
7. Приборы каких систем, кроме электродинамической, применяются для измерений мощности?
8. Поясните работу электрических цепей по рис. 2.3, 2.4, и 2.5.
9. Как определить цену деления ваттметра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ОДНОФАЗНОГО ИНДУКЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства, принципа работы измерительных механизмов индукционной системы и методов поверки однофазных счетчиков.

3.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

3.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- индукционный однофазный счетчик электроэнергии;
- поверочная установка *У1134М*;
- секундомер;
- образцовые приборы (амперметр, вольтметр, ваттметр);
- автотрансформатор (ЛАТР) – 2 шт.;
- трансформатор тока лабораторный;
- понижающий трансформатор *220/6 В*;
- реостат на номинальный ток не менее *10 А*.

3.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Счетчики электрической энергии переменного тока бывают индукционной и электронной систем. В данной лабораторной работе изучаются счетчики индукционной системы, которые широко применяются на электростанциях, подстанциях и в электроустановках потребителей.

В отличие от других показывающих приборов подвижная часть счетчика имеет неограниченный угол поворота, то есть вращается. Частота вращения подвижной части прибора пропорциональна активной мощности нагрузки (для однофазных и

трехфазных счетчиков активной энергии). Счетный механизм осуществляет интегрирование мощности, то есть учитывает расход электроэнергии.

Основной частью счетчика является его измерительный механизм. Он состоит из неподвижных электромагнитов и подвижной части – алюминиевого диска (рисунок 3.1).

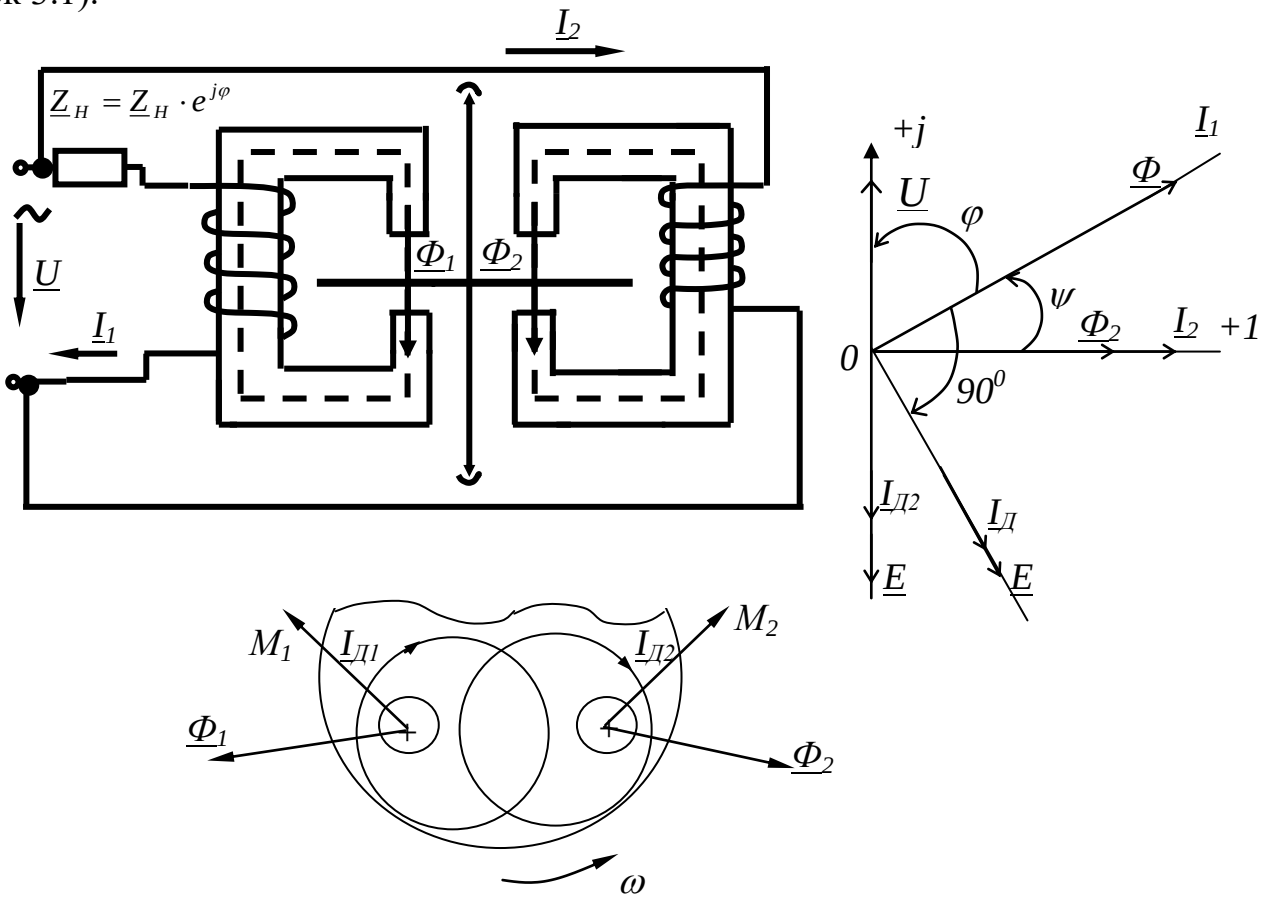


Рисунок 3.1 – Электрическая схема и диаграммы, поясняющие принцип работы индукционного механизма

В основу работы индукционного механизма положено явление взаимодействия переменного магнитного потока с индуктированными в диске токами.

Пусть

$$i_1 = I_{1m} \cdot sin(\omega t + \psi);$$

$$i_2 = I_{2m} \cdot sin\omega t,$$

тогда создаваемые этими токами магнитные потоки

$$\Phi_1 = \Phi_{1m} \cdot sin(\omega t + \psi); \quad \Phi_2 = \Phi_{2m} \cdot sin\omega t.$$

Магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 наводят в диске ЭДС e_1 и e_2, отстающие от соответствующих магнитных потоков на 90^0. Под действием ЭДС в дисках возникают

вихревые токи $i_{Д1}$ и $i_{Д2}$, почти совпадающие по фазе с ЭДС, так как индуктивность контуров тока мала:

$$i_{Д1} = I_{Д1m}\ sin(\omega t + \psi - 90^0);$$
$$i_{Д2} = I_{Д2m}\ \ sin(\omega t - 90^0).$$

Эти токи, взаимодействуя с магнитными потоками Φ_1 и Φ_2, создают вращающие моменты M_1 и M_2

$$M_1(t) = \kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot i_{Д2} = \kappa_1 \cdot \Phi_{1m} \cdot sin(\omega t + \psi) \cdot I_{Д2m} \cdot sin(\omega t - 90^0);$$

$$M_2(t) = \kappa_2 \cdot \Phi_2 \cdot i_{Д1} = \kappa_2 \cdot \Phi_{2m} \cdot sin\omega t \cdot I_{Д1m} \cdot sin(\omega t + \psi - 90^0),$$

где κ_1 и κ_2 – коэффициенты пропорциональности.

Направления вращающих моментов M_1 и M_2 определяют по правилу левой руки.

Средние значения моментов за период T:

$$M_1 = \frac{1}{T}\int_0^T M_1(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T \kappa_1 \cdot \Phi_{1m} \cdot I_{Д2m} \cdot sin(\omega\ t + \psi) \cdot sin(\omega\ t - 90^0)dt =$$

$$= \frac{\kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_{Д2m}}{T} \cdot \frac{1}{2}\int_0^T \left[cos(\psi + 90^0) - cos(2\omega\ t + \psi - 90^0)\right] dt =$$

$$= \frac{\kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_{Д2}}{T} \cdot cos(\psi + 90^0) \cdot T = \kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_{Д2} \cdot cos(\psi + 90^0).$$

Аналогично $M_2 = \kappa_2 \cdot \Phi_2 \cdot I_{Д1} \cdot cos(90^0 - \psi)$.

Суммарный вращающий момент с учетом того, что M_1 и M_2 направлены встречно, равен:

$$M_{вр} = M_2 - M_1 = \kappa_2 \cdot \Phi_2 \cdot I_{Д1} \cdot cos(\ 90^0 - \psi) - \left[-\kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_{Д2} \cdot cos(\ 90^0 - \psi)\right] =$$

$$= (\kappa_2 \cdot \Phi_2 \cdot I_{Д1} + \kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_{Д2}) \cdot cos(90^0 - \psi) =$$

$$= (\kappa_2 \cdot \Phi_2 \cdot f \cdot \Phi_1 + \kappa_1 \cdot \Phi_1 \cdot f \cdot \Phi_2)\sin\psi,$$

так как вихревые токи $I_{Д1}$ и $I_{Д2}$ пропорциональны частоте f и магнитным потокам, которые их создают.

Обозначив $\kappa_1 + \kappa_2 = \kappa$, получим

$$M_{вр} = \kappa\, f\, \Phi_1\, \Phi_2 \sin\psi. \qquad (3.1)$$

Сравнив (3.1) с формулами для вычисления активной P и реактивной Q мощ-

ностей ($P=U\,I\,\cos\varphi$ и $Q=U\,I\,\sin\varphi$), можно сделать выводы:

- $M_{вр}$ пропорционален P, если $U \cong \Phi_2$, $I \cong \Phi_1$ и $\cos\varphi \cong \sin\Psi$,
- $M_{вр}$ пропорционален Q, если $\cos\varphi \cong \sin\Psi$.

Однофазные счетчики реактивной энергии не применяются.

Для счетчиков активной энергии равенство $\cos\varphi \cong \sin\Psi$ обеспечивается их конструкцией. Поэтому расход электроэнергии $W_{эл}$ пропорционален числу оборотов диска N, то есть

$$W_{эл} = \int_{t_1}^{t_2} P dt = C \cdot N,$$

где C – коэффициент пропорциональности, называемый **постоянной счетчика**.

В установившемся режиме вращающий момент равен противодействующему. Противодействующий момент в счетчике создается постоянным магнитом.

В паспорте счетчика приводится значение передаточного числа счетчика A (или K), величины, обратной постоянной счетчика C.

Так как расход электроэнергии обычно определяется в киловатт-часах, то, если $A=600$ *об/(кВт час):*

$$C_H = \frac{1}{A} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 60^2}{600} = 6 \cdot 10^3 \; Вт.с/об.$$

Действительные значения постоянных C_H, A_H отличаются от их паспортных (номинальных) значений $C_Д$, $A_Д$ на значение абсолютной погрешности $\Delta C = C_H - C_Д$.

Относительная погрешность β равна:

$$\beta = \frac{C_H - C_Д}{C_Д} \cdot 100\%.$$

Основной метрологической характеристикой счетчика является **предел допустимой основной погрешности счетчика** $\beta_{доп}$, который определяется по специальным формулам и таблицам. Приближенно можно считать, что при нагрузке от *5%* до *100%* допустимая погрешность счетчика равна его классу точности.

При поверке счетчика измеряют время, в течение которого диск сделает заданное число оборотов. Поэтому удобнее вычислять погрешность счетчика через нормальное t_H и действительное $t_Д$ время:

$$\beta = \frac{t_H - t_Д}{t_Д} \cdot 100\%,$$

здесь

$$t_H = \frac{C_H \cdot N_t}{P},$$

где N_t – число оборотов диска за время $t_Д$;

P – мощность нагрузки по образцовому ваттметру.

Важными метрологическими характеристиками счетчиков являются также порог чувствительности и самоход.

Порог чувствительности – это отношение минимального тока, вызывающего непрерывное вращение диска, к номинальному току при номинальном напряжении и коэффициенте мощности, равном 1. Для бытовых счетчиков (класса *2,5*) порог чувствительности равен *0,01*, то есть *1%*.

Самоход – это вращение счетчика под действием напряжения при отсутствии тока нагрузки. Отсутствие самохода проверяется при разомкнутой токовой цепи и напряжении $U=1{,}1 \cdot U_H$, при этом в течение *10* минут диск не должен сделать более одного оборота.

В зависимости от способа включения в сеть счетчики делятся на прямоточные, трансформаторные и универсальные. Прямоточные счетчики выпускают для на номинальный ток *5, 10* и более ампер и включают без масштабных преобразователей (без трансформаторов тока и напряжения). Конечно, номинальное напряжение счетчика должно соответствовать напряжению сети.

Трансформаторные счетчики включаются совместно с конкретными измерительными трансформаторами. Универсальные счетчики могут включаться как с измерительными преобразователями, так и без них.

3.5. ПОВЕРКА ОДНОФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ

Счетчики поверяют двумя методами:

1) сопоставлением частоты вращения диска с показаниями образцового ваттметра – метод ваттметра и секундомера;

2) сравнением показаний поверяемого и образцового счетчиков электрической энергии.

Второй метод в лабораторной практике применяется редко, поэтому ниже рассмотрен метод ваттметра и секундомера.

Поверку однофазных счетчиков можно проводить по одной из схем (рисунки 3.2 и 3.3) или на специальной установке, например *У1134М*.

Схема, приведенная на рис. 3.2, практически не применяется, так как сложно обеспечить требуемую нагрузку $Z_н$. Эта нагрузка должна содержать активную и реактивную составляющие, каждую из которых необходимо регулировать. Кроме того, возникает методическая погрешность, вызванная потреблением энергии самим счетчиком.

Схема измерительной цепи по рисунку 3.3 широко применяется в тех случаях, когда производятся единичные поверки (не массовые). В ней цепи напряжения и тока имеют раздельное питание, поэтому говорят, что приборы работают при фиктивной нагрузке. Этот способ поверки свободен от методической погрешности и не требует мощного источника питания.

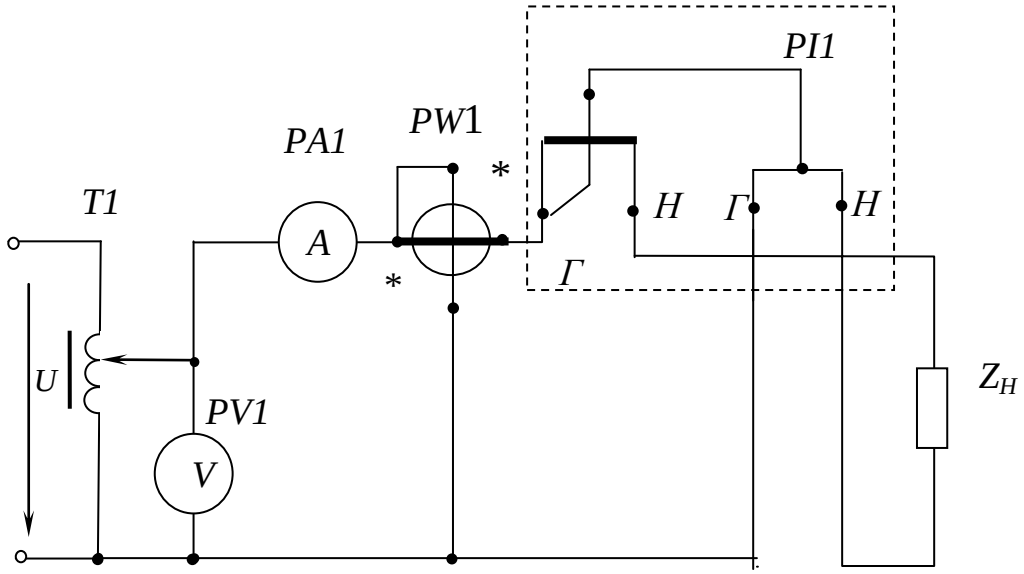


Рисунок 3.2 – Схема поверки счетчика при реальной нагрузке

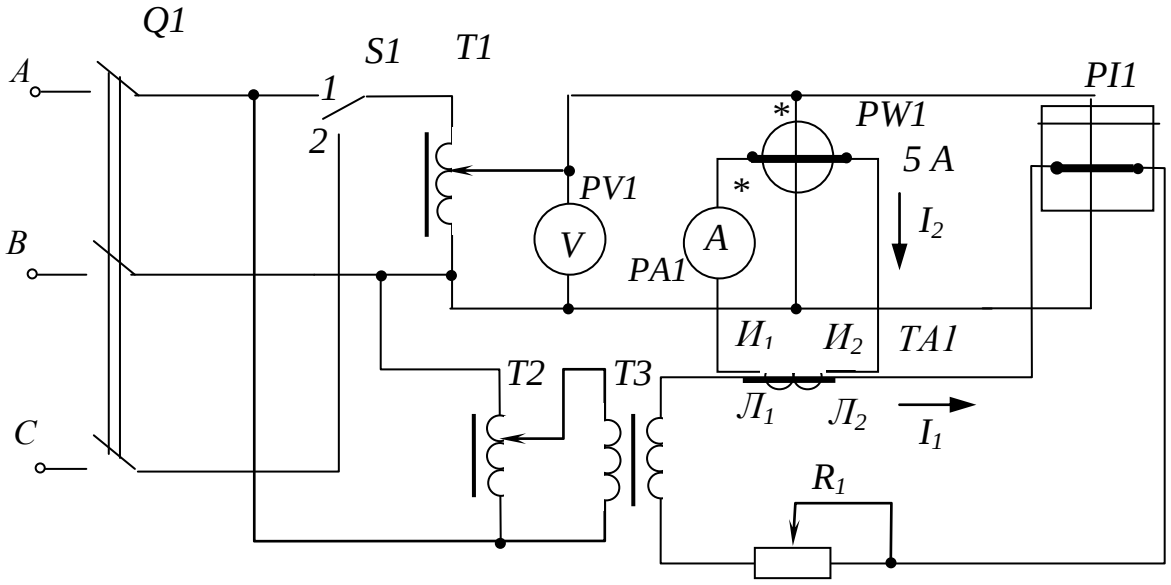


Рисунок 3.3 – Схема поверки счетчика при фиктивной нагрузке

Поверку проводят при двух значениях коэффициента мощности:

- *cosφ=1* (положение 1 переключателя *S1*);
- *cosφ=0,5* (положение 2 переключателя *S1*).

Регулируют напряжение и ток автотрансформаторами *T1* и *T2*.

Тот же принцип (при фиктивной нагрузке) используется в специальных измерительных установках типа *У1134М*. Эта установка применяется для поверки амперметров, вольтметров, ваттметров, варметров и счетчиков электроэнергии. Достоинство измерительных установок в том, что в них конструктивно объединены все необходимые приборы, остается только подключить поверяемый прибор. В комплект установки входит специальная электрическая машина – фазорегулятор. Он

позволяет плавно регулировать угол между током и напряжением в широких пределах ($\pm 180^0$).

Образцовые приборы (амперметр, ваттметр) чаще всего выпускают с номинальным значением тока *5 А*. Если номинальный ток счетчика отличается от *5 А*, то применяется трансформатор тока. В этом случае

$$I_1 = I_2 \cdot \kappa_2,$$

где κ_2 – коэффициент трансформации трансформатора тока *TA1*.

Цена деления ваттметра также умножается на κ_2.

3.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.6.1. Ознакомиться с приборами и записать их паспортные данные в таблицу 1в.

3.6.2. Собрать электрическую цепь (рисунок 3.3). Регуляторы тока и напряжения установить в нулевое положение. Коэффициент трансформации трансформатора тока выбрать в соответствии с номинальным значением тока счетчика. Переключатель *S1* установить в положение 1, что соответствует $cos\varphi = 1$.

3.6.3. После проверки цепи преподавателем включить цепь под напряжение и проверить работу цепей тока и напряжения. Прогреть счетчик в течение *10…15* минут при номинальном значении тока и напряжения.

3.6.4. Установить номинальное напряжение и, задаваясь числом оборотов диска (примерно от *5* – при малой нагрузке, до *20* – при большой), измерить время $t_Д$ при различных токах нагрузки. Результаты записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Определение времени $t_Д$ при различных токах нагрузки

$cos\varphi$	N_t, об	$I_1/I_{1н}\cdot 100$, %	I_2, А	U, В	P, Вт	$t_Д$, с	I_1, А	$t_{Н,,}$ с	β, %	$cos\varphi$
1		100								
1		50								
1		20								
0,5		100								
0,5		50								
0,5		20								

3.6.5. Переключатель *S1* установить в положение 2, что обеспечит коэффициент мощности $cos\varphi = 0{,}5$, и повторить измерения.

3.6.6. Отключить ток нагрузки, повысить напряжение до $1{,}1\cdot U_н$ и проверить счетчик на отсутствие самохода.

3.6.7. Вычислить основную относительную погрешность счетчика β и $cos\varphi$ при различных значениях нагрузки. Сравнить заданные и вычисленные значения $cos\varphi$ и сделать вывод о причинах возможных погрешностей.

Сравнить вычисленные значения β с классом точности счетчика и сделать соответствующий вывод.

3.7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: наименование работы; цель работы; принципиальную схему поверки счетчика (рисунок 3.3); таблицу измерений; основные расчетные формулы; выводы по лабораторной работе.

3.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково устройство и принцип действия однофазного индукционного счетчика активной энергии?
2. Можно ли индукционным счетчиком измерять расход энергии в цепях постоянного тока?
3. Начертите схему включения однофазного счетчика в электрическую цепь.
4. Что такое фиктивная нагрузка?
5. Как определить номинальную постоянную счетчика?
6. Как определить основную относительную погрешность счетчика?
7. Что такое порог чувствительности?
8. Зачем нужен противодействующий момент в счетчике и чем он создается?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНОГО СЕРДЕЧНИКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методов получения кривых намагничивания и определения потерь в стали для ферромагнитных сердечников в магнитном поле промышленной частоты.

4.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

4.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- кольцевой ферромагнитный сердечник с двумя обмотками - 1 шт.;
- лабораторный автотрансформатор с вольтметром - 1 шт.;
- миллиамперметр *Э34* на *75 мА* (действующее значение) - 1 шт.;
- ваттметр *Д592* - 1 шт.;
- вольтметр *3515* на *60 В* - 1 шт.;
- вольтметр электронный цифровой с пределом до *1В* - 1 шт.;
- катушка взаимной индуктивности или образцовое сопротивление на *50 – 100 Ом*.

4.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Важнейшей характеристикой ферромагнитных материалов является зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H (кривая намагничивания). Если магнитное поле создается постоянным током, то зависимость $B=f(H)$ выражается семейством петель гистерезиса. В справочной литературе приводятся данные для основной кривой намагничивания, то есть для кривой, соединяющей вершины симметричных гистерезисных петель. Имея зависимость $B=f(H)$, можно построить кривую $\mu_r=f(H)$, где μ_r – относительная магнитная проницаемость.

По ее значению можно судить о качестве сборки магнитопровода (наличии зазоров), если известна марка стали, а также о насыщении стали.

Та же зависимость *B=f(H)*, полученная в переменном магнитном поле, называется динамической характеристикой намагничивания. Она зависит не только от свойств материала магнитопровода, но и от его формы и размеров, от частоты перемагничивания и формы кривой магнитной индукции. Поэтому характеристики, полученные для одного и того же образца в постоянных и переменных магнитных полях, значительно отличаются друг от друга. При определении магнитных свойств ферромагнитных материалов обычно в результате экспериментов определяют электрические величины, по которым рассчитывают искомые магнитные величины.

Для получения кривых намагничивания в магнитных полях промышленной частоты используют три основных метода:

- метод амперметра-вольтметра;
- потенциометрический метод;
- мостовой метод.

Мостовой метод определения магнитных характеристик заключается в измерении индуктивности и активного сопротивления катушки с ферромагнитным сердечником с помощью моста переменного тока. По полученным данным рассчитывают магнитные характеристики. Погрешность измерений составляет при этом *3–5 %*.

Более точным является метод измерения ЭДС во вторичной обмотке, причем ток измеряется при помощи потенциометра переменного тока по падению напряжения на образцовом сопротивлении.

Метод амперметра-вольтметра, подробно изложенный ниже, аналогичен потенциометрическому, но вместо потенциометра применяют амперметр и вольтметр с большим входным сопротивлением. В основе метода лежит закон электромагнитной индукции:

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -w\frac{d\Phi}{dt},$$

где Ψ – потокосцепление обмотки;

w – число витков обмотки;

Φ – магнитный поток , проходящий по магнитопроводу с сечением S.

$$\Phi = B \cdot S.$$

Для получения зависимости *B=f(H)* в переменном магнитном потоке на исследуемый магнитопровод наматывают две обмотки: намагничивающую с числом витков w_1 и измерительную w_2 (рисунок 4.1).

Тогда ЭДС, наводимая в измерительной обмотке, равна:

$$e = -w_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -w_2 \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}.$$

Если $B = B_m \cdot sin\omega t$, то

$$e_2 = -w_2 \cdot S \cdot B_m \cdot \omega \cdot \cos\omega t = -2 \cdot \pi \cdot f \cdot w_2 \cdot S \cdot B_m \cdot \cos\omega t = E_{2m} \cdot \sin(\omega t - 90^o),$$

откуда $$B_m = \frac{E_{2m}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot W_2 \cdot S}.$$

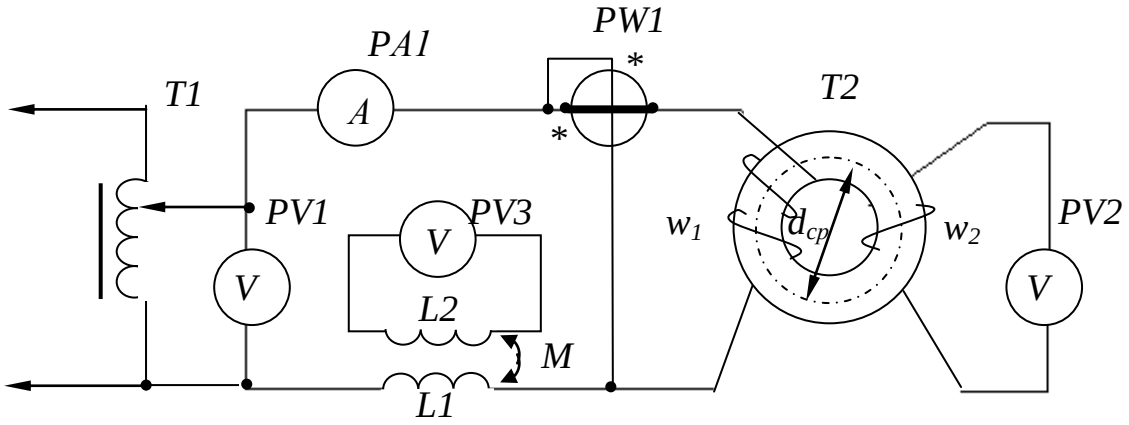


Рисунок 4.1 – Экспериментальная установка

Вольтметр *PV2* измеряет напряжение, которое всегда меньше ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении обмотки w_2. Чтобы сделать это падение напряжения ничтожно малым, вольтметр *PV2* должен иметь большое сопротивление. Поэтому часто применяют вольтметр магнитоэлектрической системы с выпрямителем, который измеряет среднее значение напряжения за полпериода. Идеальным можно считать применение цифрового вольтметра. Если измеряется среднее значение U_{2cp}, то

$$E_{2m} = E_{2cp} \cdot \frac{\pi}{2} \approx \frac{\pi}{2} \cdot U_{2cp}.$$

Тогда $$B_m = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_{2cp}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot w_2 \cdot S} \qquad (4.1)$$

При применении вольтметра электромагнитной системы или электродинамической системы, что допустимо, если полное сопротивление вторичной обмотки во много раз меньше сопротивления вольтметра, то, считая ЭДС e_2 синусоидальной, получим

$$B_m = \frac{E_{2m}}{2\pi \cdot f \cdot w_2 \cdot S} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot f \cdot w_2 \cdot S} = \frac{U_2}{4{,}44 f \cdot w_2 \cdot S}. \qquad (4.2)$$

Напряженность магнитного поля H создается намагничивающим током I_1 ,

проходящим по обмотке w_1. Связь между H и I_1 дает закон полного тока:

$$\oint \overline{H} d\bar{l} = i_1 \cdot w_1 ,$$

где l – длина средней линии магнитопровода.

Учитывая, что векторы $\overline{H}$ и $d\,\bar{l}$ совпадают по направлению, получим

$$H \cdot l = i_1 \cdot w_1;$$

тогда

$$H = \frac{i_1 \cdot w_1}{l} .$$

Если

$$i_1 = I_{1m} \cdot \sin(\omega t + \Psi) ,$$

то

$$H = \frac{w_1}{l} I_{1m} \cdot \sin(\omega t + \Psi) = H_m \cdot \sin(\omega t + \Psi) ;$$

то есть

$$H_m = \frac{w_1}{l} \cdot I_{1m} = \frac{w_1 \cdot k_a \cdot I_1}{l} \quad , \tag{4.3}$$

где I_1 – действующее значение тока i_1.

Вычисляя B_m и H_m по формулам (4.2) и (4.3) при различных значениях тока I_1, можно построить зависимость $B_m=f(H_m)$, а также вычислить относительную магнитную проницаемость μ_r:

$$\mu_r = \frac{\mu_a}{\mu_0} = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot H_m} , \tag{4.4}$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ *Гн/м*.

Примерный вид зависимости $\mu_r=f(H_m)$ показан на рисунке 4.2.

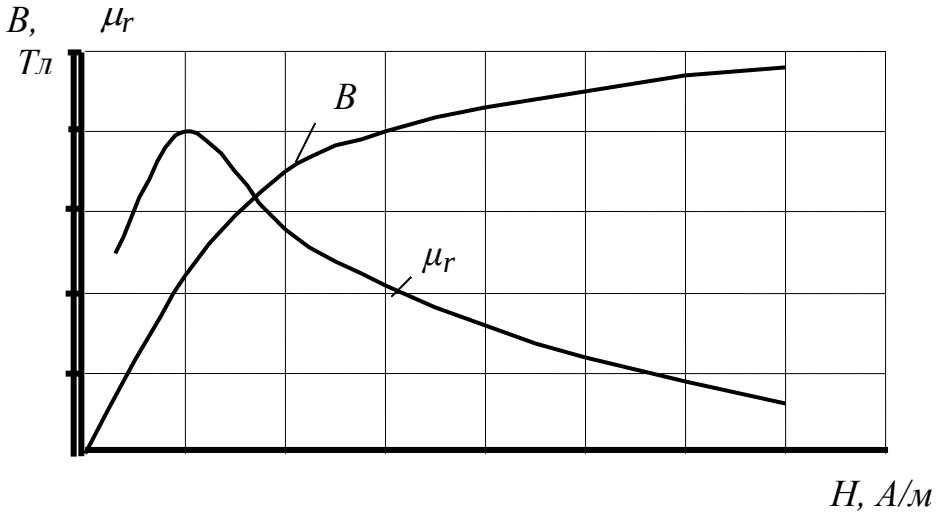


Рисунок 4.2 – Примерные характеристики ферромагнитного магнитопровода

Для использования формулы (4.3) необходимо знать значение коэффициента амплитуды k_a для тока I_1.

Для синусоиды $k_a=\sqrt{2}$. Обычно кривая тока I_1 может значительно отличаться от синусоиды, так как электрическая цепь с ферромагнитным сердечником нелинейная. Поэтому можно определить значение I_{1m}, например, по падению напряжения на образцовом сопротивлении r_o, применив амплитудный вольтметр *PV3*.

Тогда $$I_{1m} = \frac{U_{3m}}{r_o} = \frac{U_3\sqrt{2}}{r_o}\ , \qquad (4.5)$$

так как амплитудные вольтметры обычно градуируются в действующих значениях синусоидального напряжения.

Тот же вольтметр можно включить через катушку взаимной индуктивности M. Тогда

$$I_{1m} = \frac{U_3}{4{,}44 \cdot f \cdot M}. \qquad (4.6)$$

На практике очень важной характеристикой магнитопровода является величина удельных потерь энергии в стали на вихревые токи и гистерезис. Эти потери нормированы соответствующими стандартами при значениях индукции $B_m = 1$ *Тл* и $B_m = 1{,}5$ *Тл*.

Например, для стали *Э310* при $f = 50$ *Гц*, $B_m = 1$ *Тл* удельные потери $P_{1,0}=1{,}15$ *Вт/кг*, а при $B_m = 1{,}5$ *Тл* они равны $P_{1,5}=2{,}47$ *Вт/кг*. Для других значений индукции потери в стали P_0 можно определить по эмпирической формуле

$$P_0 = P_{1,0} \cdot B_m^n \cdot \left(f/50\right)^{1,3},$$

где $n = 5{,}691 \cdot lg\left(P_{1,5}/P_{1.0}\right)$.

Потери в стали P_c по схеме на рисунке 4.1 определяются с некоторой погрешностью, так как в данном случае ваттметр учитывает также потери в обмотке намагничивания и токовой обмотке ваттметра. Если ими пренебречь, то можно считать $P_W = P_c$.

Тогда $$P_0 = \frac{P_C}{V \cdot \gamma} = \frac{P_W}{S \cdot l \cdot 7{,}5 \cdot 10^3},$$

где V – объем магнитопровода, $м^3$;

γ – плотность магнитопровода с учетом зазоров и изоляции, $\gamma=7{,}5 \cdot 10^3$ $кг/м^3$.

4.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы следует соблюдать общие правила техники безопасности. Кроме того, следует соблюдать особую внимательность и осторожность при выборе пределов измерений многопредельных приборов (начинать измерения с большего предела). Ваттметр перед началом измерений должен быть выставлен по уровню. Если вместо катушки взаимной индуктивности применяется образцовое сопротивление (магазин сопротивлений), то следует учитывать, что в случае его обрыва напряжение на вольтметре *PV3* во много раз возрастет.

4.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.6.1. Ознакомиться с приборами и записать их паспортные данные в таблицу 1в.

4.6.2. Собрать электрическую цепь (рисунок 4.1). При выборе измерительных приборов необходимо учитывать, что напряжение U_2 может достигать *50 В*, U_3 составляет менее *1,0 В*, а ток I_1 - *50 – 60 мА*.

4.6.3. Задаваясь различными значениями тока (от *20 мА* и выше), снять показания приборов и записать их в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и вычислений

Измерено					Вычислено					
U_1	U_2	U_3	I_1	P_W	B_m	I_{1m}	k_a	H_m	μ_r	P_o
В	*В*	*В*	*мА*	*Вт*	*Тл*	*мА*	-	*А/м*	-	*Вт/кг*

4.6.4. По формулам 2, 3, 4, 5 вычислить B_m, I_m, k_α, H_m, μ_r, P_o.

Для исследуемого магнитопровода принять $S=22,5\cdot10^{-4}$ *м*^{2}; *l=0,276 м;* $w_1=700$; $w_2=100$.

4.6.5. Построить зависимости $B_m=f(H_m)$, $\mu_r=f(H_m)$ и сравнить их с рисунка 4.2.

4.6.6. Сделать выводы по лабораторной работе.

4.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете привести принципиальную схему, основные расчетные формулы, таблицы, результаты вычислений и измерений, графики зависимости $B_m=f(H_m)$, выводы.

4.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие характеристики ферромагнитных материалов вы знаете?

2. Почему характеристики ферромагнитных материалов в переменном магнитном поле отличаются от тех же характеристик в постоянном магнитном поле?

3. Почему форма кривой магнитной индукции может существенно отличаться от формы кривой напряжения U_1?

4. Какие погрешности при определении B_m, H_m, P_c возникают при измерениях по схеме на рисунке 4.1?

5. Из каких соображений необходимо исходить при выборе измерительных приборов, чтобы погрешности были минимальны?

6. Какие методы получения характеристик магнитопроводов вы знаете?

7. Имеет ли ферромагнитный сердечник катушку взаимной индуктивности? Почему?

8. Можно ли по показаниям приборов (рисунок 4.1) определить активное сопротивление обмотки w_1?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методов косвенного измерения сопротивлений постоянному току и возможных погрешностей этих методов.

5.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

5.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- амперметр лабораторный – 1 шт.;
- вольтметр лабораторный – 1 шт.;
- прибор постоянного тока (*mV*, *mA*) типа М1109 – 2 шт.;
- прибор постоянного тока (*mV*, *mA*) типа М1104 – 2 шт.;
- магазин сопротивлений – 1 шт.;
- переключатель – 1 шт.;
- измеряемые сопротивления – 3 шт.

5.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

По значению все омические сопротивления (то есть сопротивления постоянному току) условно разделяют на малые (до *1 Ом*), средние (от *1* до 10^5 *Ом*) и большие (свыше 10^5 *Ом*). В зависимости от значения, условий измерений и требуемой точности сопротивление постоянному току можно измерить различными методами и средствами. Наиболее широко применяют:

а) косвенное измерение методом амперметра и вольтметра;

б) косвенное измерение методом одного прибора (амперметром или вольтметром);

в) прямое измерение прибором непосредственной оценки (омметром);

г) прямое измерение прибором сравнения.

Методы косвенного измерения.

а) **Метод амперметра и вольтметра**. Этот метод основан на законе Ома:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \ . \qquad (5.1)$$

То есть, зная напряжение U_X на измеряемом сопротивлении R_X и ток I_X, протекающий через него, определяют значение сопротивления.

Погрешность измерений данным методом зависит от схемы подключения приборов. Например, включив амперметр и вольтметр по одной из двух возможных схем (рисунок 5.1, а или б), получим либо $U_V \neq U_X$, либо $I_A \neq I_X$, то есть измеренное сопротивление

$$R_{изм} = \frac{U_V}{I_A}$$

лишь приближенно равно R_X.

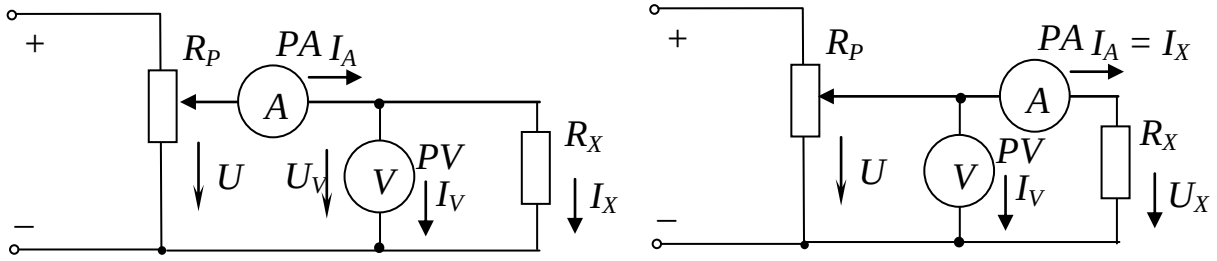


Рисунок 5.1 – Схемы подключений приборов для измерений сопротивлений методом амперметра и вольтметра

Так, для схемы на рисунке 5.1а

$$R_{изм} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_V}{I_X + I_V} = \frac{U_X}{\frac{U_X}{R_X} + \frac{U_X}{R_V}} = \frac{R_X \cdot R_V}{R_X + R_V} ; \qquad (5.2)$$

где U_V, I_A – напряжение на вольтметре и ток через амперметр (показания приборов);

R_V – сопротивление вольтметра.

Действительное значение R_X равно:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} . \qquad (5.3)$$

Относительная погрешность измерений для схемы на рисунке 5.1а

$$\beta = \frac{R_{изм} - R_X}{R_X} \cdot 100\ \% = \frac{\dfrac{R_X \cdot R_V}{R_X + R_V} - R_X}{R_X} \cdot 100\ \% = -\frac{R_X}{R_X + R_V} \cdot 100\ \%\,. \qquad (5.4)$$

При включении приборов по схеме на рисунке 5.1б

$$R_{изм}{}'' = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_X + U_A}{I_X} = R_X + R_A\,; \qquad (5.5)$$

где R_A – сопротивление амперметра.

Действительное значение измеряемого сопротивления

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - I_X \cdot R_A}{I_X} = R_{изм} - R_A\,. \qquad (5.6)$$

Относительная погрешность измерений для схемы на рисунке 5.1б

$$\beta = \frac{R_{изм} - R_X}{R_X} \cdot 100\ \% = \frac{R_X + R_A - R_X}{R_X} \cdot 100\ \% = -\frac{R_A}{R_X} \cdot 100\ \%\,. \qquad (5.7)$$

Из выражений (5.4) и (5.7) следует, что:

- схему включения приборов согласно рисунок 5.1а целесообразно применять для измерений малых и средних сопротивлений (до десятков Ом), а схему рисунок 5.1б - для измерений средних и больших сопротивлений;
- для уменьшения погрешности измерений сопротивление вольтметра должно быть как можно больше, а амперметра - как можно меньше;
- относительную погрешность измерений (погрешность метода) можно исключить, если определять R_X с учетом сопротивлений приборов по формулам (5.3) и (5.6).

б) **Метод одного прибора**.

Если сопротивления измерительных приборов известны, то можно обойтись одним прибором вместо двух. Например, при $U = const$ можно измерить R_X одним вольтметром (рисунок 5.2).

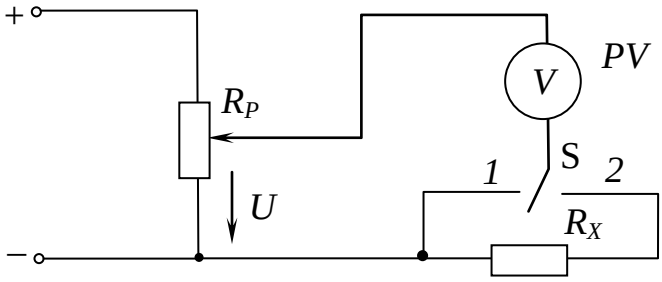


Рисунок 5.2 – Схема подключения приборов при измерениях сопротивлений с помощью вольтметра

В положении 1 ключа *S* показание вольтметра $U_1 = U$. В положении 2 ключа S вольтметр покажет:

$$U_2 = \frac{U}{R_V + R_X} \cdot R_V ,$$

отсюда

$$R_X = R_V \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right). \qquad (5.8)$$

Погрешность измерений метода равна нулю, если напряжение источника питания остается неизменным. Этот метод применяется в тех случаях, когда сопротивления R_X и R_V соизмеримы.

Если известно сопротивление амперметра (или миллиамперметра), то значение измеряемого сопротивления R_X можно определить по результатам двух измерений по схеме рисунок 5.3.

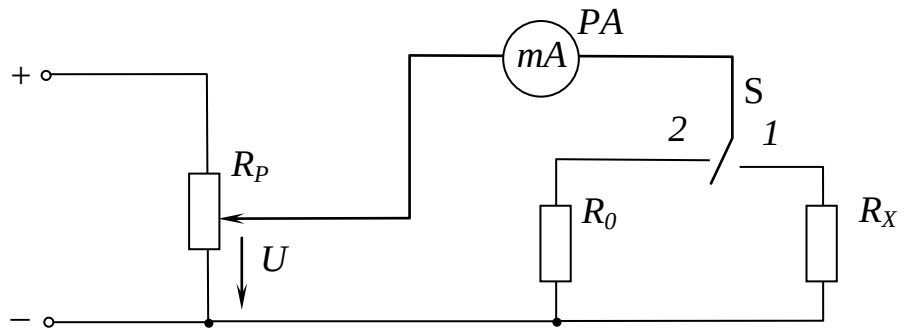


Рисунок 5.3 – Схема подключения приборов при измерениях сопротивлений с помощью амперметра и образцового сопротивления

При первом измерении (положение 1 ключа S)

$$I_1 = \frac{U}{R_X + R_A},$$

при втором измерении (положение 2 ключа S)

$$I_2 = \frac{U}{R_0 + R_A}.$$

Тогда

$$R_X = \frac{I_2}{I_1} \cdot (R_0 + R_A) - R_A . \qquad (5.9)$$

Рекомендуется в качестве R_0 взять магазин сопротивлений и добиться изменением R_0 равенства $I_2 = I_1$. В этом случае $R_X = R_0$, следовательно, сопротивление амперметра знать необязательно, а погрешность метода равна нулю.

Для исключения случайных погрешностей каждый опыт рекомендуется повторять не менее трех раз, и за действительное значение R_X принимать среднее его значение по результатам трех опытов.

5.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при работе в лаборатории электрических измерений. Кроме того, необходимо каждый опыт начинать, повышая напряжение с нуля, для чего убедиться, что движок реостата находится в нулевом положении. Не допускать "зашкаливания" стрелок приборов.

5.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.6.1. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать их паспортные данные в таблицу 1в. Собрать электрическую цепь по схеме по рисунке 5.4.

5.6.2. Снять показания измерительных приборов для трех измеряемых сопротивлений (по указанию преподавателя) при положениях переключателя а и б. Результаты измерений записать в таблицу 5.1.

5.6.3. Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рисунке 5.2. Измеряемое сопротивление R_X должно быть порядка нескольких тысяч Ом (по указанию преподавателя).

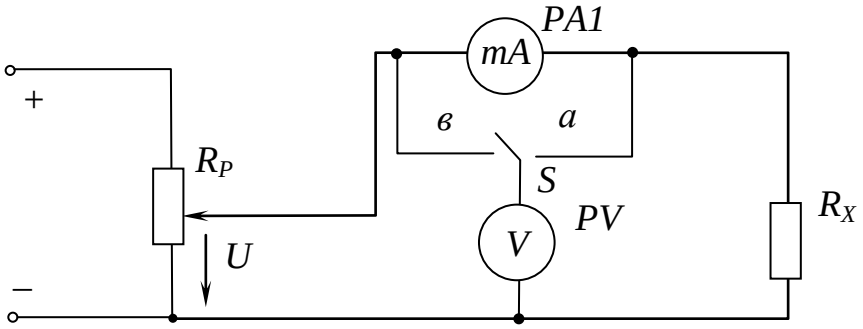


Рисунок 5.4 – Схема подключения приборов для измерений сопротивлений методом амперметра и вольтметра

5.6.4. Снять показания приборов и записать их в таблицу 5.1.

5.6.5. Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рисунке 5.3. Измеряемое сопротивление должно быть не более нескольких десятков Ом (по указанию преподавателя).

5.6.6. Снять показания приборов и занести их в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений и вычислений

Задано	И з м е р е н о			В ы ч и с л е н о				
R_H	*Схема*	U_V	I_A	$R_{изм}$	R_A	R_V	β	R_X
Ом	-	*В*	*А*	*Ом*	*Ом*	*Ом*	*%*	*Ом*
	5.4,а							
	5.4,б							
	5.4,а							
	5.4,б							
	5.4,а							
	5.4,б							
	5.2							
	5.3							

Примечания:

1. Сопротивления вольтметра $R_{V,}$ амперметра R_A и номинальное значение измеряемого сопротивления R_H определяются по паспортным данным этих приборов.
2. Ток в сопротивлении R_X не должен превышать его номинальное значение.

5.6.7. Для всех опытов вычислить действительные значения сопротивлений R_X и относительные погрешности метода.

5.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать название и цель работы; электрические схемы лабораторных измерительных цепей; таблицы 1в и 5.1; расчетные формулы; анализ результатов измерений и вычислений; выводы.

5.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему при измерениях малых сопротивлений необходимо включать амперметр до вольтметра, а при измерениях больших сопротивлений – после вольтметра?

2. Какое влияние на результаты измерений оказывают внутренние сопротивления амперметра и вольтметра?

3. Какова относительная погрешность β измерения сопротивления R_X порядка *3 Ом* при включении амперметра до вольтметра и после вольтметра, если $R_A = 0{,}1$ *Ом* и $R_V = 104$ *Ом*?

4. Какова относительная погрешность β измерения сопротивления R_X порядка $3 \cdot 10^3$ *Ом* при включении вольтметра до амперметра и после него, если $R_A = 0{,}05$ *Ом* и $R_V = 104$ *Ом*?

5. Каково значение R_X, если при его измерении методом амперметра (рисунок 5.3) получено: $I_1 = I_2$; $R_0 = 110$ *Ом*?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ОДИНАРНЫХ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа работы приборов сравнения, конструкций одинарных мостов *Р-339, Р-536,* приобретение навыков по измерениям сопротивлений с их помощью.

6.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

6.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- одинарный мост постоянного тока *Р-339* – 1 шт.;
- одинарный мост переменного тока *Р-536* – 1 шт.;
- магазин сопротивлений – 1 шт.;
- образцовая индуктивность – 1 шт.

6.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В основе принципа действия измерительных приборов сравнения заложен метод сравнения измеряемой величины с мерой, значение которой известно. При этом используются два метода измерений:

– отсчет показаний производится при полном уравновешивании неизвестной величины ее мерой;

– отсчет измеряемой величины производится по воздействию на прибор разности измеряемой величины и меры.

Следовательно, в зависимости от выбора способа измерений приборы сравнения работают либо в равновесном, либо в неравнвесном режимах. Измерительные мосты постоянного и переменного тока в основном работают в равновесном режиме.

Мост постоянного тока представляет собой четырехполюсник, состоящий из активных сопротивлений (рисунок 6.1).

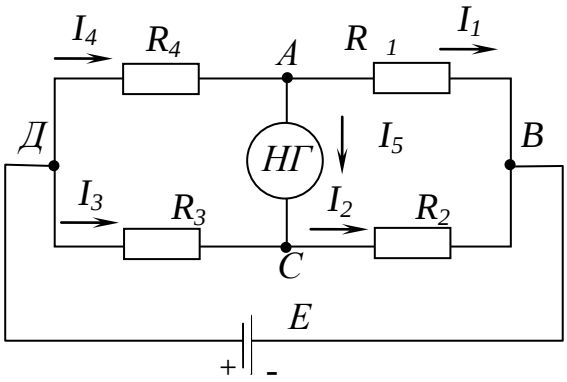


Рисунок 6.1 – Мосты постоянного тока

В одну диагональ *ВД* измерительного моста включается источник питания, во вторую диагональ *АС* – указатель равновесия *НГ* (магнитоэлектрической системы гальванометр).

Ток в гальванометре отсутствует, если равны потенциалы точек *А* и *С*, то есть напряжение $U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 0$ при равенстве $U_{АД} = U_{СД}$ и $U_{ВА} = U_{ВС}$.

Через параметры измерительной цепи эти уравнения можно записать следующим образом:

$$I_3 \cdot R_3 = I_4 \cdot R_4; \qquad I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2.$$

По первому закону Кирхгофа при $I_5 = 0; \;\; I_1 = I_4; \;\; I_2 = I_3$.

Отсюда, условие равновесия моста постоянного тока определяется отношением

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4.$$

Равновесие моста достигается изменением сопротивления одного или нескольких плеч.

Мост переменного тока с четырьмя плечами представляет собой пассивный четырехполюсник с различным характером нагрузки. Плечами моста являются комплексные сопротивления $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4$ (рисунок 6.2).

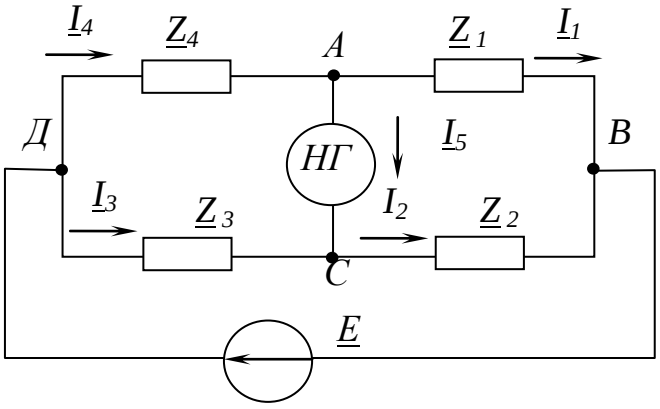


Рисунок 6.2 – Мосты переменного тока

Для обеспечения равновесия измерительного моста необходимо, чтобы

$$\underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_2; \quad \underline{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \underline{I}_4 \cdot \underline{Z}_4.$$

Согласно первому закону Кирхгофа $\underline{I}_1 = \underline{I}_4$ и $\underline{I}_2 = \underline{I}_3$, тогда

$$\frac{\underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_1}{\underline{I}_4 \cdot \underline{Z}_4} = \frac{\underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{I}_3 \cdot \underline{Z}_3}$$

то есть $\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_4.$

Следовательно, равновесие одинарного моста переменного тока может быть обеспечено за счет равенства произведений комплексных сопротивлений противоположных плеч. В показательной форме условие равновесия имеет вид:

$$\frac{Z_1 \cdot e^{j\varphi_1}}{Z_4 \cdot e^{j\varphi_4}} = \frac{Z_2 \cdot e^{j\varphi_2}}{Z_3 \cdot e^{j\varphi_3}}$$

или $$\frac{Z_1}{Z_4} \cdot e^{j(\varphi_1 - \varphi_4)} = \frac{Z_2}{Z_3} \cdot e^{j(\varphi_2 - \varphi_3)}.$$

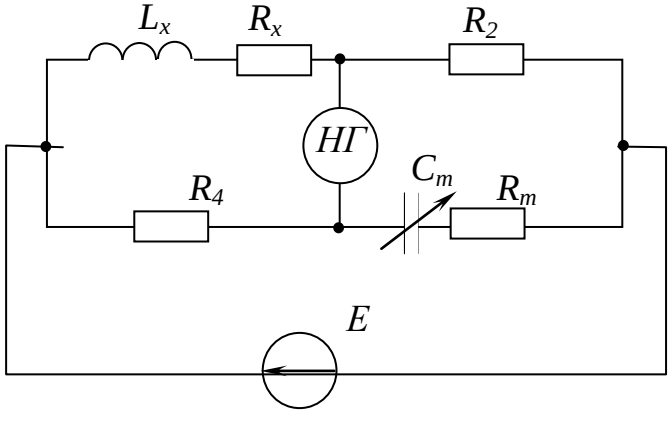
Для равновесия моста необходимо, чтобы выполнялись равенства:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4, \qquad \varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_2 - \varphi_3$$

или $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4.$

Полученные выражения показывают, что мост переменного тока может быть уравновешен при определенном характере и схеме включения сопротивлений плеч.

Наибольшее распространение, в зависимости от характера нагрузки плеч, получили мосты, у которых два плеча – активные сопротивления, а два другие – реактивные. Условия равновесия таких мостов, как правило, не зависят от частоты питающего тока (рисунки 6.3, 6.4).



а)

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = R_2 \cdot R_4;$$

$$\underline{Z}_1 = R_x + j\omega L_x = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1};$$

$$\underline{Z}_3 = R_m + j\frac{1}{\omega C_m} = Z_3 \cdot e^{-j\varphi_3}$$

Для равновесия:

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = R_2 \cdot R_4;$$

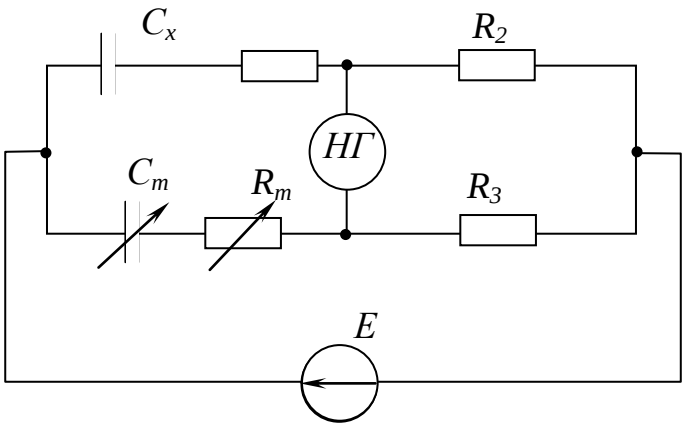
$$\varphi_1 - \varphi_3 = 0.$$

б)

Рисунок 6.3 – Схема (а) и условия (б) равновесия моста переменного тока при уравновешивании разноименным комплексным сопротивлением

Для питания мостовых схем переменного тока используют измерительные генераторы, в качестве указателя равновесия – выпрямительные и электронные приборы.

При помощи мостов переменного тока измеряют параметры электрических цепей: индуктивность, емкость, взаимную индуктивность и многие неэлектрические величины.



а)

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = R_2 \cdot R_4;$$

$$\underline{Z}_1 = R_x + j\omega L_x = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1};$$

$$\underline{Z}_3 = R_m + j\frac{1}{\omega C_m} = Z_3 \cdot e^{-j\varphi_3}$$

Для равновесия:

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = R_2 \cdot R_4;$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = 0.$$

б)

Рисунок 6.4 – Схема (а) и условия (б) равновесия моста переменного тока при уравновешивании одноименным комплексным сопротивлением

Определение чувствительности моста.

Точность измерений зависит от чувствительности гальванометра

$$S_Г = \frac{d\alpha_Г}{dI} \quad \text{или} \quad S_Г = \frac{d\alpha_Г}{dU},$$

и от чувствительности мостовой схемы

$$S_Г = \frac{dU_{сх}}{dR_x} \quad \text{или} \quad S_Г = \frac{dI_{сх}}{dR_x}.$$

Чувствительность нулевого указателя $S_Г$ и мостовой схемы $S_{сх}$ определяют так называемую чувствительность моста.

Под **абсолютной чувствительностью моста** $S_м$ понимают отношение изменения отклонения гальванометра $d\alpha_Г$ к изменению измеряемого сопротивления на значение dR_x.

$$S_м = S_Г \cdot S_{сх} = \frac{d\alpha_Г}{dI} \cdot \frac{dI}{dR_x} = \frac{d\alpha_Г}{dR_x}.$$

6.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы требуется соблюдать общие правила по технике безопасности.

6.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.6.1. Методика измерений с помощью одинарного моста постоянного тока *Р333.*

6.6.2. Подготовка моста к работе:

- подключить к зажимам R_x измеряемое сопротивление. Если измеряемое сопротивление находится в пределах от *0,005* до *9,999 Ом*, то используется схема 1 (рисунок 6.5), если в пределах от *10* до *999900 Ом*, то схема 2;
- переключатель рода работ поставить в положение *МВ*;
- проверить установку стрелки гальванометра на нулевую отметку.

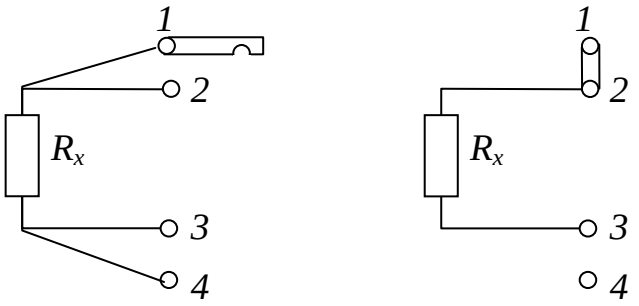


Схема 1 Схема 2

Рисунок 6.5 – Схемы включения измеряемых сопротивлений к измерительному мосту

6.6.3. Порядок работы с мостом:

- подключить источник питания и нажать кнопку *Вк, Г* и кнопку «*грубо*»;
- ручкой «$П_5$» установить множитель «*n*». Для этого установить множитель *100* и поворачивать переключатель «$П_1$» от *0* до *9*; если стрелка через *0* не проходит, установить множитель *10* и повторить поворот переключателя «$П_1$» и т.д. Множитель будет соответствовать измеряемому сопротивлению, если при вращении переключателя «$П_1$» от *0* до *9* стрелка гальванометра будет переходить через *0;*
- уравновесить мост поворотом переключателей «$П_1$» – «$П_4$» вначале при включенной кнопке «*грубо*», а затем при включенной кнопке «*точно*». Вычислить сопротивление по формуле

$$R_x = n \cdot R_1,$$

где n – множитель, установленной на переключатель «$П_5$»;

R_1 – сопротивление плеча сравнения «$П_1$ –$П_4$».

6.6.4. Проведение практических измерений.

В качестве объекта измерений использовать магазин сопротивлений. Измерить значения восьми различных сопротивлений. Полученные данные измерений и вычислений занести в таблицу 6.1.

После освоения методики измерений, сделать несколько измерений неизвестных сопротивлений по заданию преподавателя.

Таблица 6.1 – Результаты измерений мостом *Р333*

Измеряемое сопротивление, R_0	Измеренное сопротивление, $R_{изм}$	Абсолютная погрешность измерения, $\Delta = R_{изм} - R_0$	Относительная погрешность измерений, $\beta = \frac{\Delta}{R_0} \cdot 100\%$
Ом	*Ом*	*Ом*	*%*

6.6.4. Определение чувствительности моста.

Для определения чувствительности моста уравновешивают мост при измеряемом сопротивлении R_x, установленном на магазине. После этого производят разбалансировку моста так, чтобы стрелка гальванометра отошла от нулевой отметки на *8 – 10* делений. Полученные результаты измерений и вычислений занести в таблицу 6.2.

Чувствительность моста определить при различных значениях *n*. По полученным данным построить график изменения чувствительности моста в зависимости от величины измеряемых сопротивлений.

Таблица 6.2 – Чувствительность моста *Р333*

Значение измеряемого сопротивления, R_x	Значение сопротивления при разбалансировке моста, т.е. при отклонении стрелки на угол α, R'_x	Изменение измеряемого сопротивления $\Delta R = R_x - R'_x$	Отклонение стрелки гальванометра α	Абсолютная погрешность измерений $S_м = \frac{\alpha}{\Delta R}$
Ом	*Ом*	*Ом*	*дел*	*дел/Ом*

6.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отсчет должен содержать электрические схемы; таблицы; результаты измерений и выводы по работе.

6.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково условие балансировки одинарного моста постоянного (переменного) тока?
2. Какова методика измерений заранее неизвестного сопротивления мостом постоянного тока?
3. Какова методика измерений заранее неизвестного сопротивления мостом переменного тока?
4. Что такое чувствительность моста и как ее определить?
5. Можно ли в мостах переменного тока произвольно менять местами плечи?
6. Зависит ли точность измерений от колебаний напряжения источника питания в мостовых схемах?
7. Изменится ли условие равновесия одинарного моста, если поменять местами источник питания и гальванометр?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗУЧЕНИЕ ДВОЙНЫХ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

7.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое исследование двойного моста постоянного тока, изучение конструкции и принципа его работы, получение навыков измерений сопротивлений с помощью одинарно-двойного моста.

7.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

7.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- одинарно-двойной мост постоянного тока *Р-329* - 1 шт.;
- гальванометр - 1 шт.;
- амперметр *Э59* на *1 А* - 1 шт.;
- реостат на *30 Ом* - 1 шт.;
- набор шунтов - 1 шт.;
- магазин сопротивлений - 1 шт.

7.4 . КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для измерений малых сопротивлений до 10^{-6} *Ом* наиболее широкое распространение получили двойные мосты. В схемах двойного моста до минимума сведено влияние соединительных проводов на результаты измерений.

Плечами двойного моста являются измеряемое сопротивление R_X, образцовое сопротивление R_0 и две пары вспомогательных сопротивлений R_2 и R_3, R_1 и R_4.

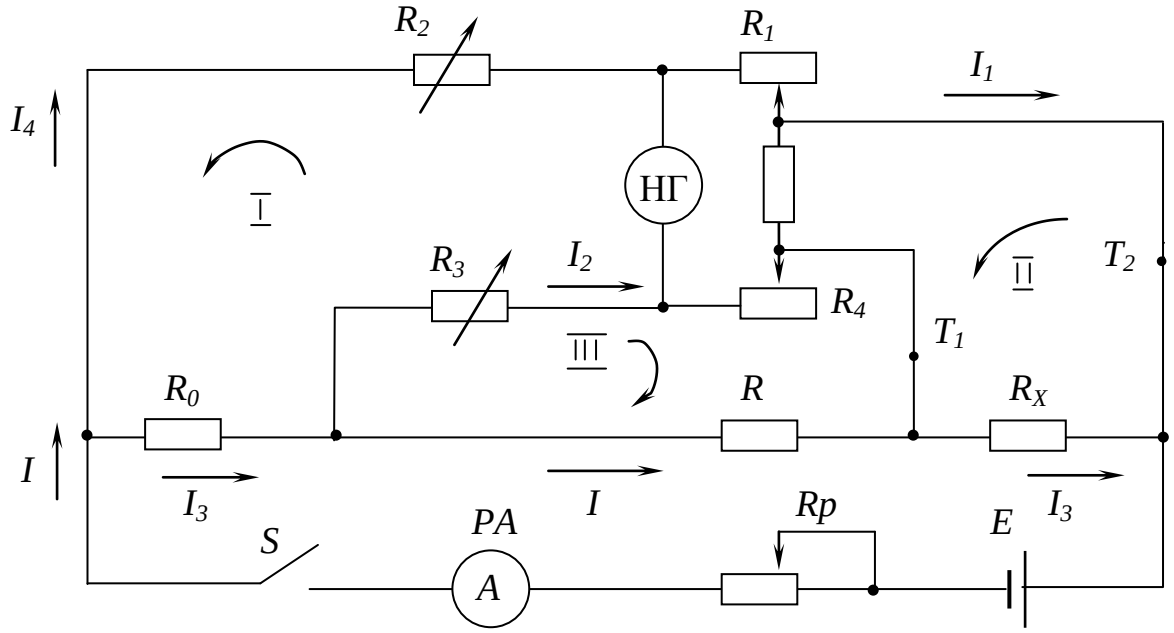


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема двойного моста

Для положения равновесия, то есть когда ток в гальванометре равен нулю, можно составить систему уравнений по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_3; \\ I_3 = I_2 + I; \\ I = I_3 - I_2; \\ I_3 \cdot R_0 + I_2 \cdot R_3 - I_1 \cdot R_2 = 0; \\ I_3 \cdot R_x + I_2 \cdot R_4 - I_1 \cdot R_1 = 0; \\ I_2 \cdot (R_3 + R_4) - (I_3 - I_2) \cdot R = 0. \end{cases}$$

Решив эту систему уравнений относительно R_X, получим

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} + \frac{R \cdot R_3}{R + R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right). \qquad (7.1)$$

Уравнение равновесия двойного моста значительно упростится, если обеспечить равенство нулю второго слагаемого правой части уравнения (7.1):

$$\frac{R \cdot R_3}{R + R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right) = 0.$$

Для выполнения этого условия необходимо либо равенство нулю сопротивления R провода, соединяющего образцовое и измеряемое сопротивление, что практи-

чески выполнить сложно, либо равенство нулю разности:

$$\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} = 0.$$

Для этого необходимо, чтобы $R_1 = R_4$ и $R_2 = R_3$.

Практически это достигается следующим образом. Переключающее устройство, предназначенное для регулирования сопротивления R_1 и R_4, конструктивно выполнено так, что эти сопротивления равны друг другу и их можно регулировать только одновременно и строго одинаково.

При выполнении указанных требований условие равновесия двойного моста примет вид

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} = R_0 \cdot \frac{R_4}{R_3}.$$

Как видно из уравнения, мост имеет одно плечо сравнения R_0 и два плеча отношения $\frac{R_1}{R_2}$ и $\frac{R_4}{R_3}$, поэтому он и называется двойным.

Двойные мосты рассчитаны на работу только с переменным отношением плеч, так как плечо сравнения всегда остается постоянным. Сопротивления плеч отношения берутся не менее *10 Ом* для того, чтобы свести к минимуму влияние сопротивления соединительных проводов и переходных контактов.

7.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы требуется соблюдать общие правила по технике безопасности.

7.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Мост *Р-329* можно использовать для измерений как больших сопротивлений – до 10^6 Ом, так и малых сопротивлений – до 10^{-6} Ом.

Малые сопротивления измеряют по схеме двойного моста (рисунок 7.2).

7.6.1. Собрать цепь (рисунок 7.2) для измерений малых сопротивлений по схеме двойного моста со встроенным образцовым сопротивлением.

7.6.2. Нажать кнопку “*грубо*” и установить ток в цепи *0,5 ± 0,1 А*.

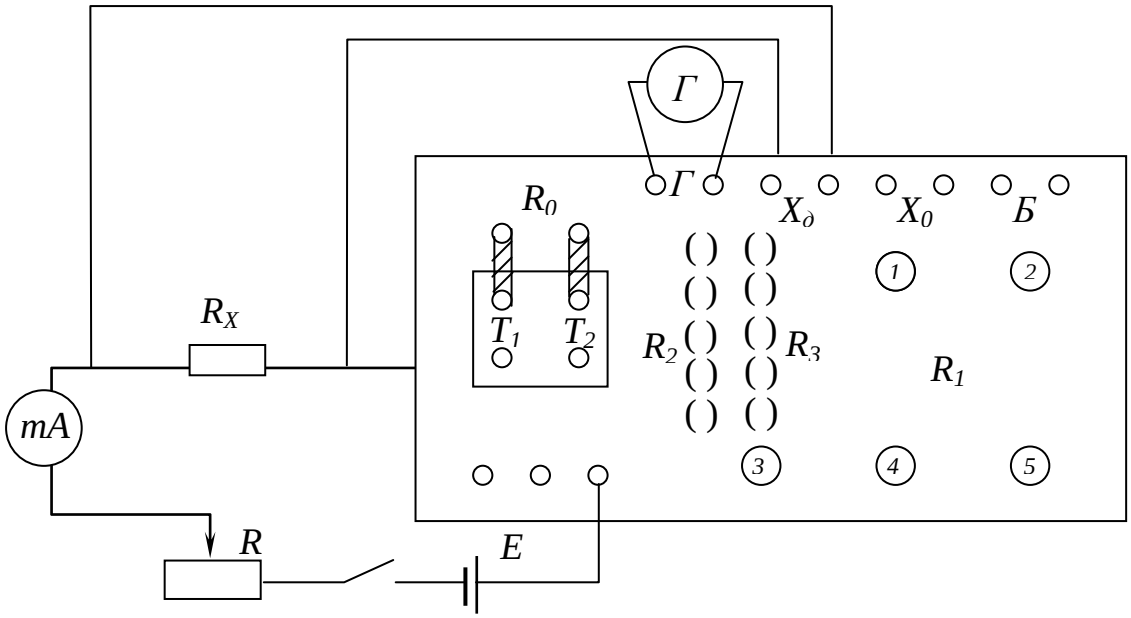


Рисунок 7.2 – Включение двойного моста для измерений сопротивлений от 10^{-6} до 10^{2} *Ом*

7.6.4. После того, как определено приблизительное значение сопротивления, приступить к его точному измерению. Для этого нужно нажать кнопку “точно” и с помощью переменного сопротивления R_1 сбалансировать мост. Измеряемое сопротивление рассчитать по формуле

$$R_X = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

7.6.5. С помощью двойного моста измерить сопротивление. Результаты измерений занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты измерений двойным мостом

Измеряемое сопротивление $R_н$	Измеренное сопротивление R_x	Абсолютная погрешность $\Delta = R_x - R_н$	Относительная погрешность $\beta = \frac{\Delta}{R_H} \cdot 100\%$
Ом	*Ом*	*Ом*	*%*

7.6.6. Когда методика измерений будет освоена, измерить сопротивления предложенных амперметров. Результаты измерений занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Сопротивления измерительных приборов

Наименование объекта измерений	Тип прибора	Система прибора	Средняя величина измеряемого сопротивления	Мощность, потребляемая прибором при измерении номинального тока
			Ом	*Вт*

7.6.7. По рисунку 7.3 собрать цепь для измерений больших сопротивлений (до 10^6 *Ом*) по схеме одинарного моста.

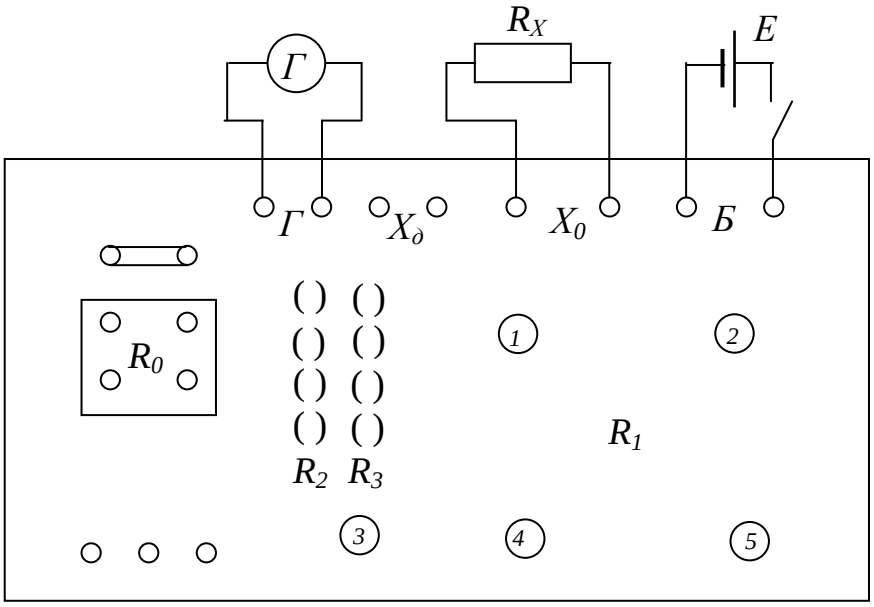


Рисунок 7.3 – Схема одинарного моста для измерений сопротивлений в пределах от *50* до 10^6 *Ом*

7.6.8. Установить на магазине любое сопротивление, не более *50 Ом* и измерить его.

Измерение сводится к балансировке моста с помощью сопротивлений R_1, R_2 и R_3 . Для этого вначале следует установить отношение плеч $\frac{R_2}{R_3}$, а затем произвести точную балансировку путем изменения сопротивления R_1. Искомое сопротивление рассчитывается по формуле

$$R_x = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}.$$

7.6.9. Путем измерений различных сопротивлений приобрести навык работы с мостом. Данные измерений занести в таблицу 7.1.

7.6.10. Когда методика измерений одинарным мостом будет освоена, измерить сопротивления предложенных вольтметров. Полученные результаты измерений занести в таблицу 7.2.

7.7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

По опытным данным вычислить относительные погрешности измерений и собственную потребляемую мощность измерительных приборов в номинальном режиме.

7.8. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать схемы одинарного и двойного моста, условия их балансировки, таблицы, результаты измерений и выводы по лабораторной работе.

7.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково условие балансировки двойного моста.
2. Для измерений каких сопротивлений предназначены двойные мосты?
3. Опишите методику работы с двойным мостом.
4. Какие требования предъявляются к отношению плеч $\frac{R_1}{R_2}$ и $\frac{R_3}{R_4}$?
5. Как измерить большое сопротивление с помощью одинарного моста?
6. Почему при измерениях малых сопротивлений соединительные провода не оказывают влияния на результат измерений?
7. Как подбирается отношение плеч при работе моста при одинарной схеме?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

8.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение наиболее распространенных методов и приборов для измерений температуры.

8.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

8.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- магазины сопротивлений - 2 шт.;
- резисторы (*r=100 Ом*) - 2 шт.;
- микроамперметр - 1 шт.;
- милливольтметр (*0…50…3000 мВ*) - 1 шт.;
- прибор постоянного тока (*mV, mA*) типа М1109 - 2 шт.;
- прибор постоянного тока (*mV, mA*) типа М1104 - 2 шт.;
- реостат на *100 Ом* - 1 шт.;
- термометр сопротивления типа ТСМ или ТСП - 1 шт.;
- термопара ТХА или ТХК - 1 шт.

8.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Диапазон температур, подлежащих измерениям в различных отраслях науки и производства, очень широк. В нашей стране установлены практические температурные шкалы, предназначенные для обеспечения единства измерений температуры от *0,01* до *100000 К*, и методы их осуществления (*ГОСТ 8.157-75*).

Единицей температуры является Кельвин (*К*), вместо прежнего наименования градус Кельвина. Допускается применение единицы температуры – градус Цельсия (^0C).

Для измерений температуры все чаще всего применяются электрические методы. Они позволяют быстро и точно измерять температуру даже в тех точках, где применение неэлектрических методов невозможно или затруднено, например, для измерений температуры зерна в зернохранилищах, в различных точках электрогенератора и др. Для преобразования температуры в электрический сигнал применяют различные первичные преобразователи; наиболее часто применяют термометры сопротивления и термопары.

Стандартные термометры сопротивления (ТС) применяют для измерений температур в диапазоне от *– 260* до 750^0C (кратковременно до $1100\ ^0C$). Их действие основано на свойстве веществ изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. В качестве материала для изготовления термометров сопротивления используют металлы (медь, платина, никель) или полупроводники. Зависимость сопротивления металла от температуры (рисунок 8.1) достаточно точно можно выразить формулой

$$R_T = R_0\left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2\right], \qquad (8.1)$$

где R_0 – номинальное сопротивление термометра при температуре T_0, обычно $T_0 = 0\ ^0C$;

α и β – температурные коэффициенты.

Промышленностью выпускаются ТС с номинальным сопротивлением *1,5, 10, 46, 50, 53, 100* и *500 Ом*. Для медных термометров сопротивления (тип ТСМ) обычно принимают $\alpha = 4{,}26\cdot10^{-3}\ K^{-1}$, $\beta = 0$. Для платиновых термометров сопротивления (тип ТСП) – $\alpha = 3{,}9685\cdot10^{-3}$, $\beta = -5{,}847\cdot10^{-7}K^{-2}$. Никелевые ТС в нашей стране серийно не выпускаются.

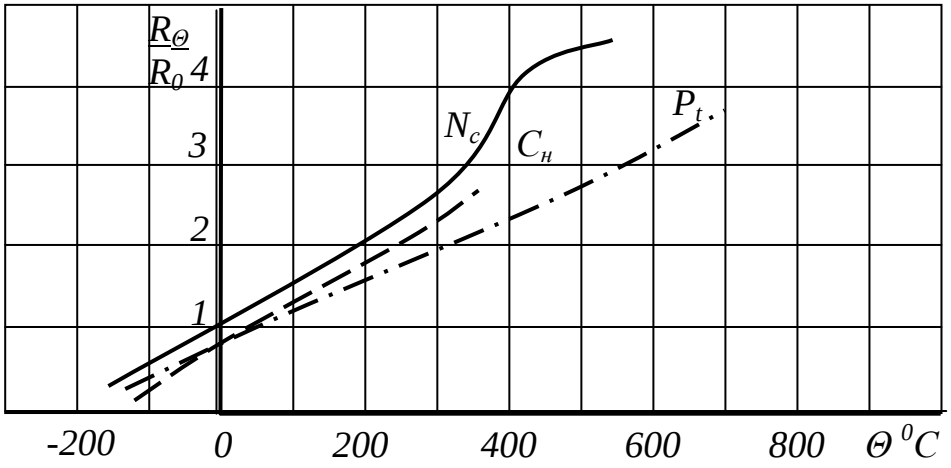


Рисунок 8.1 – Зависимость R_Θ / R_0 от температуры Θ для меди, платины и никеля

ТСМ применяют для измерения температур от - *50* до *+180* ^0C, а ТСП от - *260* до *+750* ^0C.

Таким образом, диапазон измеряемых температур для ТСП значительно шире, чем для ТСМ, поэтому в формуле (8.1) при расчетах учитывают как α, так и β. Иногда применяют и более точные формулы. По ним рассчитывают специальные градуировочные таблицы (таблица 8.1).

Полупроводниковые ТС подразделяют на термисторы и позисторы. Они обладают значительно большим температурным коэффициентом сопротивления α, причем у термисторов $\alpha < 0$. Габариты термисторов и позисторов обычно очень малы (от долей *мм* и более). Они малоинерционны, имеют большое номинальное сопротивление (от единицы до сотен *кОм*), дешевы. Но их характеристики менее стабильны, чем металлических

Таблица 8.1 – Градуировочная таблица термометров сопротивления

$\Theta, ^0C$	Сопротивление термометра, Ом			
	Платинового		медного	
	град.21 R_0=*46 Ом*	*град.22* R_0=*100 Ом*	*град.23* R_0=*53 Ом*	*град.53* R_0=*100 Ом*
-50	*36,80*	*80,00*	*41,71*	*78,70*
0	*46,00*	*100,00*	*53,00*	*100,00*
10	*47,82*	*103,00*	*55,26*	*104,00*
20	*49,64*	*107,00*	*57,52*	*108,00*
30	*51,45*	*111,85*	*59,77*	*112,78*
40	*53,26*	*119,78*	*62,03*	*117,04*
50	*55,06*	*119,70*	*64,29*	*121,30*
60	*56,86*	*123,60*	*66,55*	*125,56*
70	*58,65*	*127,49*	*68,81*	*129,82*
80	*60,43*	*131,37*	*71,06*	*134,08*
90	*62,21*	*135,24*	*73,32*	*138,34*
100	*63,99*	*139,10*	*75,58*	*142,60*
150	*72,76*	*158,21*	*86,87*	*163,90*

ТС, разброс характеристик очень большой (нет взаимозаменяемости), все зависимости нелинейны, мощность рассеяния очень мала. Поэтому точность измерений температуры термистором невысока, а позисторы применяют только в устройствах температурной защиты.

Для измерений сопротивлений ТС используются вторичные приборы: мосты постоянного тока, мостовые схемы или логометры магнитоэлектрической системы.

Термопары. В цепи, состоящей из двух различных проводников, спаянных (или сваренных) одними концами (рисунок 8.2), при изменении температуры места спая по отношению к свободным концам появляется ЭДС. Такие преобразователи называют термопарами. Значение ЭДС термопары E_T (термоЭДС) определяется разностью температур

$$E_T = \alpha_T (T_1 - T_2), \tag{8.2}$$

где T_1 – температура места спая;

T_2 – температура свободных концов;

α_T – температурный коэффициент материалов.

Наиболее часто применяются термопары типов ТПП (платинородий – платина), ТХА (хромель-алюмель) и ТХК (хромель-копель). ТермоЭДС термопар ТХА и ТХК приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – ТермоЭДС термопар ТХА и ТХК при температуре свободных концов $0\ ^0C$

Температ. Рабочего Конца, ^0C	ЭДС, *мВ*		Температ. рабочего конца, ^0C	ЭДС, *мВ*	
	ТХА	ТХК		ТХА	ТХК
0	*0,00*	*0,00*	*-200*	*-5,75*	*-9,69*
10	*0,40*	*0,05*	*-100*	*-3,51*	*-5,74*
20	*0,80*	*1,31*	*0*	*0,00*	*0,00*
30	*1,20*	*1,98*	*100*	*4,10*	*6,88*
40	*1,61*	*2,66*	*200*	*8,13*	*14,59*
50	*2,02*	*3,35*	*300*	*12,21*	*22,88*
60	*2,43*	*4,05*	*400*	*16,40*	*31,49*
70	*2,85*	*4,76*	*500*	*20,65*	*40,28*
80	*3,26*	*5,48*	*800*	*33,32*	*66,47*
90	*3,68*	*6,18*	*1 000*	*41,32*	-
100	*4,10*	*6,88*	*1 200*	*48,87*	-

Для измерений термоЭДС в качестве вторичных приборов применяют показывающие, самопишущие и электронные милливольтметры, а также электронные потенциометры.

Показывающие и самопишущие милливольтметры – это приборы магнитоэлектрической системы, имеющие очень высокую чувствительность благодаря мощному постоянному магниту.

Измеренное напряжение U меньше ЭДС термопары E_T на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении термопары:

$$U = E_T - I \cdot R_{вн} = E_T \cdot \frac{R_V}{R_{вн} + R_V}, \qquad (8.3)$$

где R_V – сопротивление вольтметра;

$R_{вн}$ – внутреннее сопротивление термопары.

Поэтому необходимо применять приборы с большим внутренним сопротивлением $R_V >> R_{вн}$ или вычислять E_T с учетом R_V и $R_{вн}$.

Если милливольтметр предназначен специально для измерений термоЭДС, то его шкалу градуируют в ^oC или К. Внутри такого прибора есть термокомпенсатор для компенсации температуры окружающей среды. Электронные и цифровые приборы имеют очень большое внутреннее сопротивление, поэтому можно считать, что измеренное напряжение равно ЭДС.

Если термокомпенсатор (или термостат) не применяется, то измеренная ЭДС пропорциональна разности температур спаянных и свободных концов термопары.

8.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ следует соблюдать общие правила техники безопасности. Кроме того, следует соблюдать осторожность при обращении с нагревательными приборами.

8.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

8.6.1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, применяемыми в работе, и записать их технические данные в таблицу 1в.

8.6.2. Рассчитать максимально допустимое значение напряжения, подаваемого на мостовую схему, исходя из того, что ток, протекающий через металлическое термосопротивление, не должен превышать *10 мА*.

8.6.3. Собрать электрическую цепь (рисунок 8.2). В качестве резисторов R_2 и R_4 взять магазины сопротивлений.

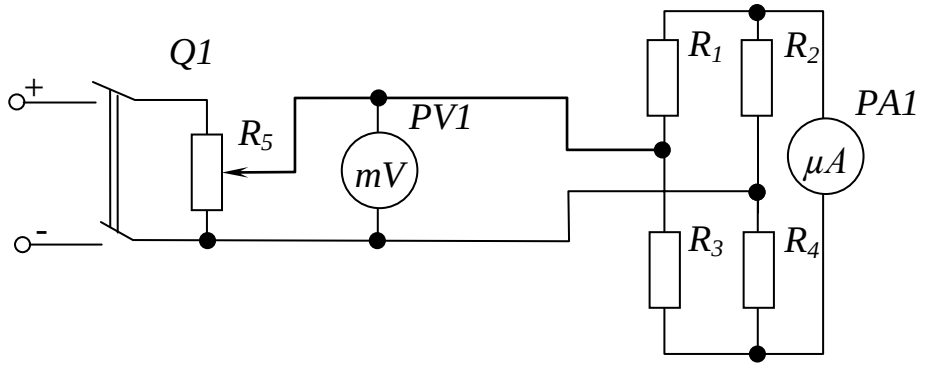


Рисунок 8.2 – Схема электрической цепи для измерений температуры с помощью термометра сопротивления

8.6.4. Если $R_1 = R_3$, то на магазине сопротивлений R_2 установить $R_2 = R_0$. Если $R_1 \neq R_3$, то взять $R_2 = R_0 \cdot \frac{R_1}{R3}$, где R_0 – номинальное сопротивление датчика температуры (ТС).

8.6.5. На магазине сопротивлений R_4 установить $R_4 = R_2$ и включить источник питания. При этом подаваемое с реостата напряжение должно быть не более *1,0 В*. Убедиться в том, что мост уравновешен (стрелка микроамперметра должна показывать *0*).

8.6.6. Отключить источник питания и вместо магазина сопротивлений R_2 включить термометр сопротивления. Включить источник питания и записать показания микроамперметра α_T.

8.6.6. Включить нагревательное устройство и снять зависимость показаний прибора α от времени *t.* Температуру измерять до закипания воды. Следить, чтобы уровень воды был в пределах нормы. Результаты измерений записать в таблицу произвольной формы. Отключить ключ *Q1*, мостовую цепь разобрать.

8.6.7. Определить цену деления прибора *C* и его чувствительность *S*:

$$C = \frac{\Delta\Theta}{\Delta\alpha} = \frac{100}{\alpha_{100}}, \text{ град/дел}; \quad S = \frac{1}{C}, \text{ дел/рад},$$

где $\Delta\Theta$ – приращение температуры;

$\Delta\alpha = \alpha_{100}$ – показание прибора при $\Theta = 100^0 C$.

8.6.8. По первой точке кривой нагрева (α_1) определить температуру:

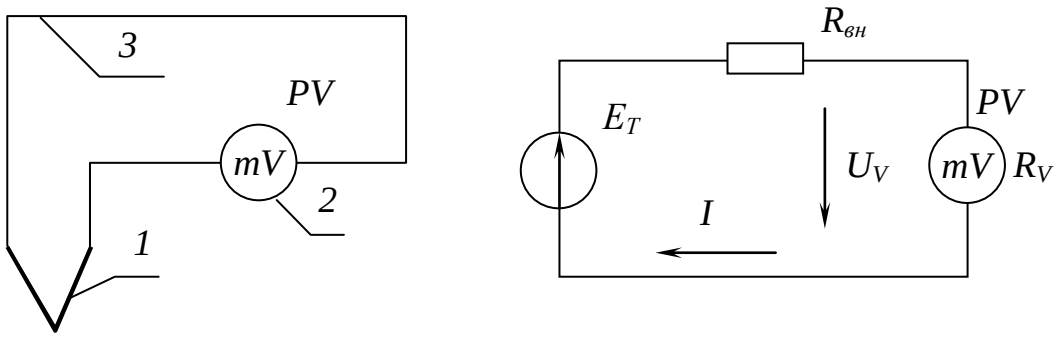
$$\Theta_1 = C \cdot \alpha_1 .$$

Определить предел измерений температуры данным термометром сопротивления с данным микроамперметром при неизменном напряжении источника питания:

$$\Theta_{max} = C \cdot \alpha_{max},$$

где α_{max} – число делений шкалы микроамперметра.

8.6.10. Поместить рабочий конец термопары в кипящую воду и измерить термоЭДС $E_T \approx U_T$ (рисунок 8.3). Предел измерений милливольтметра должен быть не более *50 мВ*. Отключить нагревательное устройство.



а) б)

1- термопара; 2 – милливольтметр; 3 – соединительные провода
2-
Рисунок 8.3 – Измерение термоЭДС (а) и схема замещения (б) измерительной цепи

8.6.11. По градуировочной таблице определить разность температур горячего и холодного спаев ($\Theta_{гор} - \Theta_x$).

8.6.12. Вычислить температуру холодного спая (пренебрегая некоторой нелинейностью градуировочной характеристики):

$$\Theta_x = 100 - (\Theta_{гор} - \Theta_x).$$

8.6.13. Сделать выводы по выполненной работе (сравнить сложность измерительных схем при с использовании ТС и термопар, возможные погрешности и их причины).

8.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать электрические схемы измерительных цепей, результаты измерений и вычислений (в соответствии с пунктами раздела 8.6), график кривой нагрева и выводы по работе.

8.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип работы термосопротивления.
2. Какие термосопротивления применяются в качестве датчиков температуры?

3. Какие имеются достоинства и недостатки у полупроводниковых термосопротивлений?

4. Какие вторичные приборы применяются совместно с термосопротивлениями?

5. Объясните принцип работы термопары.

6. Какие вторичные приборы применяют совместно с термопарами? Почему эти приборы должны иметь большое входное сопротивление?

7. Каковы основные причины погрешностей при измерениях температуры а) с помощью термосопротивлений; б) с помощью термопары?

8. Предполагаемая температура среды около $400\ ^0C$. Какой датчик температуры можно применить для измерения температуры?

9. Градуировочные характеристики каких датчиков можно считать практически линейными?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

9.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Освоение компенсационного метода измерений малых электродвижущих сил (ЭДС) и напряжений.

9.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

9.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- прибор универсальный *Р4833*;
- источники малых ЭДС (термопара, фотодиоды и т.п.);
- внешние батареи питания по *4,5 В* (при отсутствии встроенных гальванических элементов) – 2 шт.

9.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерения малых ЭДС и напряжений бывают необходимы при использовании фотодиодов и фототриодов, при выявлении причин погрешностей некоторых средств измерений и т.п.

Условно будем считать ЭДС E малой, если $E < 1{,}0\ В$. Например, для термопары “хромель-алюмель” при разности температур горячего и холодного спаев $100\ ^0C$ термоЭДС равна *4,1 мВ*.

Трудность измерений малых ЭДС заключается в том, что они, как правило, имеют большое внутреннее сопротивление, поэтому при подключении измерительного прибора (милливольтметра) на его зажимах получается напряжение U, меньшее, чем ЭДС, на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении $R_в$ (рисунок 9.1): $U = E - I \cdot R_в$.

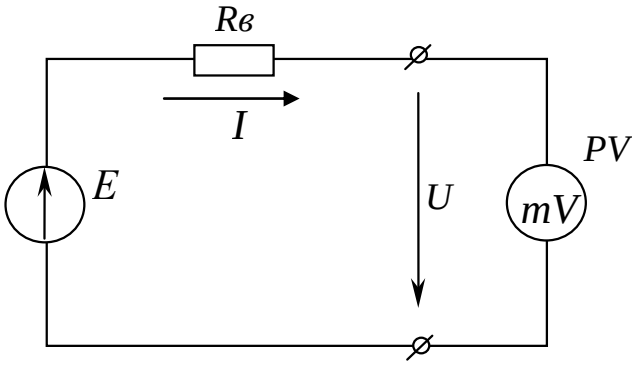


Рисунок 9.1 – Измерение ЭДС (напряжения) прибором непосредственной оценки

Для источников малых ЭДС $R_в$ оказывается соизмеримым с сопротивлением милливольтметра или даже больше его, поэтому погрешность при измерениях оказывается недопустимо большой, даже при использовании высокочувствительного прибора.

Чтобы уменьшить погрешность измерений, необходимо уменьшить ток *I*, потребляемый измерительным прибором. Наименьший ток из измерительной цепи потребляют приборы электронной системы, например, цифровой вольтметр *В7-16А*, поэтому приборы этой системы находят всё большее применение, несмотря на их сложность и дороговизну.

Компенсационный метод измерений позволяет проводить измерения при *I=0*, этот метод вообще исключает влияние измерительных приборов на источник ЭДС, а поэтому является наиболее точным. Сущность его заключается в следующем (рисунок 9.2).

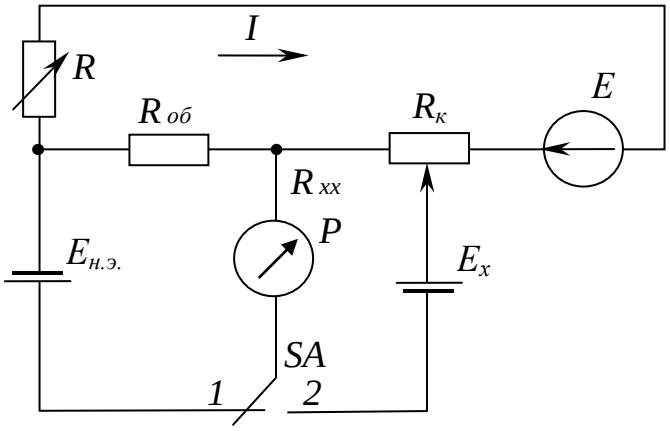


Рисунок 9.2 – Схема для измерения ЭДС компенсационным методом

В контуре, состоящем из ЭДС *E*, образцового $R_{об}$, компенсационного $R_к$ и регулировочного *R* сопротивлений, устанавливается строго определенный рабочий ток *I*. Силу этого тока контролируют с помощью гальванометра *P* и нормального элемента $E_{н.э}$. Для этого переключатель *SA* нужно поставить в положение *1* и с по-

мощью изменения сопротивления R добиться, чтобы стрелка гальванометра показывала ноль. Тогда $I=E_{н.э}/R_{об}$.

Если теперь переключатель *SA* переключить в положение *2* и регулировкой сопротивления $R_к$ добиться, чтобы стрелка гальванометра снова установилась на ноль, то это будет означать, что ЭДС E_x скомпенсирована падением напряжения на части сопротивления $R_к$, тогда $E=I \cdot R_к$.

Для измерений в данной лабораторной работе используется прибор Р4833.

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА *Р4833*

Прибор универсальный измерительный Р4833 предназначен для измерения сопротивлений, постоянных ЭДС и напряжений, поверки теплотехнических приборов.

Класс точности прибора при использовании в качестве:

- моста постоянного тока – *0,1*;
- потенциометра постоянного тока – *0,05*;
- магазина сопротивлений – *0,02*.

Диапазон измерений сопротивлений: от 10^{-4} до 10^{6} *Ом;* измерений ЭДС и напряжений: от *0* до *111,10 мВ*.

Питание прибора *Р4833* осуществляется:

– при использовании в качестве моста – от встроенных или наружных гальванических элементов или от сети *220 В 50Гц*;

– при использовании в качестве потенциометра и для питания источников регулируемого напряжения – от встроенных или наружных источников постоянного тока.

Прибор *Р4833* состоит из магазина сопротивлений, моста и потенциометра постоянного тока, двух источников регулируемого напряжения ИРН (“*mU*”) и ИРН (“*U*”), трёх источников питания по *4,5 В* каждый, насыщенного нормального элемента, корпуса и лицевой панели. Лицевая панель прибора показана на рисунке 9.3.

Магазин сопротивлений состоит из пяти декад: ”*X 100Ω*“ , “*X 10Ω(mU)*“, “*X 1Ω(mU)*”, “*X 0,1Ω(mU)*”, “*X 0,01Ω(mU)*”, которые используют в качестве плеча сравнения моста. Четыре из них (кроме первой) применяют также в качестве измерительных декад потенциометра.

Плечи отношений моста выполнены в виде делителя, резисторы которого расположены на декадном переключателе.

На панель прибора выведены:

1 – нулевой индикатор (гальванометр);

2 – ручки декадного магазина сопротивлений;

3 – ручка переключателя плеч отношений моста;

4 – кнопки включения чувствительности прибора “∇“ (грубо) и “∇∇“ (точно);

5 – ручки регуляторов рабочего тока потенциометра первого “∇“ 1“∇∇“ и второго “∇“ 2“∇∇“ контуров;

6 – ручки регуляторов напряжения ИРН (*mU*) и ИРН (*U*);

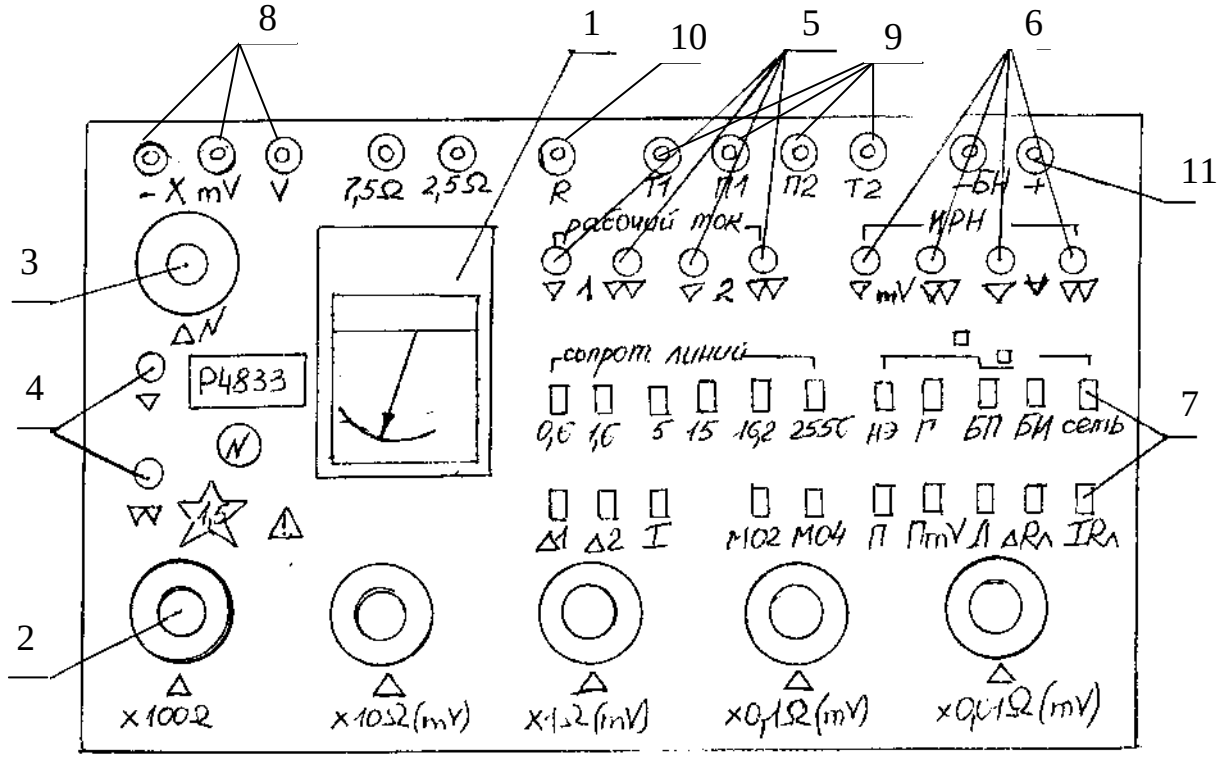


Рисунок 8.3 – Лицевая панель прибора *Р4833*

7 – кнопки рода работ (“ “ - измерение, “Δ 1” – первый контур, “Δ 2” - второй контур, “*МО-2*”– двухзажимная схема моста, “*МО-4*” – четырехзажимная схема моста, “*П*” – потенциометр и др.); кнопки выбора встроенных или наружных приборов (гальванометра “*Г*”, нормального элемента “*НЭ*”, батареи потенциометра “*БП*”, батареи моста “*БМ*”); кнопка “*Сеть*” для включения питания прибора от сети;

8 – зажимы “⟷ *X*”, “*mU*”, “*U*” для подключения измеряемой ЭДС и снятия напряжения от ИРН;

9 – зажимы “T_1”, “$П_1$”, “$П_2$”, “T_2” (то есть токовые и потенциальные) для подключения измеряемого сопротивления по двухзажимной или четырёхзажимной схемам одинарного моста;

10 – зажим “*R*” для использования прибора как магазина сопротивлений;

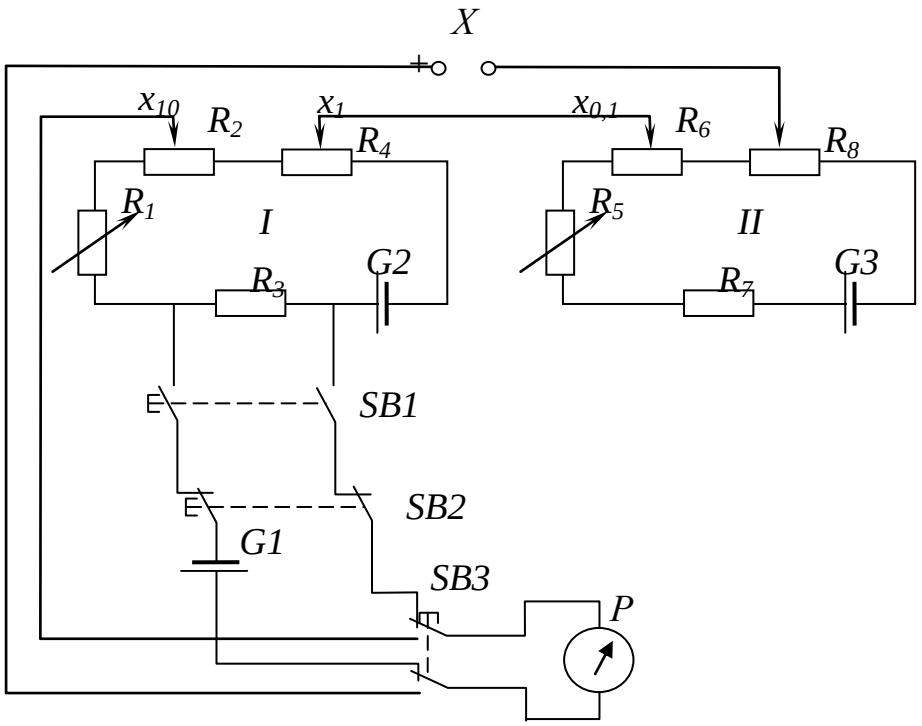
11 – зажимы “- *БМ* +” для подключения наружной батареи моста.

Имеются также другие кнопки и зажимы для выполнения специальных измерений.

На дне прибора размещены три кассеты с гальваническими элементами и отсек, в котором находятся зажимы “*НЭ*”, “*Г*”, “$БП_1$” , “$БП_2$” для подключения соот-

ветствующих наружных приборов, а также предохранитель сети и рукоятка переключателя ЭДС нормального элемента "$E_{н.э.}$=*1,0100U*" .

У прибора *Р4833* для увеличения точности измерений имеется два токовых контура – 1-й и 2-й, в каждом из которых имеется свой источник питания G_2 и G_3 (рисунок 9.4).



"*X*"– зажимы для подключения объекта измерения; R_2, R_4, R_6, R_8 – декадные переключатели; R_1, R_5 – регулировочные резисторы первого и второго контуров; R_3,, R_7 – установочные резисторы первого и второго контуров; *P* – гальванометр; *G2*, *G3* – источники питания первого и второго контуров; *G1* – нормальный элемент; *SB1*, *SB2*, *SB3*– кнопки управления.

Рисунок 9.4 – Схема потенциометра

Они включаются нажатием кнопки *БП*. В контурах с помощью резисторов R_1 и R_5 устанавливается строго определенный рабочий ток (*1 мА*). Установка рабочего тока производится по ЭДС нормального элемента G_1, которая сравнивается с падением напряжения на установочных сопротивлениях R_3 и R_7.

9.4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы требуется соблюдать общие правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ в лаборатории электри-

ческих измерений.

Приступать к работе можно только после внимательного ознакомления с прибором *Р4833* и его техническими характеристиками.

Ручки различных регулировок следует вращать плавно, следя за отклонением стрелки гальванометра. При резком зашкаливании стрелки гальванометра немедленно отключить его. При любых неисправностях следует отключать источники питания.

9.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

9.6.1. Ознакомиться с прибором *Р4833*, его техническими характеристиками и паспортными данными. Записать паспортные данные используемых приборов и оборудования.

9.6.2. Измерить ЭДС заданных источников компенсационным методом. Для этого:

– нажать кнопку “*П*”;

– нажать кнопки “*Г*”, “*БП*”, “*НЭ*”, при использовании встроенных гальванометра, батареи потенциометра и нормального элемента. Если используются внешние приборы, то подключить их к зажимам “*Г* “, “$БП_1$”, “$БП_2$”, “*НЭ*”;

– нажать кнопку “∇ 1”;

– установить рабочий ток первого контура, для чего установить стрелку гальванометра на ноль вращением ручек “РАБОЧИЙ ТОК “1 ∇ “ и “1∇∇“, вначале при нажатой кнопке“∇“, а затем при нажатой кнопке ”∇∇”;

– нажать кнопку “∇ 2”;

– установить рабочий ток второго контура (аналогично установке рабочего тока первого контура);

– подключить объект измерений к зажимам “- *X*”, “*mU*” соблюдая полярность;

– выполнить измерения напряжения, для чего нажать кнопку “ ⟋ “, установить стрелку гальванометра на ноль вращением ручек декадных переключателей вначале при нажатой кнопке “∇“, а затем при нажатой кнопке ”∇∇”.

Значение измеренного напряжения равно сумме показаний декад.

Во время измерений обратите внимание на то, что ЭДС термопары зависит от температуры горячего спая, а ЭДС фотодиода - от освещенности.

6.3. Результаты измерений записать в таблицу произвольной формы. Сделать выводы о достоинствах и недостатках компенсационного метода измерений ЭДС.

9.7. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название работы и её цель; паспортные данные приборов; таблицы измерений и их анализ; выводы по работе.

9.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение прибора *Р4833*?
2. В чем состоит компенсационный метод измерений ЭДС?
3. В чем преимущество компенсационного метода измерений малых ЭДС?
4. Зачем применяется нормальный элемент при использовании компенсационного метода?
5. Зачем применяется гальванометр в компенсационных схемах измерений? Что при этом важнее: точность гальванометра или его чувствительность?
6. Чем обеспечивается точность измерений ЭДС компенсационным методом?
7. Приведите примеры источников малых ЭДС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ПРОВЕРКА И ПОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

10.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить назначение, устройство и принцип работы трансформаторов тока; освоить методику их проверки и поверки.

10.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится два часа.

10.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- трансформатор тока щитовой - 1 шт.;
- трансформатор тока лабораторный - 1 шт.;
- амперметры образцовые - 3 шт.;
- трансформатор *220/12 В* - 1 шт.;
- лабораторный автотрансформатор - 1 шт.;
- вольтметр на *15 В* - 1 шт.;
- клещи токоизмерительные - 1 шт.

10.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Трансформаторы тока (*ТТ*) предназначены для расширения пределов измерения измерительных приборов и для изоляции первичных (силовых) цепей от вторичных (измерительных).

Основными частями *ТТ* являются: сердечник из листов электротехнической стали; первичная обмотка, включаемая последовательно в цепь измеряемого тока; вторичная обмотка, к которой последовательно подключаются токовые обмотки измерительных приборов и реле (рисунок 10.1). Выводы обмоток маркируются следующим образом: *Л1*, *Л2* (то есть «линия») – начало и конец первичной обмотки; *И1*, *И2* («измерительные») – начало и конец вторичной обмотки.

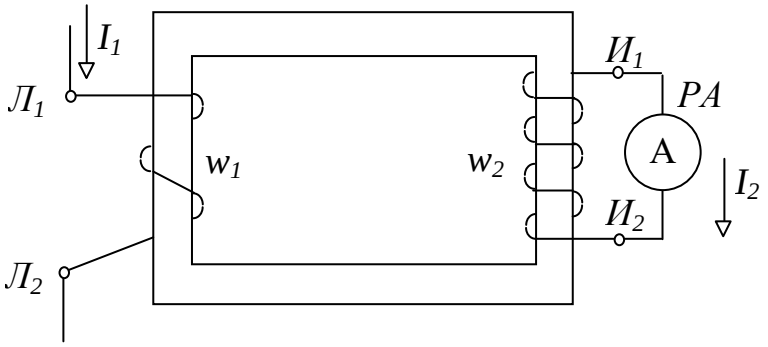


Рисунок 10.1 – Трансформатор тока

Так как токовые обмотки приборов имеют очень малые сопротивления, то нормальным режимом работы ТТ является режим, близкий к короткому замыканию. При таком режиме магнитодвижущие силы первичной и вторичной обмоток почти равны:

$$I_1 w_1 = I_2 w_2, \tag{10.1}$$

где I_1, I_2 – токи в первичной и вторичной обмотках,

w_1, w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток.

Чем меньше сопротивление вторичной обмотки, тем точнее выдерживается это равенство. Поэтому в паспорте *ТТ* указывается номинальное значение нагрузки в Омах (например *0,2 Ом* или *0,40 Ом*) или в *ВА* (например, *5ВА* или *10 ВА*).

Отношение $\frac{I_1}{I_2} = k_д$ называется действительным коэффициентом трансформации *ТТ*, а отношение первичного номинального тока $I_{1н}$ ко вторичному номинальному току $I_{2н}$ – номинальным коэффициентом трансформации $k_н$, то есть $\frac{I_{1н}}{I_{2н}} = k_н$.

Обычно $I_{2н} = 5A$ (иногда $I_{2н} = 1A$), а первичного тока – от долей ампера до *15 кА*. Таким образом , одними и теми же приборами с номинальным током *5 А* можно измерять синусоидальные токи почти любой величины, если подключать их через *ТТ* с соответствующим коэффициентом трансформации, так как $I_1 = kI_2$. Номинальное значение коэффициента трансформации указывается в паспорте трансформатора и записывается дробью (например, *200*/5 при $I_{1н} = 200A$ и $I_{2н} = 5A$).

Качество работы *ТТ* характеризуется величиной токовой и угловой погрешности. Равенство (10.1) не может быть абсолютно точным. Расхождение между номинальным и действительным коэффициентами трансформации характеризуется погрешностью по коэффициенту трансформации (токовая погрешность):

$$\beta_1 = \frac{K_н - K_д}{K_д} \cdot 100\%, \tag{10.2}$$

где β_1 – относительная токовая погрешность;

$K_н, K_д$ – номинальный и действительный коэффициенты трансформации.

Числовые значения наибольших допустимых токовых погрешностей определяют классы точности трансформаторов. Класс точности указывается в паспорте трансформатора. Промышленность выпускает *ТТ* классов точности: *0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3; 10*.

Возникает также небольшой сдвиг по фазе между векторами $\underline{I}_1$ и $\underline{I}_2$ – это угловая погрешность. Она влияет на работу таких приборов, как счетчики электрической энергии и ваттметры, если обмотки этих приборов подключаются к сети через трансформаторы тока. Угловая погрешность *ТТ* различных типов находится в пределах от *20* до *120 минут*.

Для правильной и надежной работы трансформаторы тока перед вводом в эксплуатацию должны быть проверены, а если необходимо знать также погрешности трансформаторов тока в различных режимах, то нужно выполнить их поверку.

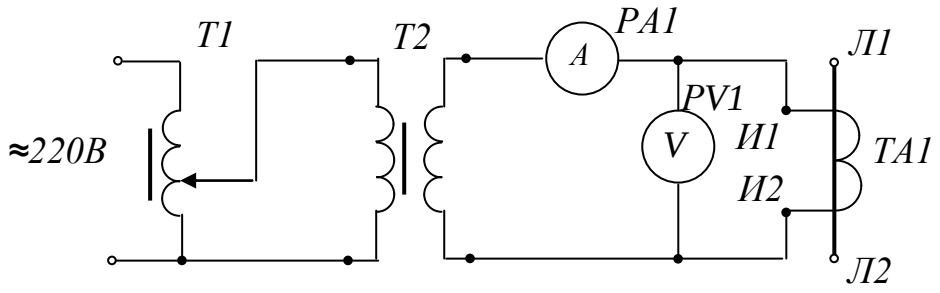
При поверке измеряют сопротивление изоляции; испытывают прочность изоляции; определяют коэффициент трансформации; проверяют полярности обмоток и снимают характеристику намагничивания (вольтамперную характеристику).

Программа поверки также включает внешний осмотр и оценку погрешностей.

В данной лабораторной работе предусматривается только снятие характеристики намагничивания, определение коэффициента трансформации и определение токовых погрешностей.

Характеристикой намагничивания называется зависимость тока во вторичной обмотке *ТТ* от приложенного к ней напряжения. Она нужна для обнаружения витковых замыканий, для подбора комплекта *ТТ* для сложных измерительных установок и тому подобное.

Для снятия этой характеристики собирают электрическую цепь по схеме на рисунке 10.2.



T1 – лабораторный автотрансформатор: *T2* – понижающий трансформатор 220/12В; *TA1* – трансформатор тока; *PA1*, *PV1* – амперметр и вольтметр класса точности не ниже *0,5*

Рисунок 10.2 – Электрическая цепь для снятия характеристики намагничивания

Медленно поднимая напряжение, снимают показания приборов до насыщения сердечника (в этом режиме ток увеличивается значительно быстрее, чем напряжение). Примерная форма кривых намагничивания показана на рисунке 10.3.

Перед каждым переключением приборов или отключением измерительной цепи от сети следует плавно снижать ток до нуля для размагничивания сердечника *ТТ*.

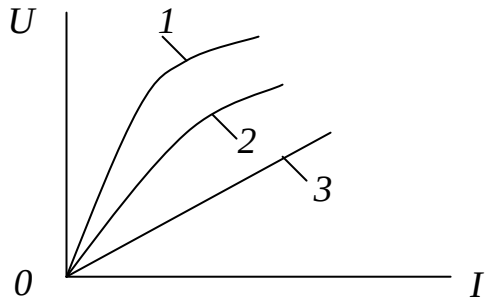


Рисунок 10.3 – Кривые намагничивания исправных ТТ (кривые *1*,*2*) и ТТ с витковым замыканием (кривая *3*)

Для определения коэффициента трансформации *k* собирают электрическую цепь по схеме на рисунке 10.4.

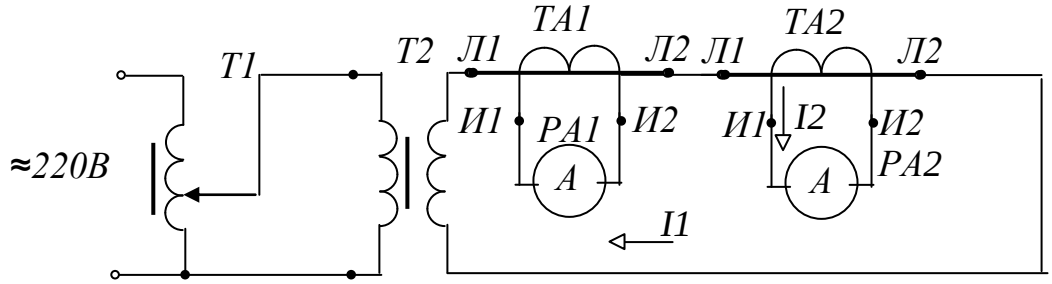
После размагничивания увеличивают ток от нуля до номинального, при этом снимают *4 – 5* показаний приборов и вычисляют действительное значение коэффициента трансформации:

$$K_д = \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_o I_{2o}}{I_{2n}},$$

где K_o – коэффициент трансформации образцового *ТТ*;

I_{2o} – вторичный ток образцового *ТТ*;

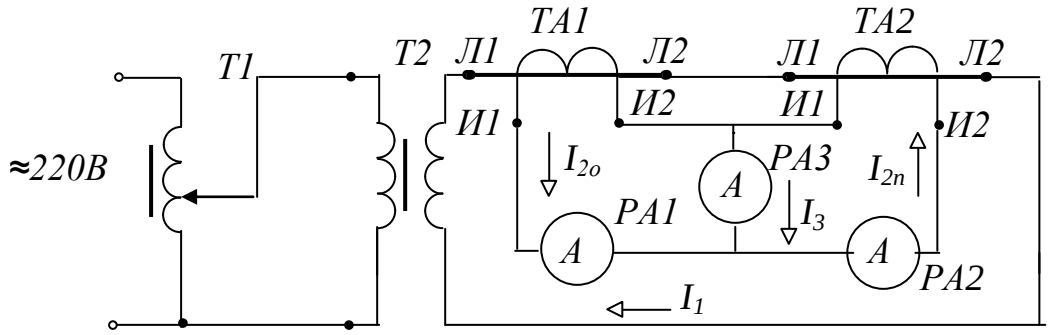
I_{2n} – вторичный ток поверяемого *ТТ*.



TA1, *TA2* – образцовый и поверяемый трансформаторы тока;
PA1, *PA2* - образцовые амперметры

Рисунок 10.4 – Схема установки для определения коэффициента трансформации

Погрешность *ТТ* определяют с помощью специальной измерительной установки дифференциальным методом. Схема упрощенного варианта такой установки показана на рисунке 10.5



ТА1, *ТА2* – образцовый и поверяемый *ТТ*;
РА1, *РА2* – образцовые амперметры; *РА3* – миллиамперметр.
Рисунок 10.5 – Схема установки для измерения полной погрешности дифференциальным методом

ТА1 и *ТА2* должны обязательно иметь одинаковые номинальные коэффициенты трансформации. Вторичная цепь *ТТ* имеет два контура, в смежной ветви которых включен миллиамперметр *РА3*. Через него проходит разность контурных токов (вторичных токов образцового и поверяемого трансформаторов тока). Эта разность является модулем вектора $\underline{I}_{2o} - \underline{I}_{2n}$ (полная погрешность). Она учитывает и токовую, и угловую погрешности.

Если построить векторную диаграмму *ТТ*, то, зная полную погрешность, можно определить токовую и угловую погрешности. При использовании *ТТ* в устройствах релейной защиты полная погрешность в рабочих и аварийных режимах должна быть не более *10* %.

Показания приборов снимают при первичном токе, равном *10, 20, 50, 100* и *120%* номинального (не более).

Трансформаторы тока класса 3 могут проверяться по более простой схеме (рисунок 10.4).

10.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы требуется соблюдать общие правила техники безопасности. Кроме того, категорически запрещается размыкать вторичную обмотку трансформаторов тока, если по первичной протекает ток, во избежание появления высокого напряжения, опасного для изоляции и персонала. Поэтому соединения во вторичных цепях *ТТ* следует выполнять особенно надежно.

10.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

10.6.1. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать их паспортные данные в таблицу 1в общепринятой формы.

10.6.2. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 10.2.

10.6.3. После проверки цепи преподавателем поставить ручку регулятора напряжения на ноль, включить напряжение сети и снять кривую намагничивания (таблица 10.1).

Таблица 10.1 – Кривая намагничивания *ТТ*

U, В					
I, А					

10.6.4. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 10.4. После проверки схемы, увеличивая напряжение с нуля, снять показания приборов для определения коэффициента трансформации, записав их в таблицу 10.2.

Таблица 10.2 – Показания приборов для определения коэффициента трансформации

Измерено	I_{2o}, *А*	1	2	3	4	5
	I_{2n}, *А*					
Вычислено	$I_1=K_o \cdot I_{2o}$					
	$K_д = \frac{I_1}{I_{2n}}$					
	$\beta_1 = \frac{K_н - K_д}{K_д}$					

10.6.5. С помощью токоизмерительных клещей убедиться в том, что ток в первичной цепи $I_1 = I_{2o} \cdot k_o$.

10.6.6. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 10.5. После проверки цепи убедиться, что рукоятка регулятора напряжения находится в нулевом положении, после чего подать напряжение сети и, плавно увеличивая ток, следить за показаниями миллиамперметра *РА3*. Если они малы, то есть, если $I_3 < I_{2o} \approx I_{2n}$, то дифференциальная схема собрана правильно (в соответствии с маркировкой зажимов). В этом случае снимают показания приборов и записывают в таблицу 10.3.

Таблица 10.3 – Показания приборов при измерении полной погрешности дифференциальным методом

Измерено		Вычислено		Вывод
I_{2o}, *А*	I_3, *А*	$I_1 = K \cdot I_{2o}$	$\gamma_{полн} = \frac{I_3}{I_{2o}} \cdot 100\%$	
От *0 до 5 А*				

10.7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Построить кривую намагничивания и сделать вывод об исправности *ТТ*; определить действительный коэффициент трансформации и его погрешность; вычислить полную погрешность.

10.8. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете привести принципиальные схемы измерительных цепей; результаты вычислений и измерений, а также выводы по результатам каждого опыта.

10.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зачем применяются трансформаторы тока?
2. Какие приборы являются нагрузкой ТТ и как они подключаются?
3. Что такое коэффициент трансформации ТТ?
4. Какие погрешности имеет ТТ? От чего они зависят?
5. Какую разметку имеют зажимы ТТ и зачем она нужна?
6. В каком режиме работает ТТ?
7. Что служит нагрузкой ТТ?
8. Почему поверяемый и образцовый ТТ в дифференциальной схеме должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕТОДОМ ДВУХ ВАТТМЕТРОВ

11.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение метода измерений мощности трехфазной трехпроводной сети с помощью двух ваттметров, получение навыков работы с ваттметрами.

11.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

11.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- ваттметры *Д341* – 2 шт.;
- трансформаторы тока – 2 шт.;
- амперметр – 1 шт.;
- фазометр – 1 шт.;
- блок нагрузки – 1 шт.

11.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В электрической цепи без нейтрального провода линейные напряжения на входных зажимах всегда можно рассматривать получающимися от двух источников напряжения, включенных, например, так, как показано на рисунке 11.1.

В этом случае активная мощность передачи энергии по линии без нейтрального провода может быть определена по показаниям двух ваттметров:

$$P=P_{W1}+P_{W2}.$$

Доказательство этого следует из векторной диаграммы токов и напряжений симметричной трехфазной цепи (рисунок 11.2.)

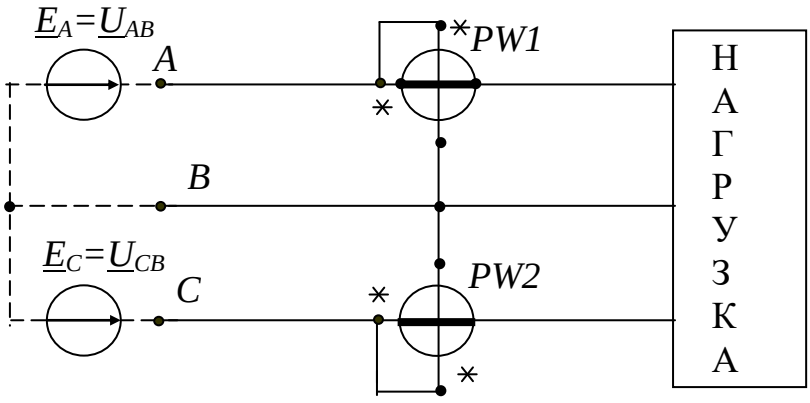


Рисунок 11.1 – Схема включения электрической цепи
без нейтрального провода

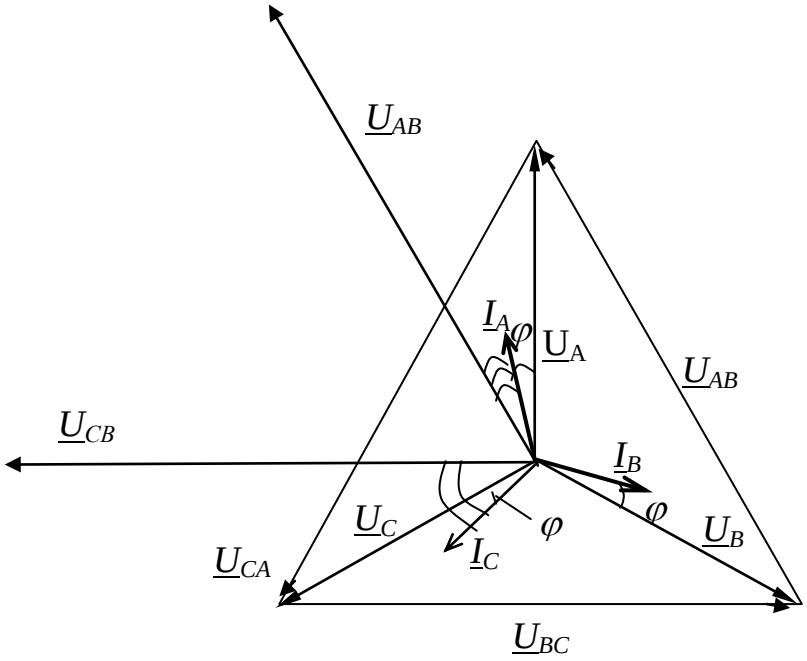


Рисунок 11.2 – Векторная диаграмма токов и напряжений

В соответствии с диаграммой для симметричной цепи можно записать:

$$P_{W1} = U_{AB} \cdot I_A \cdot cos(30^0 - \varphi) = U_Л \cdot I_Л \cdot cos(30^0 - \varphi);$$

$$P_{W2} = U_{CB} \cdot I_C \cdot cos(30^0 + \varphi) = U_Л \cdot I_Л \cdot cos(30^0 + \varphi);$$

$$P = P_{W1} + P_{W2} = U_Л \cdot I_Л \cdot cos(30^0 - \varphi) + U_Л \cdot I_Л \cdot cos(30^0 + \varphi) =$$

$$= U_Л \cdot I_Л \cdot \left[cos(30^0 - \varphi) + cos(30^0 + \varphi)\right] =$$

$$= U_Л \cdot I_Л \cdot 2cos30^0 \cdot cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_Л \cdot cos\varphi .$$

Из этих выражений следует, что показания ваттметров P_{W1} и P_{W2} одинаковы только при $\varphi=0$ (нагрузка активная). Если нагрузка активно-индуктивная, то показания ваттметра в опережающей фазе (например, фазе *C*) будут больше, чем показания ваттметра в отстающей фазе (например, фазе *A*); если же нагрузка активно-емкостная – наоборот.

Из анализа векторной диаграммы следует, что значения показаний ваттметров P_{W1} и P_{W2} зависят от характера нагрузки (значения угла φ). Эти значения сведем в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Значения угла φ и соответствующие им соотношения между показаниями ваттметров

Значение угла φ	Соотношения между P_{W1} и P_{W2} и значения P_{W1} и P_{W2}
0	$P_{W1} = P_{W2}$
60	$P_{W2} = 0$
- 60	$P_{W1} = 0$
± 90	- $P_{W1} = P_{W2}$
$\varphi > 60$	$P_{W2} < 0$
$\varphi < -60$	$P_{W1} < 0$

Из данных таблицы следует, что возможны такие режимы работы электрической цепи, при которых стрелка того или иного ваттметра отклоняется в обратную сторону, несмотря на правильное включение ваттметра в цепь. Тогда, чтобы сделать отсчет по шкале прибора, необходимо изменить направление подключения обмотки напряжения или токовой обмотки соответствующего ваттметра на противоположное. Измеренную после этого мощность следует считать отрицательной.

По показаниям этих же ваттметров можно определить реактивную мощность трехфазной системы, но только при условии полной симметрии сети и нагрузки. Из векторной диаграммы на рисунке 11.2 следует, что в симметричном режиме

$$P_{W2} - P_{W1} = U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(30^0 + \varphi) - U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(30^0 - \varphi) =$$
$$= U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot \left[\cos(30^0 + \varphi) - \cos(30^0 - \varphi)\right] = U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot 2\sin 30^0 \cdot \sin\varphi =$$
$$= U_{л} \cdot I_{Л} \cdot \sin\varphi = \frac{Q}{\sqrt{3}}.$$

Поэтому реактивную мощность по показаниям ваттметров можно определить как

$$Q = \sqrt{3}(P_{W2} - P_{W1}).$$

Аналогично можно определить активную мощность и для несимметричной трехфазной цепи. Представим показания ваттметра P_W как скалярное произведение вектора напряжения на обмотке напряжения и вектора тока в токовой обмотке:

$$P_W = \underline{U}_W \cdot \underline{I}_W = U_W \cdot I_W \cdot cos(\underline{U}_W \wedge \underline{I}_W).$$

Тогда

$$P = P_{W1} + P_{W2} = \underline{U}_{AB} \cdot \underline{I}_A + \underline{U}_{CB} \cdot \underline{I}_C = (\underline{U}_A - \underline{U}_B) \cdot \underline{I}_A + (\underline{U}_C - \underline{U}_B) \cdot \underline{I}_C =$$
$$= \underline{U}_A \cdot \underline{I}_A - \underline{U}_B \cdot \underline{I}_A + \underline{U}_C \cdot \underline{I}_C - \underline{U}_B \cdot \underline{I}_C = P_A - \underline{U}_A \cdot (\underline{I}_A + \underline{I}_C) + P_C =$$
$$= P_A + \underline{U}_B \cdot \underline{I}_B + P_C = P_A + P_B + P_C.$$

Следовательно, при несимметричной цепи сумма показаний двух ваттметров также равна мощности всех трех фаз.

11.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторной работы требуется соблюдать общие правила по технике безопасности при работе в лабораториях электрических измерений.

11.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

11.6.1. Ознакомиться с паспортными данными приборов и записать их в таблицу 1в.

11.6.2. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 11.3.

11.6.3. Снять показания приборов для различных случаев характера нагрузки:

1) активная (замкнут ключ *Q1*);
2) активная (замкнуты ключи *Q1* и *Q2*);
3) активно-емкостная (замкнуты ключи *Q1*, *Q2*, *Q3*);
4) активно-емкостная (ключ *Q1* разомкнут);
5) емкостная (ключи *Q1*, *Q2* разомкнуты).

Результаты измерений занести в таблицу 11.2.

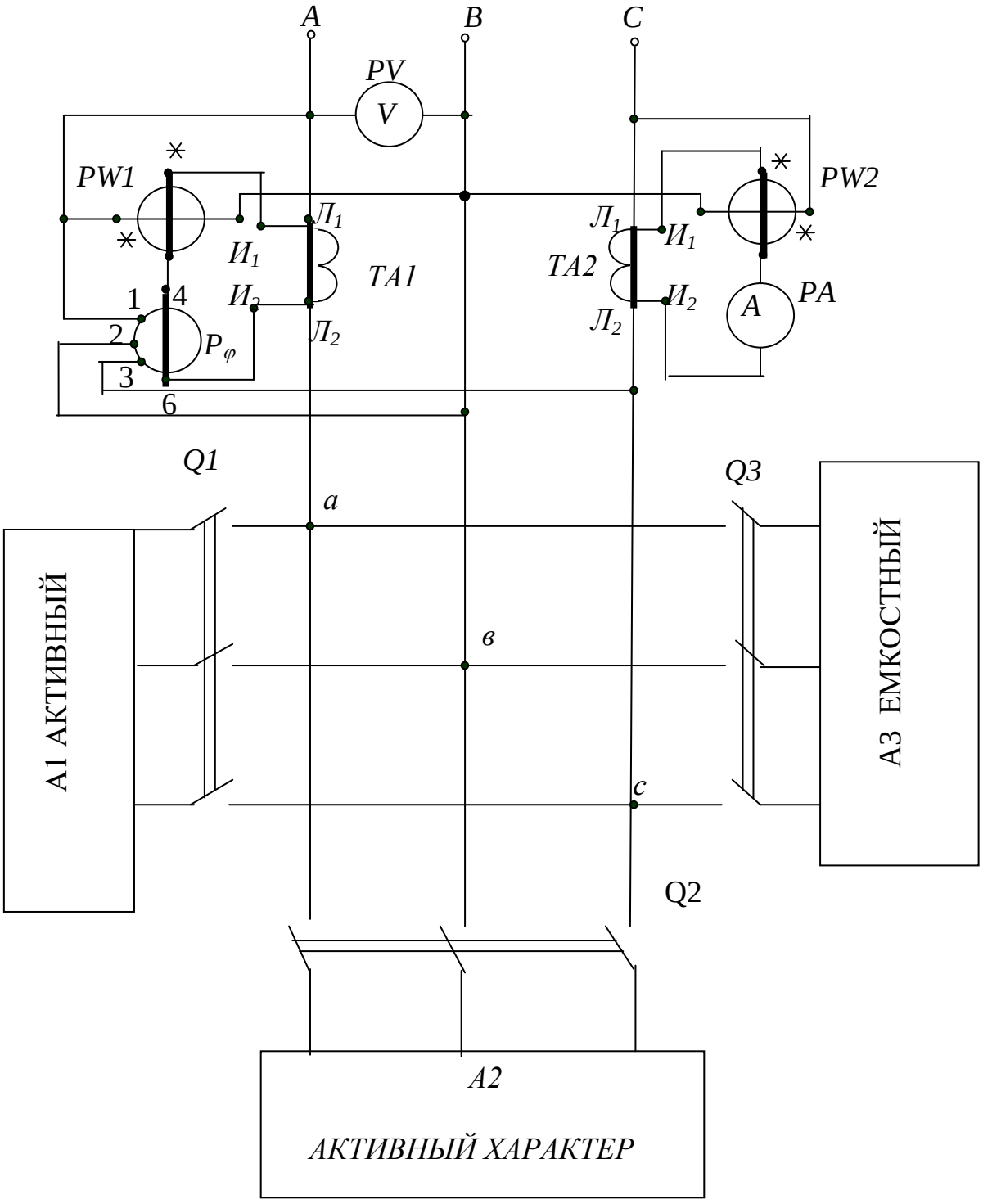


Рисунок 11.3 – Схема включения двух ваттметров для измерений мощности

Таблица 11.2 – Результаты измерений и вычислений

Измерено							Вычислено				
№	U	I	P_{W1}	P_{W2}	$\cos\varphi$	P	Q	P	Q	S	$\cos\varphi$
	В	*А*	*Вт*	*Вт*	-	*Вт*	*ВАр*	*Вт*	*ВАр*	*ВА*	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Примечание:

1) в графе 7: $P = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \cos\varphi$;

2) в графе 8: $Q = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \sin\varphi$;

3) в графе 9: $P = P_{W1} + P_{W2}$;

4) в графе 10: $Q = \sqrt{3} \cdot (P_{W2} - P_{W1})$;

5) в графе 11: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$;

6) в графе 12: $\cos\varphi = \dfrac{P}{S}$.

11.7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Вычислить значения активной и реактивной мощностей по показаниям ваттметров, сравнить их. Вычислить полную мощность цепи, коэффициент мощности, сравнить его с измеренным.

11.8. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать схему электрической цепи, таблицы, выводы по работе.

11.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют схемы включения двух ваттметров при измерениях мощности трехфазной трехпроводной сети?
2. Какие частные случаи могут наблюдаться при измерениях мощности методом двух ваттметров?
3. Как изменяется коэффициент мощности цепи при изменении характера нагрузки?
4. Для чего в электрической цепи на рисунке 11.3 включен фазометр?
5. Какие величины можно вычислить по показаниям двух ваттметров?
6. Где практически применяется метод двух ваттметров?
7. Объясните, как можно определить коэффициент мощности в симметричной трехфазной цепи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

12.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение конструктивных особенностей трехфазных счетчиков активной энергии и схем их включения.

12.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

12.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- двухэлементный счетчик активной энергии (*САЗ*) - 1 шт.;
- трехэлементный счетчик активной энергии (*САЧ*) - 1 шт.;
- трансформаторы тока лабораторные, $K_{TT} = 10/5$ - 3 шт.;
- вольтметр переменного тока, $U_H = 250В$ - 1 шт.;
- амперметр переменного тока, $I_H = 5А$ - 1 шт.;
- трехфазная нагрузка.

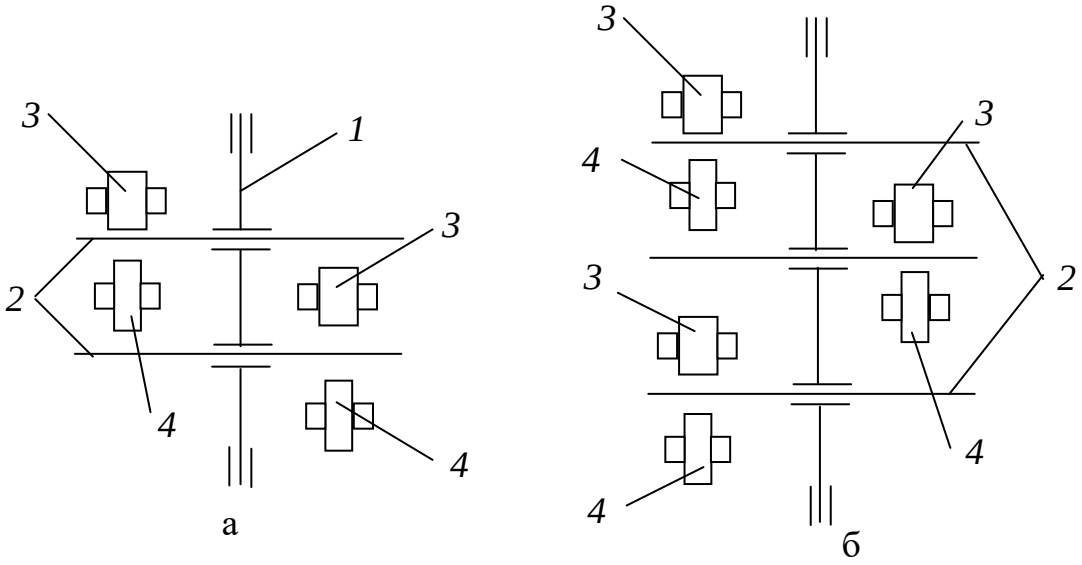
12.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В трехфазных электрических цепях для измерений активной и реактивной энергии применяются, как правило, счетчики индукционной системы. Существуют также счетчики электронной системы, однако они в данной работе не рассматриваются. Сельскохозяйственные потребители оплачивают только активную электрическую энергию, поэтому ниже рассмотрим измерение только активной энергии счетчиками индукционной системы.

Трехфазные счетчики выпускают двухэлементными – для трехпроводной сети и трехэлементными – для четырехпроводной сети.

Двухэлементный счетчик имеет два измерительных элемента, таких как у однофазного счетчика, но оба алюминиевых диска расположены на одной оси (рисунок 12.1а), поэтому вращающие моменты их суммируются. Схема включения об-

моток такого счетчика показана на рисунке 12.2 а.



1 – ось; *2* – алюминиевые диски; *3* – обмотки напряжения; *4* – токовые обмотки

Рисунок 12.1 – Двухэлементный (а) и трехэлементный (б) трехфазные счетчики

Так как вращающий момент индукционного механизма пропорционален скалярному произведению векторов напряжения (на обмотке напряжения) и тока (в токовой обмотке), то суммарный вращающий момент пропорционален мощности, потребляемой из сети. Действительно, схема на рисунке 12.2а – это известная «схема двух ваттметров», только у счетчиков, в отличие от ваттметров, нет противодействующей пружины, поэтому диск вращается и вращает счетный механизм. Фазы: *A, B, C* принято обозначать на счетчиках цифрами 1, 2, 3.

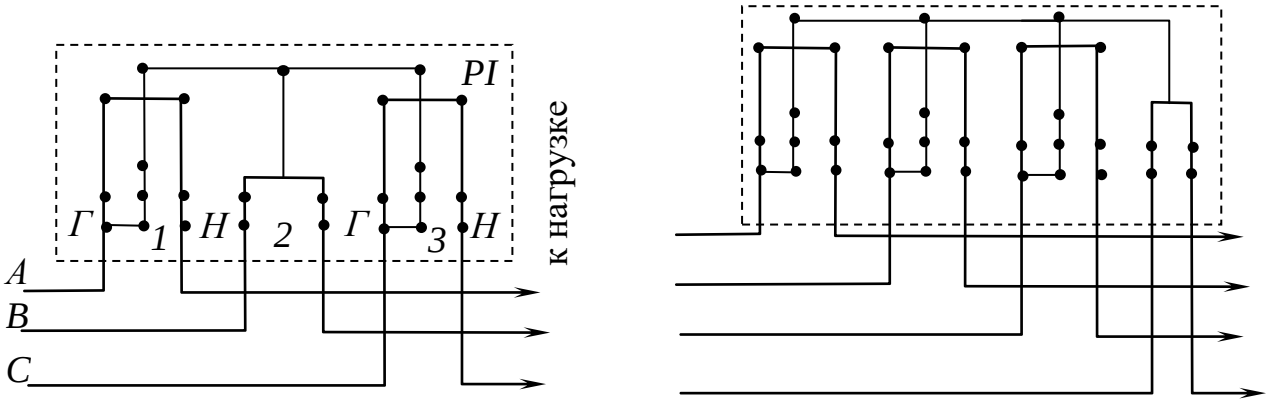


Рисунок 12.2 – Схемы непосредственного включения счетчиков: (а) двухэлементного САЗ, для трехпроводной сети; (б) трехэлементного САЧ, для четырехпроводной сети

Вспомним, что если $\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_U}$ и $\underline{I} = I \cdot e^{j\varphi_i}$ – векторы напряжения и тока с начальными фазами φ_U и φ_i (рисунок 12.3), то полная комплексная мощность

$$\underline{U} \cdot \overset{*}{I} = U \cdot I \cdot e^{j\varphi} = U \cdot I \cdot \cos\varphi + j \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi = P + jQ. \qquad (12.1)$$

где $\overset{*}{I}$ – сопряженный комплекс тока;

$\varphi = \varphi_U - \varphi_i$ – разность фаз напряжения и тока.

Значит, активная мощность может быть определена как действительная часть произведения комплекса напряжения и сопряженного комплекса тока, то есть

$$P = Re(\underline{U} \cdot \overset{*}{\underline{I}}).$$

Поэтому для схемы двух ваттметров (см. рисунки 12.2а и 12.3) имеем:

$$I_A \cdot U_{AB} \cdot \cos(\underline{I}_A \hat{} \underline{U}_{AB}) + I_C \cdot U_{CA} \cdot \cos(\underline{I}_C \hat{} \underline{U}_{CB}) = Re(\overset{*}{I}_A \cdot \underline{U}_{AB}) +$$

$$+ Re(\overset{*}{I}_C \cdot \underline{U}_{CB}) = Re\left[\overset{*}{I}_A \cdot (\underline{U}_A - \underline{U}_B)\right] + Re\left[\overset{*}{I}_C (\underline{U}_C - \underline{U}_B)\right] =$$

$$= Re(\underline{U}_A \cdot \overset{*}{I}_A) - Re(\underline{U}_B \cdot \overset{*}{I}_A) + Re(\underline{U}_C \cdot \overset{*}{I}_C) - Re(\underline{U}_B \cdot \overset{*}{I}_C) = P_A + P_C -$$

$$- \left[\underline{U}_B (\overset{*}{I}_A + \overset{*}{I}_C)\right] = P_A + P_C + Re(\underline{U}_B \cdot \overset{*}{I}_B) = P_A + P_C + P_B. \qquad (12.2)$$

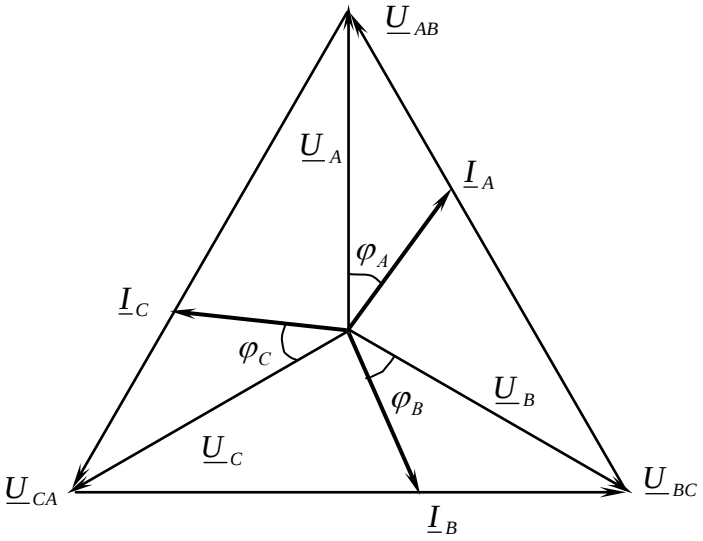


Рисунок 12.3 – Векторная диаграмма для трехфазной трехпроводной цепи

Следовательно, два измерительных элемента счетчика воспринимают активную мощность всех трех фаз, а счетчик, соответственно, учитывает активную энергию трехфазной нагрузки, как симметричной, так и несимметричной.

Необходимо заметить, что вращающие моменты зависят от характера нагрузки, поэтому только при чисто активной нагрузке и симметричной цепи вращающие моменты первого и второго элементов равны между собой.

Трехэлементный трехфазный счетчик имеет три однофазных измерительных элемента и соответственно три алюминиевых диска на одной оси. Принципиальная схема включения трехэлементного счетчика показана на рисунке 12.2 б. Некоторые конструкции счетчиков, например венгерской фирмы «*Ганц*», имеют три элемента, но два диска, так как один из дисков является общим для двух фаз. Следовательно, трехфазный счетчик – это как бы три однофазных счетчика в одном корпусе, но у них одна общая ось и один счетный механизм.

Применяются также счетчики с двумя или тремя счетными механизмами, в основном там, где существуют разные тарифы на электроэнергию в разное время суток.

При подключении счетчиков разрешается снимать только крышку его клеммной коробки, не разбирая сам счетчик. Поэтому схему его подключения обычно изображают с учетом тех обозначений, которые имеются на счетчике. Например, у счетчика *СА3* буквами *Г* и *Н* обозначают зажимы «*генераторный*» и «*нагрузка*», цифрами *1, 2, 3* – фазы – первая, вторая и третья (например, *А, В* и *С*), – зажим «*0*» – «нулевой провод». Обмотки счетчиков изображают упрощенно – отрезком прямой линии; обмотка напряжения, включаемая в цепь параллельно (как вольтметр), изображается тонкой линией, а токовая обмотка (то есть последовательная) изображается жирной линией.

Токовые обмотки трехфазных счетчиков рассчитаны, как правило, на ток *5 А*. Токи нагрузки трехфазных потребителей чаще всего бывают значительно больше: десятки и сотни ампер. Выполнять токовые обмотки счетчиков на такие большие токи при сохранении их класса точности и габаритов нецелесообразно. Поэтому при токах более *5 А*, а также при напряжениях выше *1000 В* токовые обмотки счетчиков подключаются через трансформаторы тока.

В электроустановках напряжением выше *1000 В* применяют счетчики с номинальным напряжением *100 В* и номинальным током *5 А*. При этом обмотки напряжения включаются через трансформаторы напряжения, а токовые обмотки – через трансформаторы тока (рисунок 12.4).

Класс точности счетчиков активной энергии, включенных через измерительные трансформаторы, должны быть не ниже *2,0*.

Расход электроэнергии в *кВт.ч.* за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$ определяется по формуле

$$W_a = (n_{t2} - n_{t1})\, K_{TT}\, K_{TH}, \qquad (12.3)$$

где n_{t1}, n_{t2} – показания счетчика в моменты времени t_1 и t_2;

K_{TT}, K_{TH} – коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.

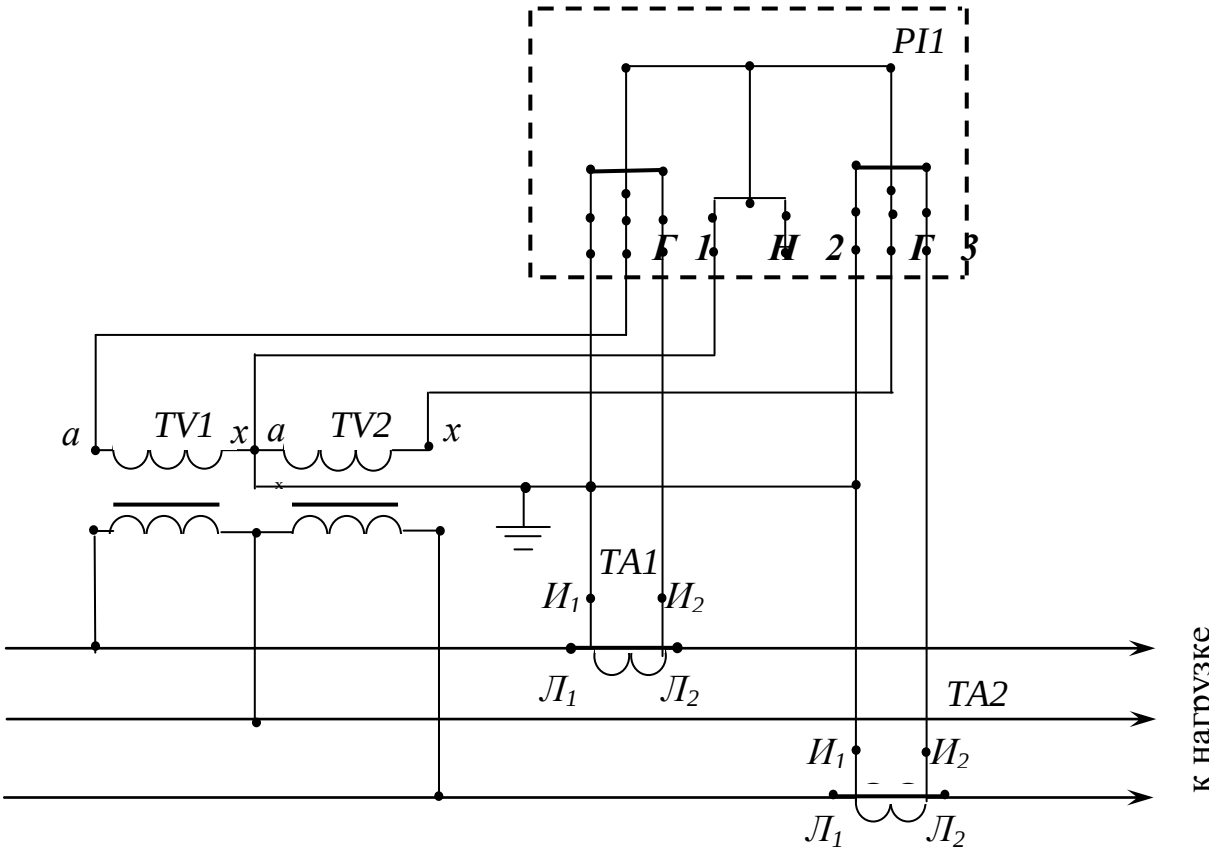


Рисунок 12. 4 – Схема включения двухэлементного счетчика через измерительные трансформаторы тока и напряжения

Если время Δt мало, (например, менее часа), то определение расхода электроэнергии по формуле (12.3) будет неточным. В этом случае следует воспользоваться постоянной счетчика C или приведенной в паспорте счетчика величиной A, называемой передаточным числом счетчика. Так как размерность величины A – *об/кВт·ч,* а размерность постоянной счетчика C – *Вт· с/об.*, то $C = 3600 \cdot 1000/A$. Поэтому активная энергия в *кВт·ч* равна:

$$W_a = \frac{N}{A} \cdot K_{TT} \cdot K_{TH},$$

или в *Вт· с*

$$W_a = 3600 \cdot 10^3 \cdot \frac{N}{A} \cdot K_{TT} \cdot K_{TH},, \qquad (12.4)$$

где N – число оборотов диска за время Δt.

Зная расход активной электроэнергии W_a и полную мощность S, можно определить среднее значение мощности $P_{ср}$ и $\cos\varphi_{ср}$:

$$P_{cp} = \frac{W_a}{\Delta t}; \qquad \cos\varphi_{cp} = \frac{P_{cp}}{S}.$$

В некоторых случаях, например при наличии резервной дизельной электростанции, направление передачи энергии на отдельных линиях может изменяться. В этих случаях необходимо ставить два счетчика, каждый со стопором, предотвращающим вращение оси счетчика в обратном направлении. Это вызвано тем, что у счетчиков имеются устройства для компенсации моментов трения, а направление компенсационного момента не зависит от направления вращения диска, поэтому при вращении в обратную сторону погрешность счетчика может значительно возрасти.

12.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСТНОСТИ

При выполнении лабораторной работы следует соблюдать общие правила безопасности. Особое внимание необходимо обращать на надежность контактов во вторичных цепях трансформатора тока, если по первичной обмотке идет ток, во избежание появления высокого напряжения и перегрева сердечника трансформатора тока.

12.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

12.6.1. По литературе и наглядным пособиям изучить устройство и принцип работы трехфазных счетчиков.

12.6.2. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать их паспортные данные в таблицу установленной формы 1в.

12.6.3. Определить постоянные счетчиков СА3 и СА4.

12.6.4. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 12.5.

12.6.5. После проверки цепи преподавателем подать напряжение, включить чисто активную нагрузку и проверить симметричность цепи, измерив вольтметром линейные и фазные напряжения. Дать приборам прогреться в течение *10 мин*. Принять

$$U_{Л} = \frac{1}{3}\left(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}\right).$$

12.6.6. Подсчитать число оборотов диска за время $\Delta t = 60$ *с*, измерить ток *Iв* во вторичной обмотке трансформатора тока *ТА1*. Результаты измерений записать в таблицу 12.1.

12.6.7. Параллельно активной нагрузке подключить конденсаторы и провести

те же измерения.

Убедиться в том, что активная энергия и мощность не изменились. Обратить внимание на то, что ток возрос и стал больше номинального тока счетчика.

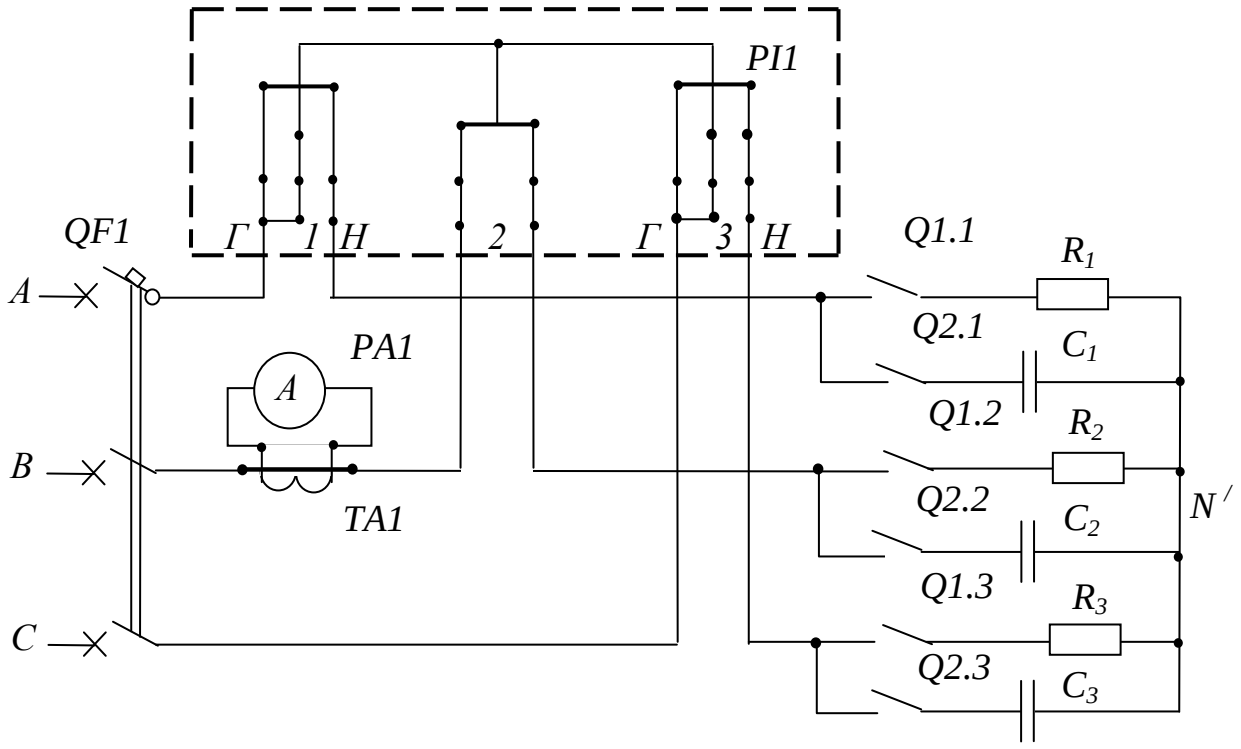


Рисунок 12.5 – Трехфазная трехпроводная цепь и подключение к ней двухэлементного счетчика активной энергии СА3

12.6.8. Отключить одну из фаз (А или С) нагрузки и повторить измерения.

Расчетным путем убедиться в том, что при несимметричной нагрузке счетчик правильно учитывает электроэнергию.

12.6.9. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 12.6 и выполнить те же измерения. Результаты всех измерений записать в таблицу 12.1.

Таблица 12.1 – Результаты измерений и вычислений

Эл. цепь	Характер нагрузки	Измерено				Вычислено				
		$U_Л$	$Iв$	N	Δt	W_a	$P_{ср}$	$I_B = I_в.K_{ТТ}$	$\cos\varphi = \frac{P_{ср}}{S}$	Примеч.
		В	*А*	*дел*	*с*	*Вт· с*	*Вт*	*А*	-	-
Трехпроводная	активная симметр.									$S^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I$
	активно-реакт. сим.									
	активная несимметр. $I_A=0$									$S^{(2)} = = U_Л \cdot I$
Четырехпроводная	активная симметр.									$S^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I$
	активно-реакт. сим.									
	активная несимметр. $I_A=0$									$S^{(2)} = = U_Л \cdot I$

Примечание: $S^{(3)}$ и $S^{(2)}$ – полная мощность в трехфазном и двухфазном режимах.

12.7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Для каждого режима рассчитать расход электроэнергии, среднюю мощность,

коэффициент мощности и ток нагрузки. Сделать выводы по каждому опыту и по работе в целом.

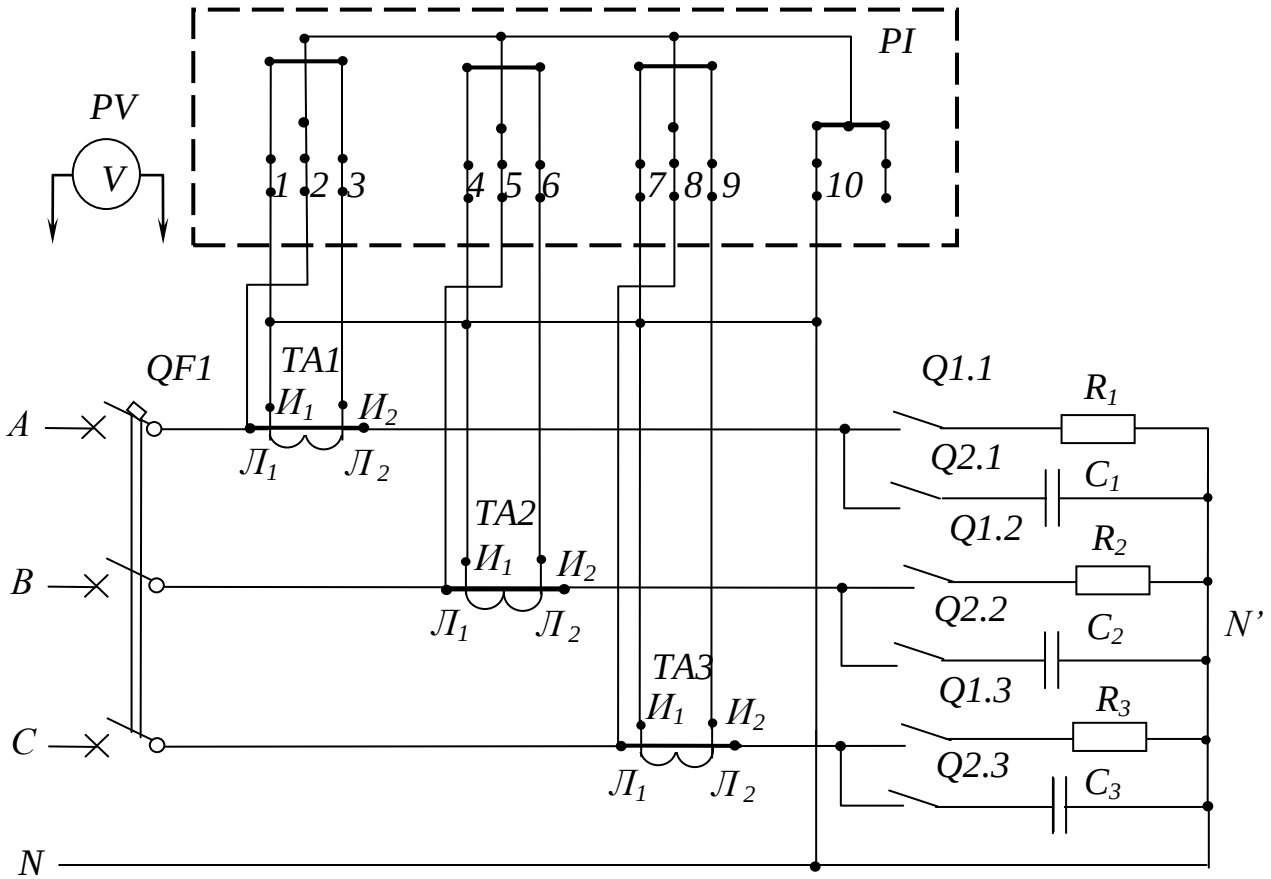


Рисунок 12.6 – Трехфазная четырехпроводная цепь и подключение к ней трехэлементного счетчика активной энергии через трансформаторы тока

12.8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать паспортные данные приборов, таблицу измерений и вычислений, принципиальные схемы опытов (рисунки 12.5 и 12.6) и основные выводы.

12.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие приборы применяются для учета электроэнергии в трехфазных трехпроводных цепях? В четырехпроводных цепях?

2. Начертите схему непосредственного включения двухэлементного счетчика в трехфазную цепь.

3. Почему нельзя применить двухэлементные счетчики в четырехпроводных цепях?

4. Как подключить трехэлементный счетчик к четырехпроводной трехфазной цепи при токах нагрузки менее 5 А? Нарисовать схему подключения.

5. Как подключить счетчик к высоковольтной цепи?

6. Зачем применяются трансформаторы тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ

13.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия, устройства, технических характеристик электронно-лучевого осциллографа, а также возможностей его применения в измерительной практике.

13.2. ВРЕМЯ, ОТВОДИМОЕ НА РАБОТУ

На выполнение данной работы отводится 2 часа.

13.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- универсальный электронный осциллограф – 1 шт.;
- генератор сигналов – 1 шт.;
- стабилизатор напряжения СН-500 – 1 шт.;
- лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) – 1 шт.;
- электронный вольтметр – 1 шт.

13.4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Осциллографы – это приборы, предназначенные для визуального наблюдения и регистрации процессов, изменяющихся во времени.

В зависимости от принципа работы и устройства различают осциллографы светолучевые (электромеханические) и электронно-лучевые (электронные). Первые позволяют наблюдать и регистрировать до *12* и более сигналов одновременно при частоте сигналов до *30 кГц*. Электронные осциллографы позволяют наблюдать только один сигнал (иногда два), но зато диапазон частот у них значительно шире – до $10 \cdot 10^6$ *Гц* и более. Кроме того, они более надежны, их габариты и масса меньше, поэтому электронные осциллографы в настоящее время применяются значительно чаще, чем светолучевые.

Электронные осциллографы применяют для измерений амплитуды и мгновенных значений изменяющихся во времени величин, пропорциональных напряжению, а также частоты временных интервалов, фазовых сдвигов различных электрических сигналов.

Устройство электронного осциллографа

Электронный осциллограф состоит из четырех основных узлов: электронно-лучевой трубки (*ЭЛТ*), генератора пилообразного напряжения (развертки) (*ГР*), усилителей вертикального (*Ау*) и горизонтального (*Ах*) отклонений луча и блока питания (*БП*) (рисунок 13.1).

Электроннолучевая трубка (*ЭЛТ)* предназначена для получения, формирования электронного луча и управления им. Создание направленного потока электронов и формирование его в тонкий луч достигается при помощи катода (*К*), модулятора (*М*) и двух анодов (A_1 и A_2), размещенных в горловине трубки.

Яркость светящегося пятна на экране *Э* зависит от количества электронов на луче, ее регулируют изменением отрицательного потенциала модулятором *М* относительно катода *К*. Это осуществляется изменением сопротивления R_3 (рукоятка “Яркость”). Фокусировки добиваются при помощи модулятора *М* (предварительно) и первого анода A_1 (окончательно). Потенциал анода A_1 регулируется делителем напряжения R_1 (рукоятка «Фокусировка»). Нужная скорость электронов в поступательном направлении достигается за счет напряжения между катодом *К*, первым анодом A_1 и вторым анодом A_2 , называемым ускоряющим. Потенциалы анодов положительны относительно катода *К*. Потенциал A_2 в *2-5* раз больше потенциала A_1 .

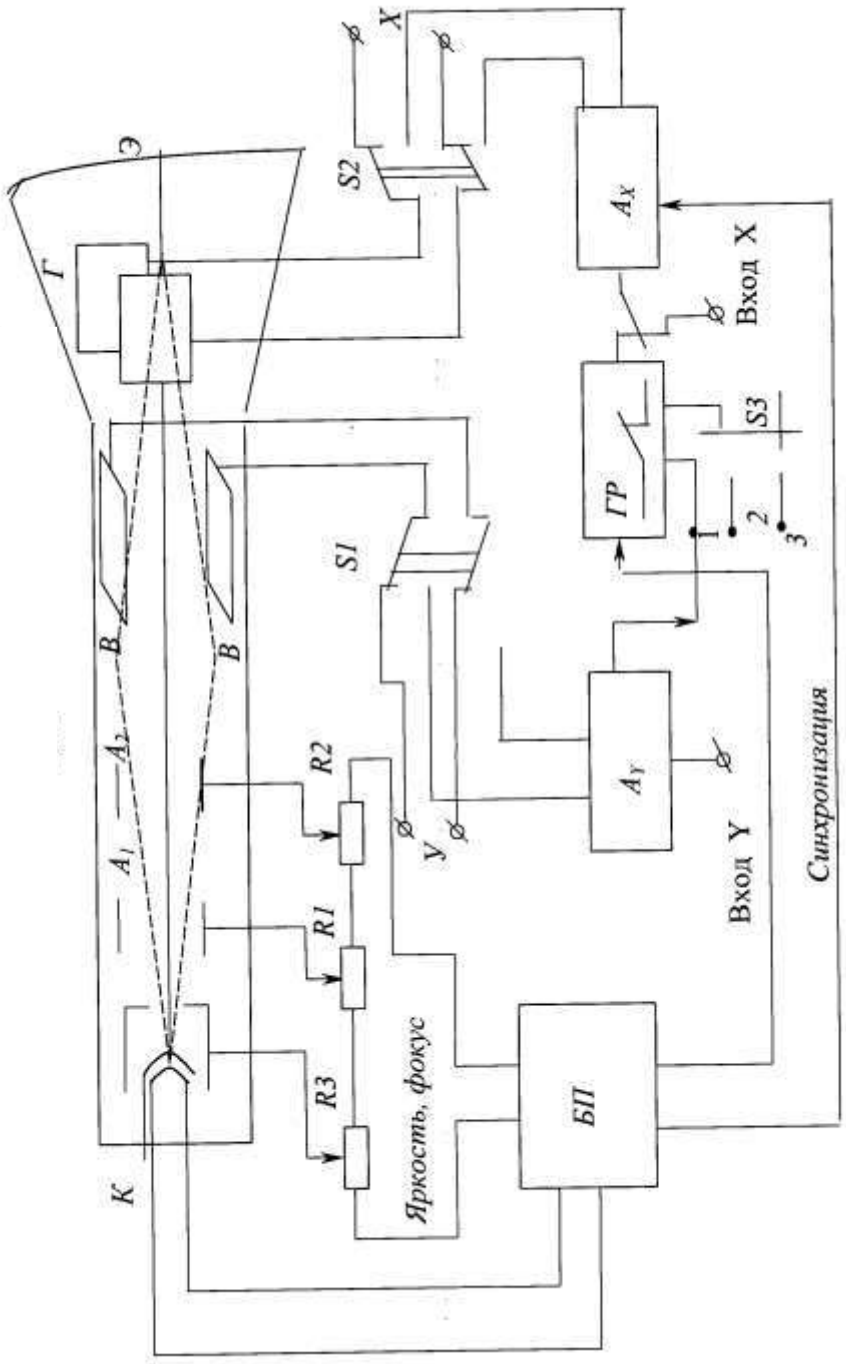
Для управления лучом, то есть положением светящегося пятна на экране *ЭЛТ*, предназначены две пары отклоняющих пластин (вертикальные *В-В* и горизонтальные *Г-Г*), размещенные в *ЭЛТ* во взаимно перпендикулярных плоскостях. На пластины *В-В* подают исследуемое напряжение, а на пластины *Г-Г* – пилообразное (развертывающее) напряжение от генератора развертки *ГР*.

Величина смещения луча *h* относительно центра экрана на *1В* напряжения, приложенного к отклоняющим пластинам, называется чувствительностью S_v электроннолучевой трубки и измеряется в *мм/В*:

$$S_V = \frac{h}{U}.$$

Генератор развертки предназначен для получения линейного периодически изменяющегося пилообразного напряжения. Только при наличии на пластинах *Г-Г* такого напряжения можно получить на экране осциллографа (в прямоугольных координатах) кривую изменения исследуемой величины в функции времени. Форма напряжения развертки представлена на рисунок 13.2.

За промежуток времени нарастания напряжения электронный луч перемещается по горизонтали торцевой части *ЭЛТ* слева направо. Этот период называется временем прямого хода луча $t_{пр}$. При достижении лучом крайнего правого по-


Э
Г
К
А1
А2
В
В
R1
R2
R3
S1
S2
S3
X
Y
АX
АY
ГР
БП
Вход X
Вход Y
Синхронизация
Яркость, фокус
1
2
3

ложения напряжение развертки резко изменяется, и луч возвращается в исходное левое положение. Время, за которое происходит возврат луча, называется временем обратного хода луча $t_{об}$.

Сумма $t_{пр} + t_{об} = T_{раз}$ представляет собой время (период) развертки.

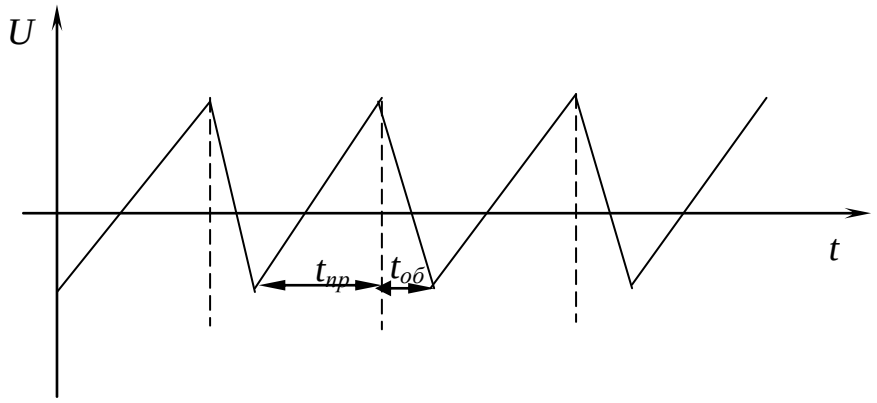


Рисунок 13.2 – Линейно изменяющееся напряжение развертки (пилообразное напряжение)

Для более четкого изображения на экране исследуемой кривой обратный ход луча специально гасят. Так как $t_{пр} >> t_{обр}$, то можно сказать, что время прямого хода луча равно периоду развертки, то есть

$$T_{раз} \approx t_{пр}.$$

В схемах развертки всегда предусматривается возможность регулирования частоты $f_p = \frac{1}{T_{раз}}$ в широких пределах.

Меняя частоту генератора развертки, добиваются синхронизации, то есть такого соотношения между частотой развертки и частотой исследуемой величины, при котором изображение получается неподвижным.

Чтобы напряжение исследуемой кривой на экране было неподвижным, необходимо обеспечить кратность k – отношение частоты изменения исследуемой величины f_x к частоте развертывающего напряжения f_p. Если $f_x = f_p$, то на экране получится неподвижное изображение одного периода исследуемой кривой, а если $f_x = k \cdot f_p$, k=0,5; 1,5; 2,5 и т.д., то на экране появляются неподвижные изображения одного, трех, пяти и т.д. полупериодов исследуемой величины. При отсутствии кратности отношения f_x и f_p изображение на экране будет перемещаться. Синхронную (согласованную) работу генератора развертки с исследуемыми сигналами обеспечивает схема синхронизации. Это дает возможность наблюдать на экране устойчивое изображение. Сигнал синхронизации подается или с усилителя вертикального отклонения (внутренняя), или с гнезда *1-Гн1* (внешняя), или от сети. Сигнал син-

хронизации с помощью специальной схемы преобразуется в импульсы, которые поступают на триггер управления разверткой.

Метрологические характеристики электронного осциллографа приводятся в заводских инструкциях по их эксплуатации.

Основными характеристиками являются максимальная чувствительность S_V, размеры рабочей части экрана, входное сопротивление усилителя вертикального отклонения $R_{вх}$, входная емкость $C_{вх}$, ширина линии луча, неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) усилителя вертикального (горизонтального) отклонения в рабочем диапазоне частот, погрешность измерения амплитуды сигнала, нелинейность амплитудной характеристики, диапазон измеряемых напряжений и другие.

Например, для осциллографа *С1-68*: максимальная чувствительность S_v*=10 мм/мВ*; экран *60 х 80 мм;* $R_{вх}$*=1МОм;* $C_{вх}$*=50 пФ;* ширина линии луча – не более *0,7 мм;* неравномерность АЧХ – не более *3 дБ* в диапазоне частот от *0* до *1МГц* и не более *4 %* в диапазоне от *0* до *200 кГц;* допустимое измеряемое напряжение *350 В;* нелинейность амплитудной характеристики – не более *5 %*.

Рассмотрим более подробно особенности амплитудной и амплитудно-частотной характеристик осциллографа. Амплитудной характеристикой называется зависимость величины отклонения луча от подводимого напряжения, то есть $A = \varphi(U)$ при $f = const$. Эта зависимость близка к прямой линии, проходящей через начало координат (рисунок 13.3). Некоторая нелинейность, возникающая из-за кривизны экрана и других причин, вызывает погрешность при измерениях.

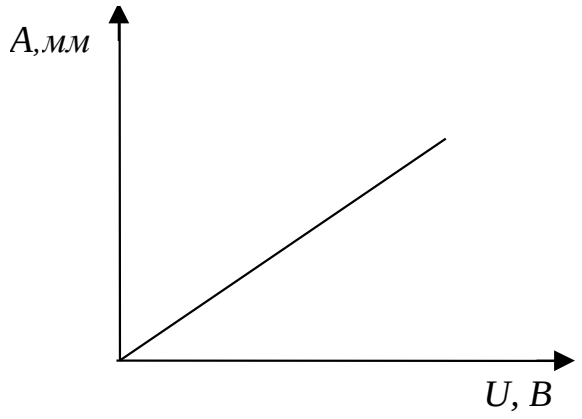


Рисунок 13.3 – Амплитудная характеристика

Амплитудно-частотной характеристикой называется зависимость отклонения луча от частоты при постоянном значении амплитуды сигнала, то есть $A = \varphi(f)$ при $U_m = const$.

Так как диапазон рабочих частот осциллографа очень широк, например, *0 – 1 МГц*, то по оси абсцисс обычно откладывают частоту в логарифмическом масштабе, то есть частотам в *1, 10, 100, 1000 Гц* соответствуют деления *0, 1, 2, 3* (рисунок 13.4).

По оси ординат откладывают отклонение луча на экране в абсолютных единицах *А· мм*, или в относительных $A/A_o \cdot 100\%$, где *Ао* – значение ординаты при

$f = f_o = 0$ или при $f_o << f_{max}$, где f_{max} – максимальная рабочая угловая частота (например, $f_o = 1$ *кГц*).

Удобнее применять логарифмические амплитудно-частотные характеристики (*ЛАЧХ*). В этом случае по оси ординат откладывают величину $L_{(10)}=20 \cdot lg \frac{A}{A_0}$. Единицей измерений в этом случае будет децибел.

Диапазон частот, в пределах которого амплитуда изменяется не более чем в $\sqrt{2}$ раз, называется полосой пропускания. Это соответствует отклонению ЛАЧХ от горизонтали на *3 дБ*, так как $20lg\sqrt{2} = 20 \cdot 0{,}15 = 3 дБ$.

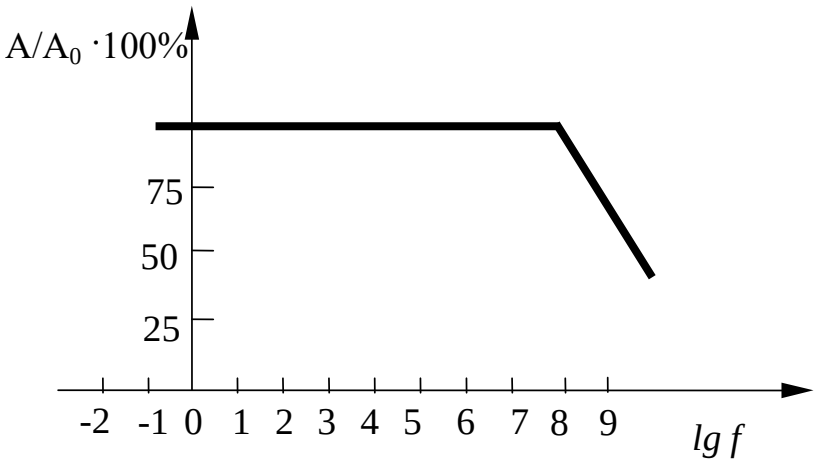


Рисунок 13.4 – Амплитудо - частотная характеристика.

13.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

В осциллографе имеются напряжения, опасные для жизни, поэтому категорически запрещается работа с прибором при снятом защитном кожухе. При измерениях в схеме питания электронно-лучевой трубки следует пользоваться высоковольтным пробником, так как на ускоряющем электроде имеется напряжение выше *1000 В*, которое сохраняется и после выключения прибора в течение нескольких минут.

Металлические корпуса всех приборов должны быть соединены проводниками и иметь один и тот же потенциал. Следует также строго выполнять общие правила выполнения работ в электролаборатории.

13.6. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

13.6.1. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать их

паспортные данные в таблицу. Особенно тщательно ознакомиться с назначением и расположением ручек управления, тумблеров и других элементов на лицевой панели осциллографа (см. инструкцию).

13.6.2. Подключить стабилизатор и электронный вольтметр к розеткам сети, а осциллограф и генератор сигналов – к выходу стабилизатора. Включить тумблеры “сеть” для прогрева приборов.

13.6.3. Снять амплитудную характеристику вертикально отклоняющихся пластин осциллографа. Для этого сделать следующее:

- с выхода генератора подать напряжение частотой *1000 Гц* непосредственно на вертикально отклоняющиеся пластины «Y» (на левой стороне осциллографа);
- параллельно выходным зажимам генератора подключить электронный вольтметр;
- плавно повышая напряжение на выходе генератора, снять зависимость величины отклонения луча A_Y от подводимого напряжения;

13.6.4. Снять амплитудно-частотную характеристику вертикально отклоняющихся пластин. Для этого, регулируя частоту генератором и поддерживая напряжение постоянным, снять зависимость отклонения луча *Ay* от частоты f при $U = const$.

13.6.5. Аналогично описанному в п. 13.6.4. снять амплитудную и амплитудно-частотную характеристики горизонтально отклоняющихся пластин (гнезда расположены на правой стороне осциллографа).

13.6.6. Измерить амплитуду и определить действующее значение сигнала, заданного преподавателем. Для этого исследуемый сигнал подать на вход «*Y*», ручку «усиление *Y*» поставить в крайнее правое положение, установить переключатель «*V/см, mV/см*» в такое положение, при котором изображение находится в рабочей части экрана, но не менее *2 см*. При помощи ручек « » и «↔» расположить изображение по центру экрана и отсчитать размер изображения по вертикали. Величина сигнала равна произведению измеренной величины, коэффициента отклонения (*V/см, mV/см*) и множителя «×*1*-×*10*».

Сравнить результат с показаниями электронного вольтметра. Определить относительную погрешность измерений.

13.6.7. Измерить период сигнала, заданного преподавателем. Для этого малую ручку «*Длительность*» поставить в правое крайнее положение, включить развертку, поставить большую ручку «*Длительность*» в положение, при котором измеряемый сигнал занимает на экране не менее *30мм* по горизонтали и содержит один или два периода колебаний. Измеряемый временной интервал равен произведению длины интервала по горизонтали, отметки переключателя длительности развертки и множителя «×*1* - ×*0,2*». В данном случае временным интервалом является период T, зная который можно определить частоту $f = \frac{1}{T}$.

Другим методом определения частоты является метод сравнения неизвестной частоты с эталонной по фигурам Лиссажу. В этом случае на усилитель вертикального отклонения *(«вход»* ⊖ *M Ω50 pF)* подают сигнал, частоту которого надо измерить, а на усилитель горизонтального отклонения (*«вход»*⊖ *X*) – сигнал генератора образцовой частоты.

При сближении частот на экране появляется эллипс, остановка которого показывает на полное совпадение частот. При кратном соотношении частот на экране получается более сложная фигура, причем частота по вертикали так относится к частоте по горизонтали, как число точек касаний фигуры к касательной по вертикали.

В качестве сигнала образцовой частоты можно использовать напряжение от лабораторного автотрансформатора (не более *10 В*).

13.7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать название работы и ее цель; паспортные данные приборов; таблицы измерений; амплитудные и амплитудно-частотные характеристики вертикальных и горизонтальных пластин осциллографа; выводы по каждому пункту работы.

13.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова область применения электронных осциллографов?
2. Из каких основных узлов состоит электронный осциллограф?
3. Опишите устройство и принцип работы осциллографа.
4. Что такое чувствительность осциллографа?
5. Зачем в осциллографе применяется генератор пилообразного напряжения?
6. Что называется амплитудной характеристикой осциллографа? Амплитудно-частотной? Логарифмической амплитудно-частотной?
7. Какова полоса пропускания у исследуемого Вами осциллографа?
8. Как измерить амплитуду сигнала с помощью осциллографа?
9. Как измерить временной интервал с помощью осциллографа?

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ (Инструкция)

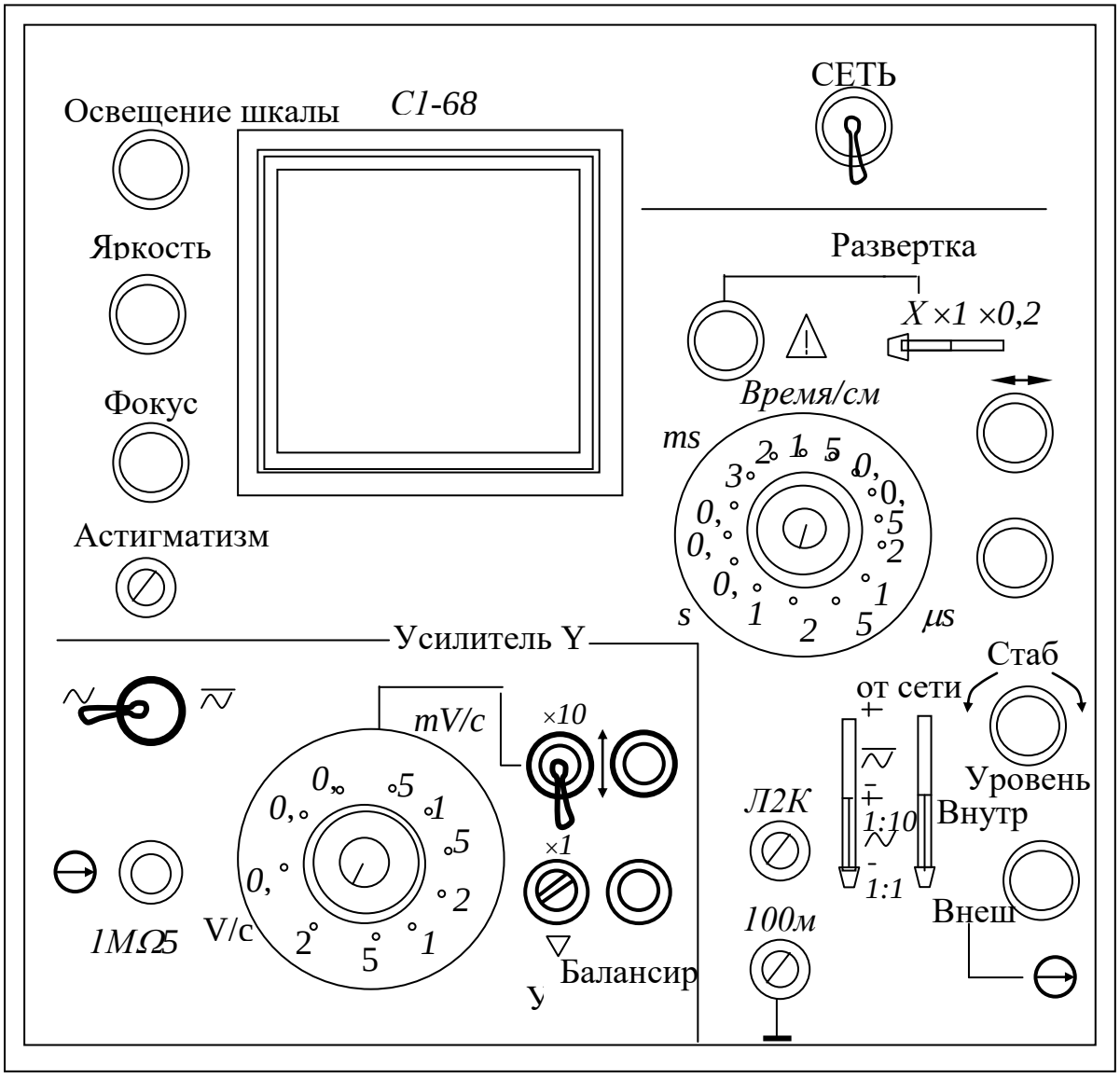
Осциллограф представляет собой настольно-стоечный прибор, выполненный в унифицированном малогабаритном корпусе. На рисунке представлена передняя панель прибора.

НАЗНАЧЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ.

Органы управления на лицевой панели:

- тумблер «сеть» – для включения и выключения прибора;
- ручка «яркость» – для установки необходимой яркости луча;
- ручка «фокус» – для фокусировки луча *ЭЛТ*;

Панель управления. Вид общий



- шлиц «астигматизм» – для устранения астигматизма *ЭЛТ*;
- ручка «освещение шкалы» – для регулировки освещения шкалы.

УСИЛИТЕЛЬ «*Y*»

- ручка переключателя “~” ~”~” – для выбора входа усилителя;
- гнездо *1MΩ50pF* – для подачи исследуемого сигнала на усилитель;

- большая ручка переключателя «*V/cm, mV/cm*» – для переключения входного аттенюатора;

- малая ручка переключателя «*УСИЛЕНИЕ*» – для плавной регулировки чувствительности усилителя;

- ручка, обозначенная «» – для перемещения луча по вертикали;

- ручка «*Балансир*» – для балансировки усилителя;

- шлиц «▼» – для калибровки чувствительности усилителя;

- тумблер, обозначенный «*×1-×10*» – для загрубения чувствительности усилителя.

РАЗВЕРТКА:

- переключатель «*; ×1*; *×0,2*» – для пятикратного растяжения и подключения входа *X*;

- гнездо « *X*» – для подачи внешнего сигнала на входной усилитель горизонтального отклонения;

- ручка «» –для перемещения луча по горизонтали;

- большая ручка сдвоенного переключателя «*Время/см*» и малая ручка «*Длительность*» – для регулировки длительности развертки;

- ручка «*СТАБ.*» – для выбора режима работы генератора развертки (ждущий, автоколебательный).

СИНХРОНИЗАЦИЯ:

- ручка переключателя вида синхронизации «*ОТ СЕТИ*, *ВНУТР.*, *ВНЕШ., 1:1, 1:10* – для установки открытого и закрытого входа синхронизации и выбора ее полярности;

- ручка «*ВНЕШ.»* – для подачи внешнего сигнала синхронизации.

Кроме этого, на переднюю панель выведено гнездо калибратора «*Ω2кHz 100мV*», а также зажим «».

- ручка «*УРОВЕНЬ*» - для выбора уровня развертки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: учебник для студентов высших учебных заведений / Г.Д. Крылова. – 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: ЮНИТИ, 2012. - 671 с.
2. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов высших учебных заведений / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – 3-е изд. доп. — М.: Высшая школа, 2006. — 800 с.
3. Виноградова Л.И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / Л.И. Виноградова. – Красноярск: КрасГАУ, 2011. – 148 с.
4. Моренко С.А. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / С.А. Моренко. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – 232 с.
5. Тамахина А.Я. Стандартизация, метрология, подтверждение соответствия. Лабораторный практикум: учебное пособие / А.Я. Тамахина, Э.В. Бесланеев. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 320 с.
6. Кравцов А.В. Метрология и электрические измерения.: Уч. пособие /А.В. Кравцов. – 2-е изд., переаб. и доп. – М.: Колос, 1999. – 216 с.
7. Котур В. И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы /В. И. Котур, М.А. Сложная, Н.Н. Храмова. – М: Колос, 1986. – 400 с.
8. Кравцов А.В. Электрические измерения / А.В. Кравцов, Ю.В. Рыбинский. – М.: Колос, 1979. – 351 с.
9. Крылова Г.Р. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов / Г.Р. Крылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. –711 с.
10. Любимов Л.И. Электрические измерения /Л.И. Любимов. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 318 с.
11. Демидова В.Н. Электрические измерения /В.Н. Демидова: Под ред. В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат,1985. – 416 с.
12. Осциллограф универсальный С1-68. Техническое описание и инструкция по эксплуатации И22.044.077ТО, 1979. – 132 с.
13. Счетчики электрические. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Ломоносов, 1990. – 125 с.
14. Электрические измерения / Е.М.Душина: Под ред. А.В.Фремке. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.

Мартынов Александр Петрович
кандидат технических наук, доцент

Токарева Анна Николаевна
кандидат технических наук, доцент

Демченко Мария Станиславовна
кандидат технических наук, доцент

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ АПК

Учебно-методическое пособие

Издается в авторской редакции

Объем ЭИ: 1,97 Мб
Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF)