

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### Правила внутреннего распорядка

1. Лабораторные работы выполняются в соответствии с графиком учебного процесса, который доводится до студентов в начале каждого семестра.

2. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности.

3. Лабораторные работы выполняются бригадами по 2-3 человека.

4. Каждый студент должен заранее подготовиться к очередному занятию в лаборатории, а требуемые схемы, расчеты, таблицы и пояснения по выполнению лабораторной работы необходимо занести в черновую тетрадь. Неподготовленные студенты к выполнению лабораторных работ не допускаются.

5. Перед выполнением работы старший в бригаде получает у лаборанта комплект наборных элементов и необходимую электроизмерительную аппаратуру, за которую несет полную ответственность, и после окончания работы сдает их лаборанту.

6. Во время занятий в лаборатории должны поддерживаться надлежащий порядок и деловая обстановка. Ответственность за поддержание порядка несет староста группы и дежурный студент.

7. При выполнении лабораторных работ требуется неукоснительное выполнение правил техники безопасности.

8. После выполнения работы каждый студент должен получить подпись преподавателя в черновой тетради, удостоверяющую правильность измерений, и разрешение на разборку схемы. В случае получения неправильных результатов, студент выполняет измерения повторно, для получения правильного результата.

В отчете результаты вычислений представляются в виде таблицы, приводятся примеры расчетов для одной строки таблицы. Формулы записываются в буквенном виде, затем подставляются данные и приводится результат вычисления с указанием единиц измерения величин. Все единицы физических величин выражаются в системе СИ. Графики выполняются в масштабе с указанием размерностей по осям, экспериментально полученные точки наносятся в виде небольших кружочков

Особое внимание студенты должны уделять заключению по выполненной работе, где требуется сопоставить результаты экспериментальных исследований с известными соотношениями из изучаемого курса, указав причины наблюдаемых отклонений.

Отчет, составленный с соблюдением всех перечисленных требований, вместе с черновым протоколом по работе представляется на следующем лабораторном занятии.

9. Пропущенные лабораторные работы отрабатываются во внеурочное время согласно установленному графику.

### Правила техники безопасности

Практически все напряжения, с которыми приходится иметь дело в лабораториях кафедры электромеханики и ТОЭ, являются опасными для жизни человека, поэтому при выполнении лабораторных работ необходимо строго выполнять следующие правила безопасности.

1. Электрические цепи должны собираться только при отключенном источнике питания.

2. Собранный схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом. Включать схему можно только с их разрешения.

3. Перед включением электрической цепи все её элементы (реостаты, регулируемые источники, реактивные катушки и т.д.) должны находиться в таком положении, чтобы ток при включении схемы был наименьшим.

4. Все студенты должны быть ознакомлены с системой аварийного отключения источников.

5. В лаборатории запрещается:

5.1. Включать схему без предупреждения. Перед включением необходимо громко сказать: «Подаю напряжение!».

5.2. Прикасаться к незаизолированным частям установки, находящейся под напряжением.

5.3. Производить пересоединения в электрической цепи, находящейся под напряжением. После любых пересоединений цепь проверяется преподавателем или лаборантом.

5.4. Загромождать лабораторные столы посторонними предметами: приборами и аппаратами, не предназначенными для выполнения данной работы, лишними соединительными проводами, сумками, книгами и т.д.

5.5. Оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

5.6. Разбирать электрическую цепь с конденсатором после её отключения от источника без предварительного разряда конденсатора.

5.7. Включать электрическую цепь в случае, когда один из концов монтажных проводов остается свободным.

6. В случае аварии на рабочем месте (повреждение приборов, перегорание предохранителей и т.п.) студент обязан немедленно отключить питание на рабочем месте и сообщить преподавателю о случившемся.

7. В случае попадания кого-либо под напряжение необходимо отключить питание на рабочем столе (или нажать кнопку аварийного отключения всей лаборатории), оказать первую помощь пострадавшему и немедленно вызвать скорую помощь.

### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ШКАЛАХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТ 22261-82 на электроизмерительные приборы должны быть нанесены наименование и тип прибора, товарный знак завода-изготовителя, заводской номер и год выпуска, а также другие обозначения, указывающие на основные метрологические характеристики, условия эксплуатации и др.

Обозначение типа электроизмерительного прибора состоит из буквенного индекса и следующих за ним цифр. Буквенный индекс характеризует систему прибора.

Для основных типов аналоговых измерительных приборов приняты следующие буквенные индексы:

М - приборы магнитоэлектрической системы;

Э - электромагнитные приборы.

Д - электродинамические и ферродинамические приборы;

С - приборы электростатической системы, а также электронно-лучевые осциллографы;

И - индукционные приборы;







Ц – выпрямительные приборы.

Ф - электромеханические приборы с электронными усилителями;

Н - самопишущие приборы.

Основные условные обозначения по ГОСТ 23217-76, наносимые на шкалах приборов, приведены в таблице.

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Наименование	Условные обозначения
1	2
<b>1. Род тока</b>	
Ток постоянный	—
Ток переменный (однофазный)	~
Ток трехфазный переменный (общее обозначение)	≈
<b>2. Безопасность</b>	
Напряжение испытательное 500 В	
Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)	
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
<b>3. Используемое положение прибора</b>	
Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	

Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	N
4. Общие условные обозначения	
Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Логометр магнитоэлектрический	
Прибор магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
Прибор электромагнитный	
Логометр электромагнитный	
Прибор электродинамический	
Прибор ферродинамический	
Логометр электродинамический	
Логометр ферродинамический	
Прибор индукционный	
Прибор электростатический	
Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем (выпрямительный прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с не изолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с изолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем в измерительной цепи (электронный прибор)	
Экран электростатический	
Экран магнитный	
Зажим для заземления	
Корректор	
Основные условия эксплуатации (ссылка на инструкцию к прибору)	
5. Классы точности	
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения измеряемой величины (при преобладающей аддитивной погрешности)	1,5
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения, определяемого длиной шкалы (для приборов с резко неравномерной шкалой)	
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (при преобладающей мультипликативной погрешности)	
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (при соизмеримых аддитивной и мультипликативной погрешностях)	0,5 / 0,2

Условные обозначения позволяют определить основные характеристики приборов. Поэтому перед выполнением каждой лабораторной работы условные обозначения всех используемых в ней средств измерений необходимо тщательно изучить и занести в таблицу приборов.

ЭСиС-08а-4	Отчет о лабораторной работе № I	Петров К.И.
------------	---------------------------------	-------------

## Проверка технических приборов

## 1. Цель работы

Ознакомление с методикой поверки технических приборов и определение их основных характеристик.

## 2. Оборудование и приборы

Таблица 1

## Перечень использованных приборов

Наименование	Тип	Заводской номер	Система		Класс точности	Род тока	Диапазон измерения	Цена деления	Рабочее положение	Испытательное напряжение, кВ
			Название	Условное обозначение						
1. Амперметр	Э378	34101	ЭМ		1,5		1 -5 А	0,2 А/дел		2

## 3. Содержание работы

- 3.1. Определение основных погрешностей.
- 3.2. Определение времени установления показаний.
- 3.3. Определение потребляемой мощности.
- 3.4. Определение сопротивления изоляции прибора.

## 4. Схемы испытаний

## 5. Результаты измерений и вычислений

## 6. Анализ полученных результатов и краткие выводы.

Выполнил	Проверил	Лист	Листов	Подпись
Петров К.И.	Васильев Л.А.	1	3	

## Лабораторная работа 1

## ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Цель работы: ознакомление с методикой поверки и определение основных характеристик амперметра.

## Оборудование и приборы

В работе используются технический амперметр электромагнитной систем класса точности 1.5 и образцовый амперметр электродинамической систем класса точности 0.2, реостаты, понижающий трансформатор напряжения, секундомер, мегомметр, милливольтметр.

## Содержание работы

1. Определение основных погрешностей.
2. Определение времени установления показаний.
3. Определение потребляемой прибором мощности.
4. Определение сопротивления изоляции прибора.

## Пояснения к работе

Средства измерений всегда должны быть готовы к использованию по назначению, обеспечивать единство и достоверность измерений. В процессе использования электроизмерительного прибора точность и постоянство его показаний не остаются постоянными (в силу изменения ряда факторов). Поэтому согласно ГОСТ 8.002-71 все средства измерения подлежат обязательной периодической поверке. При поверке определяются наиболее важные характеристики приборов (основные погрешности, время установления, прочность изоляции, собственное потребление мощности).

По результатам поверки делается вывод о пригодности прибора для дальнейшего использования.

Рассмотрим основные характеристики электроизмерительных приборов.

## 1. Основные погрешности и их определение

В зависимости от назначения, показывающие измерительные приборы подразделяются на образцовые и рабочие.

Результат измерения физической величины независимо от того, какими бы приборами не производились измерения и как бы тщательно они не выполнялись, всегда отличаются от истинного значения на некоторую величину, называемую погрешностью измерения.

Абсолютная погрешность прибора  $\Delta$  есть разность между показанием прибора  $X_n$  и действительным значением  $X$  измеряемой величины, т.е.

$$\Delta = X_n - X \quad (1.1.)$$

Относительная погрешность прибора  $\delta$  представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta = \frac{X_n - X}{X} 100 \% = \frac{\Delta}{X} 100 \% \quad (1.2.)$$

Приведенная погрешность  $\gamma$  есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности  $\Delta$  к нормирующему значению  $X_n$ :

$$\gamma = \frac{X_n - X}{X_n} 100 \% = \frac{\Delta}{X_n} 100 \% \quad (1.3)$$

Нормирующим значением называется условно принятое значение, которое в приборах с односторонней шкалой равно обычно верхнему пределу измерений.

Погрешность измерения может не зависеть от значения измеряемой величины или изменяться при изменении последней. Постоянную составляющую погрешности измерения называют аддитивной погрешностью, а переменную составляющую, пропорциональную измеряемой величине, мультипликативной погрешностью.

Наличие трения в опорах, а также износ кернов, подшипников и другие причины приводят к вариациям в показаниях прибора.

Вариация показаний прибора - это наибольшая возможная разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины. Она определяется при плавном подходе стрелки к испытываемой отметке шкалы при движении ее первый раз от начальной, а во второй раз от конечной отметок шкалы.

Значение погрешности зависит от условий измерения (температуры, давления, влажности и т.п.).

Основная погрешность - это погрешность при нормальных условиях эксплуатации прибора.

Погрешности, обусловленные отклонением внешних условий от нормальных, называются дополнительными. Наибольшая погрешность, при которой прибор может быть признан годным и допущен к применению, называется пределом допустимой погрешности.

Для большинства электрических средств измерений, используемых в статическом режиме, пределы допускаемых погрешностей нормируют. Вопросы нормирования погрешностей рассмотрены в ГОСТ 8.401-80 «Классы точности средств измерений. Общие требования».

Согласно ГОСТ 8.401-80 приборам присваивается определенный класс точности. Класс точности - это обобщенная характеристика прибора, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей.

Способ обозначения класса точности определяется характером зависимости погрешностей прибора от значения измеряемой величины.

У большинства показывающих стрелочных и самопишущих приборов преобладает аддитивная составляющая погрешности, в частности погрешность от трения и погрешность отсчета, которые постоянны по всей шкале прибора, т.е.  $\Delta = const$ . Относительная погрешность этих приборов возрастает с уменьшением измеряемой величины. Поэтому класс точности для этих приборов устанавливается по приведенной погрешности, которая неизменна во всем диапазоне измерения, и выражается одним числом.

Число, обозначающее класс точности, определяет предел допускаемой приведенной основной погрешности. Например, для прибора класса 0,2 численное значение наибольшей основной приведенной погрешности не должно превышать 0,2%.

Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой (например, омметров) нормирующее значение  $X_n$ , по которому рассчитывают приведенную погрешность, устанавливают равным всей длине шкалы или ее части (в мм), соответствующей диапазону измерений. Класс точности таких приборов обозначают одним числом, отчерченным снизу уголком, например,  $\underline{1,0}$ .

Имеются средства измерений, у которых погрешность измерения изменяется пропорционально измеряемой величине, т.е. преобладает мультипликативная погрешность.

Для обозначения класса точности в этом случае используется одно число, помещенное в кружок, например,  $\textcircled{1,0}$ . Класс точности здесь определяет предел допускаемой относительной основной погрешности.

Если же аддитивная и мультипликативная погрешности соизмеримы (как у цифровых приборов), то класс точности обозначается в виде двух чисел, разделенных дробной чертой, например, 1,0/0,5. При этом также нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности, только эта погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \frac{X_n}{X} - 1 \right) \right] \quad (1.4)$$

где:  $c$  - число над дробной чертой ;  $d$  - число под дробной чертой в обозначении класса точности.

Соответствие классу точности устанавливается путем определения основных погрешностей, т.е. погрешностей при нормальных условиях применения. Основные погрешности обычно определяются методом сличения, при котором показания поверяемого рабочего прибора сравниваются с показаниями более точного, образцового прибора. Точность образцового прибора всегда должна превышать точность поверяемого не менее, чем в 3 раза. В этом случае погрешностью образцового прибора можно пренебречь, а его показания принимаются за действительное значение измеряемой величины.

В качестве образцовых приборов при постоянном токе применяются приборы магнитоэлектрической системы, а при переменном токе - электродинамической.

## 2. Время установления показаний

Быстродействие стрелочных приборов характеризуется временем установления показаний, под которым понимают промежуток времени от момента изменения измеряемой величины до того момента, когда стрелка прибора удаляется от установившегося положения на величину, не превышавшую 1% длины шкалы.

У абсолютного большинства аналоговых приборов время установления показаний не должно превышать 1 с. Исключение составляют термоэлектрические и электростатические приборы, для которых наибольшее время установления показаний не превышает 6с.

### 3. Потребляемая мощность

Одним из важных показателей измерительного прибора, хотя и ненормируемым ГОСТом, является величина потребляемой им мощности.

При включении электроизмерительного прибора в цепь, находящуюся под напряжением, прибор потребляет от этой цепи некоторую мощность. В большинстве случаев эта мощность мала с точки зрения экономии электроэнергии. Но при измерении в маломощных цепях в результате потребления мощности может изменяться режим работы цепи, что может привести к увеличению погрешности измерения.

Определение, потребляемой амперметром мощности производится при номинальном токе поверяемого прибора с помощью подключенного к его зажимам вольтметра. Вольтметр для измерения падения напряжения на зажимах амперметра должен иметь достаточно малый предел измерения и большое внутреннее сопротивление. Наиболее пригодны для этой цели электронные, цифровые или выпрямительные вольтметры.

Потребляемая прибором мощность находится по формуле:

$$P = I_n^2 R_{np}$$

где:  $R_{np}$  - внутреннее сопротивление поверяемого прибора, вычисленное по показаниям амперметра и вольтметра.

В соответствии «ГОСТ 22261-82 сопротивление изоляции между корпусом и изолированными по постоянному току электрическими цепями при номинальных условиях температуры и влажности должно быть не менее 40 МОм при рабочих напряжениях до 1000 В.

Измерение сопротивления изоляции производится мегомметром с номинальным напряжением 500В.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, применяемыми в настоящей работе, записать их паспортные данные в таблицу приборов.
2. Собрать схему поверки.

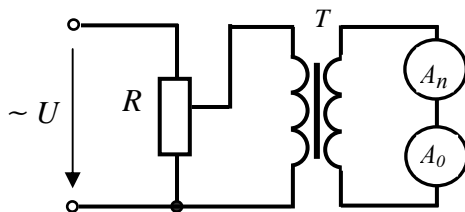


Рис.1.1 Схема поверки амперметра

3. Подать напряжение на схему поверки. Перемещая движок реостата, плавно переместить стрелку прибора от нулевого положения до максимального и обратно и убедиться в отсутствии трения стрелки.

4. Прогреть прибор номинальным током. После выключения схемы проверить, находится ли указатель на нулевой отметке шкалы. В случае необходимости с помощью корректора установить указатель на нулевую отметку.

5. Указатель испытуемого прибора установить последовательно на всех числовых отметках шкалы, сначала при возрастании измеряемого тока от нуля до наибольшего значения по шкале, а затем по тем же точкам при убывании от наибольшего значения по шкале до нуля. При этом необходимо следить за тем, чтобы указатель подходил к числовой отметке только с одной стороны. По образцовому прибору определить действительное значение измеряемой величины на этих отметках.

6. Результаты наблюдений и вычислений погрешностей записать в табл. 1.1. Вариацию показаний  $\gamma_{вар}$  и поправку  $-\Delta$  вычислить по формулам:

$$\gamma_{вар} = \frac{I_{0\text{ возр}} - I_{0\text{ убыв}}}{I_n} 100\% \quad - \Delta = I_0 - I_n$$

При вычислении приведенной погрешности и поправки для каждой пары абсолютных погрешностей следует выбирать большее значение.



Таблица 1.1

Показания поверяемого амперметра, А	Показания образцового амперметра, А		Абсолютные погрешности, А		Относительные погрешности, %		Приведенная погрешность, %	Вариация показаний, %	Поправка, А
	$I_0 \text{ возр}$	$I_0 \text{ убыв}$	$\Delta \text{ возр}$	$\Delta \text{ убыв}$	$\delta \text{ возр}$	$\delta \text{ убыв}$			
$I_n$							$\gamma$	$\gamma_{\text{вар}}$	- $\Delta$

7. Определить время установления показаний поверяемого прибора на числовой отметке в середине шкалы. Включить одновременно схему и секундомер, выключить секундомер в момент времени, когда амплитуда колебаний стрелки станет менее 1% длины шкалы. Опыт повторить три раза. Результаты наблюдений и вычислений записать в табл. 1.2.

8. Методом амперметра и вольтметра при номинальном токе поверяемого прибора измерить его сопротивление. Результаты наблюдений и расчетов записать в табл. 1.2.

9. Измерение сопротивления изоляции. Зажим “линия” мегомметра соединить с одним из зажимов поверяемого прибора, а зажим “земля” - с корпусом прибора. Вращая, равномерно, ручку генератора мегомметра со скоростью 90-120 об/мин, произвести отсчет по шкале. Результаты наблюдений записать в табл. 1.2

Таблица 1.2

#### Определение характеристик прибора

Время успокоения, с				Сопротивление и потребляемая мощность поверяемого прибора				Сопротивление изоляции
$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{\text{ср}}$	$I, A$	$U, B$	$R_{\text{нр}}, Ом$	$P_{\text{нр}}, Вт$	$R_{\text{из}}, МОм$

#### Содержание отчета

1. Схема поверки прибора.
2. Таблица результатов измерений и вычислений.
3. График поправок (экспериментальные точки соединить прямыми линиями).
4. Анализ полученных результатов и вывод об их соответствии требованиям ГОСТ.
5. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

#### Контрольные вопросы

1. С какой целью производится периодическая поверка приборов? Какие характеристики определяются при поверке?
2. Как рассчитываются абсолютные, относительные и приведенные погрешности?
3. Дайте определение аддитивной и мультипликативной погрешностей.
4. Дайте определение основной и дополнительной погрешностей.
5. Что называется классом точности средств измерений? Какие имеются способы установления класса точности электроизмерительных приборов?
6. Класс точности прибора 1,5. Что определяет это число?
7. Как определяется время установления показаний?
8. Как определяется собственная потребляемая мощность прибора?
9. С какой целью измеряют сопротивление изоляции прибора?
10. Дайте определение вариации показаний.

## Лабораторная работа 2

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение методов обработки и представления результатов однократных измерений на примере измерения сопротивления реостата.

## Оборудование и приборы

В работе используются; миллиамперметр, вольтметры Э505 (Э59), М2004, реостат 100...800 Ом, источник постоянного напряжения.

## Содержание работы

- I. Определить сопротивление реостата с помощью косвенных измерений.
  - произвести измерение по схеме амперметр после вольтметра.
  - произвести измерение по схеме амперметр до вольтметра.
  - для каждого из указанных случаев предусмотреть два варианта измерения напряжения:
    - вольтметром электромагнитной системы, с относительно небольшим внутренним сопротивлением.
    - вольтметром магнитоэлектрической системы, с большим внутренним сопротивлением.
2. Определить инструментальную и методическую погрешности измерения сопротивления и представить полученные результаты для каждого из случаев.
3. Обработать и сравнить полученные результаты измерений по ГОСТ 8.011-72.

## Пояснения к работе

Любой результат измерений содержит погрешность. В электрических измерениях различают инструментальную погрешность, которая носит случайный характер и методическую погрешность, которая носит систематический характер.

Инструментальная погрешность - это погрешность, присущая самому средству измерений, т.е. тому прибору или преобразователю, с помощью которого выполняется измерение. Причинами инструментальной погрешности могут быть неидеальность характеристики средства измерений, влияние окружающей среды на эту характеристику и т.д.

Методическая погрешность появляется вследствие несовершенств метода измерения: несоответствия измеряемой величины и ее модели, принятой при измерении; влияния средства измерений на объект измерения и процессы, происходящие в нем.

Так, напряжение на выходе выпрямителя считается постоянным и может быть измерено, например, магнитоэлектрическим или электродинамическим вольтметром. Однако, если в измеряемом напряжении есть переменная составляющая (пульсации), то показания вольтметров будут различными, поскольку они по-разному будут реагировать на эти пульсации. Показания вольтметров будут различны из-за несовершенства приборов из-за того, что при измерении было принято за постоянное напряжение, не являющееся таковым.

Примерами влияния приборов на объект измерения могут служить временное включение амперметра (рис. 2.1) или вольтметра (рис.2.2) при прямых измерениях. Измеренные значения тока или напряжения будут меньше действительных значений.

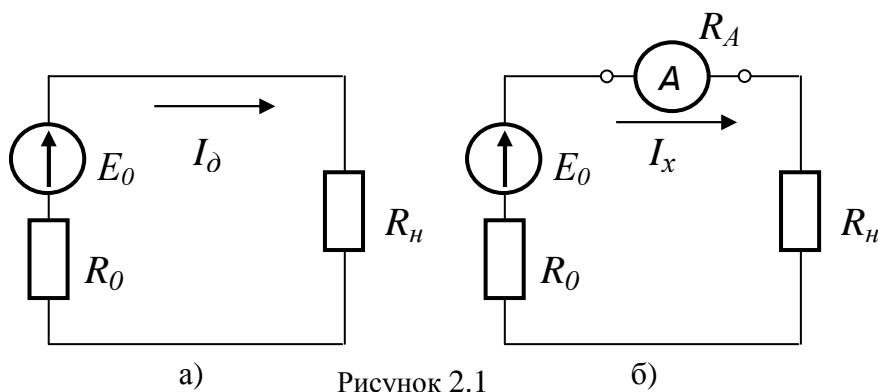


Рисунок 2.1

Для измерения тока, протекающего через нагрузку  $R_n$  включен амперметр. Рассчитаем методическую погрешность при временном включении амперметра.

Действительное и измеренное значения тока (в схеме 2.1 а и б) определяются законом Ома:

$$I_{\partial} = \frac{E_0}{R_0 + R_H}$$

$$I_x = \frac{E_0}{R_0 + R_A + R_H}$$

Тогда абсолютная методическая погрешность:

$$\Delta_M = I_x - I_{\partial} = \left( \frac{-E_0}{R_0 + R_A + R_H} \right) \left( \frac{R_A}{R_0 + R_H} \right)$$

Относительная методическая погрешность:

$$\delta_M = \frac{\Delta}{I_{\partial}} 100\% = - \frac{R_A}{R_0 + R_A + R_H} 100\%$$

Если принять  $R_H \gg R_0$  и  $R_H \gg R_A$  тогда

$$\delta_M = - \frac{R_A}{R_H} 100\%$$

Для измерения напряжения на нагрузке  $R_H$  включен вольтметр. Рассчитаем методическую погрешность при временном включении вольтметра.

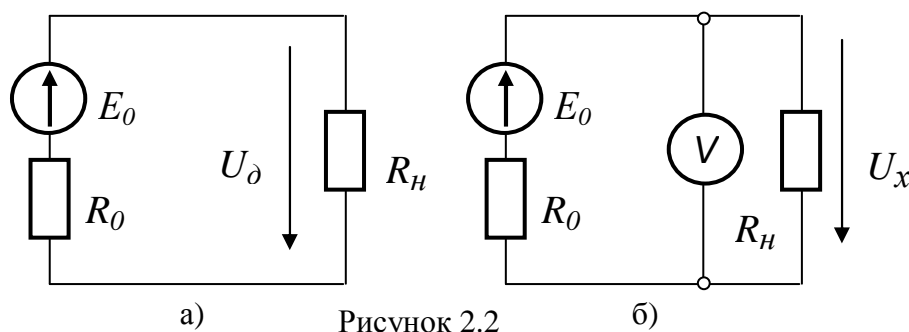


Рисунок 2.2

Действительное и измеренное значение напряжения на нагрузке (в схеме 2.2 а и б) имеют вид;

$$U_{\partial} = \frac{E_0 R_H}{R_0 + R_H}$$

$$U_x = \frac{E_0 R_H R_v}{R_0 R_H + R_0 R_v + R_H R_v}$$

Тогда абсолютная методическая погрешность:

$$\Delta_M = U_x - U_{\partial} = \left( \frac{-E_0 R_H R_0}{R_0 R_H + R_0 R_v + R_H R_v} \right) \left( \frac{R_0}{R_0 + R_H} \right)$$

Относительная методическая погрешность:

$$\delta_M = \frac{\Delta}{U_{\partial}} 100\% = - \frac{R_0 R_H}{R_0 R_H + R_0 R_v + R_H R_v} 100\%$$

Если принять  $R_v \gg R_0$  и  $R_H \gg R_0$  тогда

$$\delta_M = - \frac{R_0}{R_v} 100\%$$

При измерении сопротивления резистора косвенным методом с помощью вольтметра и амперметра используют две схемы: амперметр после вольтметра и амперметр до вольтметра (рис.2.3 а и 2.3 б соответственно).

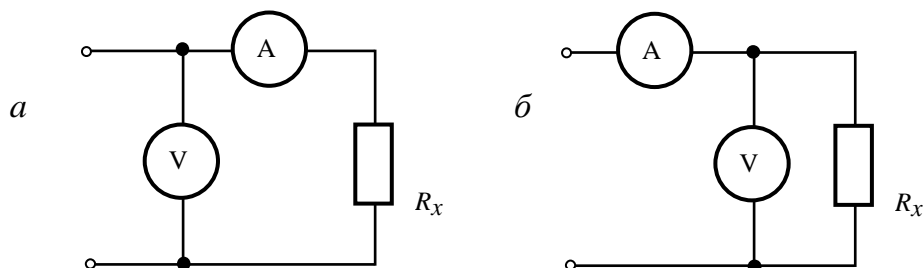


Рис. 2.3

При расчете сопротивления резистора  $R_x$  по закону Ома в обеих схемах не учитывается влияние сопротивлений приборов, что приводит к возникновению методической погрешности.

В схеме на рис.2.3 а амперметр измеряет ток  $I_x$  резистора с сопротивлением  $R_x$  и вольтметр измеряет напряжение  $U_v = U_x + I_x R_a$ . Здесь  $R_a$  – сопротивление амперметра, таким образом, измеренное напряжение является суммой напряжения на резисторе  $U_x$  и напряжения на зажимах амперметра.

Отсюда по закону Ома измеренное сопротивление (сумма сопротивлений резистора и амперметра):

$$R_x^I = U_v / I_x = R_x + R_a$$

Действительное сопротивление резистора определяется по формуле:

$$R_x = R_x^I - R_a = R_x^I (1 - R_x^I / R_a)$$

Тогда абсолютная методическая погрешность:  $\Delta_m = R_x^I - R_x = R_a$

Очевидно, что погрешность измерения может быть снижена путем уменьшения сопротивления амперметра.

Относительная методическая погрешность:  $\delta_m = -\frac{\Delta_m}{R_x} 100\% \approx \frac{\Delta_m}{R_x^I} 100\%$

Эту схему (при расчете по закону Ома) обычно применяют для измерений относительно больших сопротивлений, когда  $R_x \gg R_a$ .

В схеме на рис.2.3 б вольтметр подключен непосредственно параллельно зажимам резистора и измеряет напряжение  $U_x$  на резисторе. Амперметр измеряет сумму тока резистора и тока в ветви с вольтметром  $I_A = I_x + I_v$

Тогда общая проводимость равна:

$$g_x^I = I_A / U_x = g_x + g_v = 1/R_x + 1/R_v,$$

где  $R_v$  – сопротивление вольтметра.

Проводимость резистора может быть найдена вычитанием проводимости вольтметра из общей проводимости, определенной ранее :

$$g_x = g_x^I - g_v = g_x^I (1 - g_v / g_x^I), \quad R_x = R_x^I / (1 - R_x^I / R_v)$$

Тогда абсолютная методическая погрешность:  $\Delta_m = R_x^I - R_x = \frac{-(R_x^I)^2}{R_v - R_x^I}$

Относительная методическая погрешность:  $\delta_m = \frac{-R_x^I}{R_v} 100\%$

Как видно мы можем улучшить точность измерения путем увеличения сопротивления вольтметра.

Эту схему (при расчете по закону Ома) обычно применяют для измерений относительно малых сопротивлений, когда  $R_x \ll R_v$ .

Методическая погрешность носит систематический характер и поэтому подлежит исключению из результатов измерения путем внесения поправки:

$$R_x = R_x^I - \Delta_m$$

Для схемы а)  $R_x = R_x^I - \Delta_m = R_x^I - R_a$

Для схемы б)  $R_x = R_x^I - \Delta_m = R_x^I + (R_x^I)^2 / (R_v - R_x^I) = \frac{R_x^I R_v}{R_v - R_x^I}$

Инструментальная погрешность носит случайный характер и определяется классом приборов.

При косвенном измерении сопротивления инструментальная погрешность определяется по

формуле:  $\delta_{II} = \pm \sqrt{\delta_A^2 + \delta_V^2}$ , где  $\delta_A$  и  $\delta_V$  относительные погрешности

амперметра и вольтметра соответственно.

При представлении результатов измерений следует следовать следующим правил:

1. Результат измерения состоит из измеряемой величины и численного показателя точности (погрешности измерения), характеризующей точность измерения.

2. Числовые выражения измеряемой величины и численного показателя точности измерения должны иметь один порядок наименьших разрядов.

3. Численные показатели точности выражаются в единицах измеряемой величины и должны содержать не более двух значащих цифр;

Такое представление результатов измерений основано на том, что они пни определяют лишь интервал, в котором заключено истинное значение измеряемой величины.

#### Порядок выполнения работы

1. Подобрать измерительные приборы для косвенных измерений сопротивления реостата. При выполнении работы использовать источник постоянного напряжения 25 В.

2. Собрать схему рис.2.3а, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Снять показания приборов и занести результаты в табл.2.2 и табл.2.3.

3. Заменить в схеме магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные занести в табл.2.2 и табл.2.3.

4. Собрать схему рис.2.3б, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Снять показания приборов и занести результаты в табл.2.2 и табл.2.3.

5. Заменить в схеме магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные занести в табл.2.2 и табл.2.3.

6. Записать паспортные данные приборов и, выполнив необходимые расчеты, заполнить табл. 2.4.

Таблица 2.2.

Параметры измерительных приборов

Схема	Тип вольтметра	Сопротивление прибора		Нормирующее значение		Класс точности		Цена деления		Абсолютная погрешность	
		$R_v,$ <i>Ом</i>	$R_A,$ <i>Ом</i>	$U_N,$ <i>В</i>	$I_N,$ <i>А</i>	$K_v,$ <i>%</i>	$K_A,$ <i>%</i>	$C_v,$ <i>В/дел</i>	$C_A,$ <i>А/дел</i>	$\Delta_v,$ <i>В</i>	$\Delta_A,$ <i>А</i>
а											
б											

Таблица 2.3.

Результаты прямых измерений

Схема	Тип вольтметра	Отсчет		Показания приборов		Результаты измерений	
		$\alpha_v,$ <i>дел.</i>	$\alpha_A,$ <i>дел.</i>	$U_v,$ <i>В</i>	$I_A,$ <i>А</i>	$U \pm \Delta_v /,$ <i>В</i>	$I \pm \Delta_A /,$ <i>А</i>
а							
б							

#### Содержание отчета

1. Представить схемы исследования (рис.2.3).
2. Таблицы результатов измерений и расчетов.
3. Таблица основных характеристик приборов.
4. Выводы по работе.
5. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Таблица 2.4.  
Результаты расчетов косвенных измерений

Схема	Тип вольтметра	$R_x',$ <i>Ом</i>	$\delta_M,$ %	$\Delta_M,$ <i>Ом</i>	$R_x,$ <i>Ом</i>	$\delta_{II},$ %	$\Delta_{II},$ <i>Ом</i>	Результат измерения
								$R_x \pm \Delta_x /$
а								
б								

#### Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми?
2. Какие измерения называются косвенными?
3. Что называется погрешностью измерений?
4. Дайте классификацию погрешностей измерений.
5. Дайте определения для абсолютной, относительной, систематической, случайной, аддитивной, мультипликативной и инструментальной погрешностей измерений.
6. Каковы причины возникновения инструментальной и методической погрешностей?
7. Как рассчитываются относительная и абсолютная погрешности электроизмерительных приборов для разных условных обозначений классов точности?
8. Как следует представлять результаты однократных измерений?
9. Найдите в табл. 2.4 самый точный результат измерения и объясните его.

## Лабораторная работа 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы: ознакомление с конструкцией и выполнение поверки однофазного индукционного счетчика активной энергии.

### Оборудование и приборы

В работе используются фазорегулятор трехфазный, автотрансформатор лабораторный, установленные на стендах, трансформатор напряжения, 127/36 В, амперметр, фазометр, ватт метр, поверяемый однофазный индукционный счетчик активной энергии и секундомер.

### Содержание работы

- I. Определение относительной погрешности измерения активной энергии методом ваттметра и секундомера.
2. Проверка счетчика на самоход.
3. Определение порога чувствительности счетчика.

### Пояснения к работе

Одноэлементный однофазный индукционный счетчик используется для учета активной энергии в однофазных цепях переменного тока. Основными элементами такого счетчика являются параллельный I и последовательный 2 электромагниты, алюминиевый диск 3, постоянный магнит 8 и счетный механизм с червячной передачей 7 (рисунок 4.1). Обмотка последовательного электромагнита выполняется из небольшого числа витков относительно толстого провода и включается в цепь последовательно с нагрузкой. Обмотка параллельного электромагнита имеет большое число витков тонкого провода и включается параллельно нагрузке. Диск 3 с осью 4 установлен в опорах 5, 6.

Переменные токи, протекающие по обмоткам электромагнитов, создают переменные магнитные потоки, сдвинутые между собой во времени и смещенные в пространстве. Магнитные потоки, пересекающие алюминиевый диск, индуцируют в нем ЭДС, под действием которых в проводящем диске возникают вихревые токи. Взаимодействие вихревых токов с магнитными потоками создает вращающий момент, действующий на диск, и диск приводится во вращение.

Чтобы скорость вращения диска  $n$  была прямо пропорциональна активной мощности нагрузки  $P = C_0 n$ , в счетчике создается тормозной момент при помощи постоянного магнита 8.

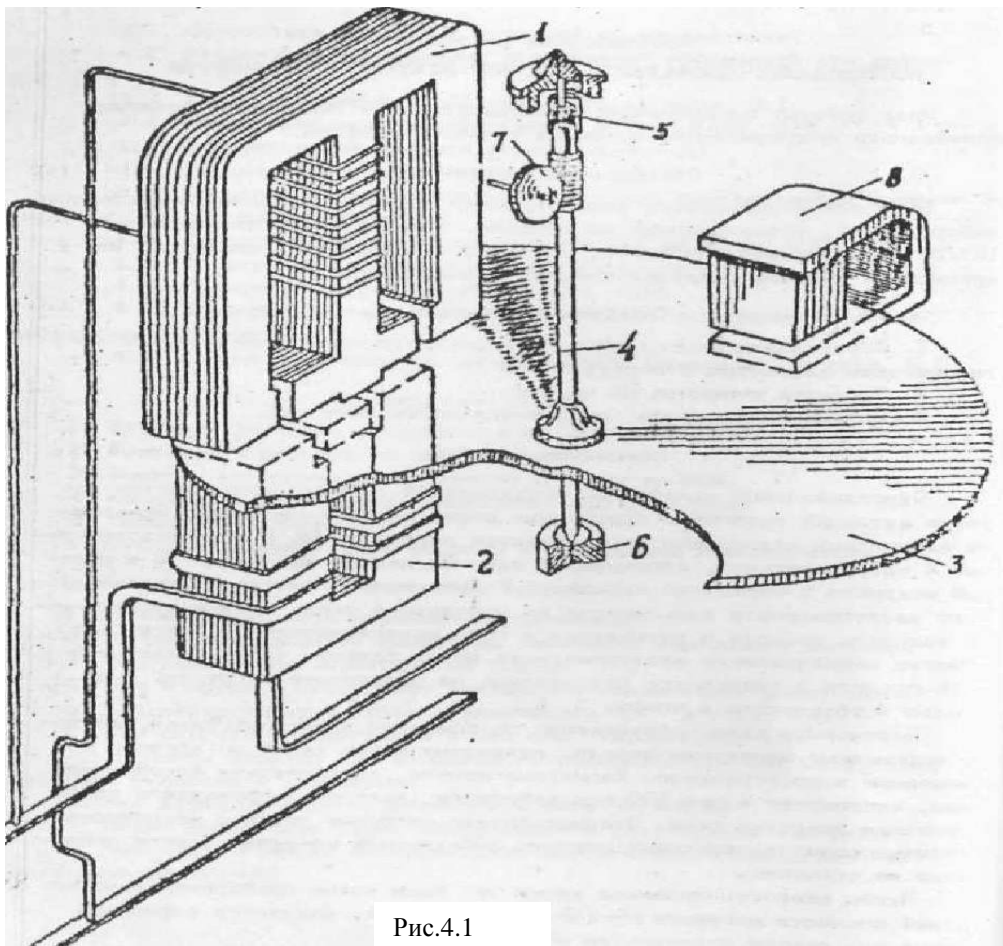


Рис.4.1

Так как мощность  $P = C_{\partial} n$ , то активная энергия  $W_{\partial}$  потребляемая нагрузкой за время  $t$  :

$$W_{\partial} = \int_0^t P dt = C_{\partial} \int_0^t n dt = C_{\partial} N \quad (4.1.)$$

то есть активная энергия прямо пропорциональна числу оборотов диска.  $N$  за время  $t$  .

Здесь  $C_{\partial} = \frac{W_{\partial}}{N} = \frac{Pt}{N} = \frac{tUI \cos \phi}{N}$  - действительная постоянная счетчика, которая представляет собой энергию, потребляемую нагрузкой за время одного полного оборота диска.

Действительная постоянная  $C_{\partial}$  зависит от режима работы счетчика и в общем случае неизвестна. Поэтому расход энергии определяют через номинальную постоянную  $C_H$ , представляющую собой энергию, регистрируемую счетным механизмом за один оборот диска:

$$W_x = C_H N \quad (4.2.)$$

Номинальную постоянную  $C_H$  можно определить через обратную ей величину  $N_0$ , которая называется передаточным числом и указывается на щитке счетчика (число оборотов, соответствующее 1 кВт ч регистрируемой энергии).

$$C_H = \frac{1000 \cdot 3600}{N_0} \quad (4.3.)$$

Величины  $N_0$ ,  $C_H$  зависят от конструкции счетного механизма и остаются для данного счетчика неизменными. Вследствие того, что в общем случае  $C_H$  отличается от  $C_{\partial}$ , измерение энергии через номинальную постоянную осуществляется с погрешностью. Относительная погрешность счетчика:

$$\delta_H = \frac{W_x - W_{\partial}}{W_{\partial}} 100 \% = \frac{C_H - C_{\partial}}{C_{\partial}} 100 \% \quad (4.4.)$$

Существенное влияние на правильность показаний счетчика при малых нагрузках (при малом значении тока  $I$ ) оказывает момент трения в счетном механизме и опорах подвижной части счетчика. Этот момент направлен навстречу вращающему и поэтому учтенная счетчиком энергия будет меньше израсходованной. Для уменьшения погрешности счетчика от действия момента трения во всех типах счетчиков создается дополнительный вращающий момент. Этот момент называется компенсационным. При эксплуатации счетчика в ряде случаев компенсационный момент превышает момент трения и диск счетчика начинает вращаться даже при токе  $I = 0$ , т.е., когда потребитель энергию не расходует.

Вращение диска счетчика под действием напряжения, поданного на зажимы параллельной цепи, и при отсутствии тока в последовательной цепи называется самоходом. Диск счетчика не должен совершать более одного полного оборота при отсутствии тока в последовательной цепи и при любом напряжении от 80 до 110% от номинального.

Порог чувствительности счетчика  $S$  - это минимальное значение тока, выраженное в процентах от номинального, при котором диск счетчика начинает и продолжает непрерывно вращаться при номинальном напряжении,  $\cos \phi$  и токе, не превышающем значений, указанных в табл.4.1.

$$S = \frac{I_{\min}}{I_{\text{ном}}} \quad (4.5.)$$

Основные требования, предъявляемые ГОСТ 6570-75 к однофазным счетчикам, представлены в табл.4.1.

Счетчики электрической энергии подлежат проверке в соответствии с ГОСТ 14767-69, который предусматривает проверку одним из следующих методов:

- 1.) метод ваттметра и секундомера, при котором определяют действительное значение электрической энергии  $W_{\partial} = P t$ , вызывающей вращение диска на заданное число оборотов;
- 2.) метод образцового счетчика, при котором показания поверяемого счетчика сравнивают с показаниями образцового счетчика.



В настоящей работе однофазный счетчик поверяется методом ваттметра и секундомера.

Таблица 4.1

Основные требования, предъявляемые к счетчикам

Коэффициент мощности $\cos\phi$	Ток в % от номинального значения	Предел допускаемой относительной погрешности, %			
		Для классов точности			
		0,5	1,0	2,0	2,5
1,0	От 5 до 10	1,0	2,0	2,5	-
	От 10 до 20	-	-	-	3,5
	От 20 до $I_{max}$	0,5	1,0	2,0	2,5
0,5 при инд. нагр.	От 10 до 20	1,3	2,0	2,5	-
	От 20 до $I_{max}$	0,8	1,0	2,0	4,0
Порог чувствительности (в % от $I_{ном}$ ) при $U_{ном}$ , $\cos\phi$ и токе		0,4	0,5	0,5	1,0

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, предназначенными для выполнения настоящей работы. Записать их паспортные данные.

2. Собрать схему рис.4.2, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов счетчика, ваттметра и фазометра.

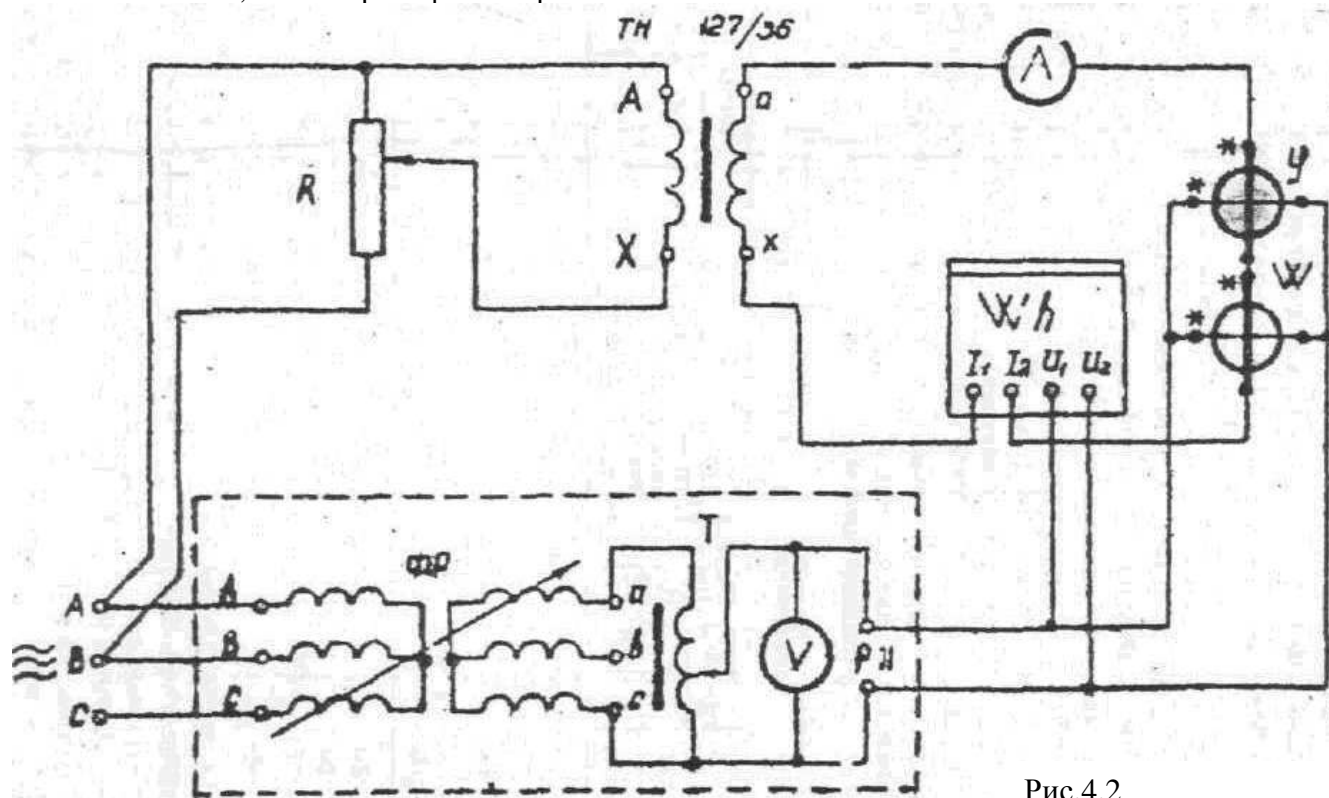


Рис.4.2

3. Установить при  $U=U_{ном}$  и  $I=I_{ном}$  с помощью фазорегулятора  $\cos\phi=1,0$  (по фазометру). Поддерживая  $U=U_{ном}$  и  $\cos\phi=1,0$  установить ток  $I = 10, 20, 50, 75, 100\%$  от  $I_{ном}$ . Для каждого значения тока нагрузки измерить мощность  $P$  с помощью образцового ваттметра и время  $t$  (по секундомеру), за которое диск счетчика сделает указанное в табл.4.2 число оборотов  $N$ .

4. Поддерживая  $U=U_{ном}$  и  $\cos\phi=0,5$  установить ток  $I = 20, 50, 75, 100\%$  от  $I_{ном}$ . Для каждого значения тока нагрузки измерить мощность  $P$  и время  $t$ , за которое диск счетчика сделает указанное в табл.4.2 число оборотов  $N$ .

5. Для каждого измерения рассчитать и занести в табл.4.2 :

- активную энергию  $W_x$ , измеренную с помощью счетчика (по формуле 4.2);
- действительную активную энергию  $W_d$  ( по формуле 4.6);
- относительную погрешность измерения  $\delta$  ( по формуле 4.4).

6. Проверить счетчик на самоход. Установить при  $U=1.1U_{ном}$  и  $I=I_{ном}$ . Разомкнуть цепь нагрузки и определить число оборотов диска счетчика за 1 мин.

7. Определить порог чувствительности. Установить при  $U=U_{ном}$  и  $I=I_{ном}$  и  $\cos\phi=1,0$ . Уменьшить ток нагрузки до 0. Включить дополнительно в цепь, нагрузки миллиамперметр (с пределом измерения 200 мА). Плавно увеличивая ток в цепи, добиться начала непрерывного движения диска. Определить порог чувствительности  $S$  (по формуле 4.5).

Таблица 4.2

Результаты измерений и вычислений

$\cos\phi$	$I, \%$ от $I_{ном}$	$I, A$	Измерено				Вычислено		
			$P,$ дел	$P,$ Вт	$N,$ об	$t,$ с	$W_x,$ Вт с	$W_d,$ Вт с	$\delta,$ %
1,0	10				2				
	20				4				
	50				10				
	75				15				
	100				20				
0,5	20				2				
	50				5				
	75				8				
	100				10				

## Содержание отчета

1. Схема поверки однофазного счетчика.
2. Таблицы результатов измерений и вычислений.
3. Результаты проверки на самоход.
4. Результаты определения чувствительности.
5. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Взаимодействием каких потоков образуется вращающийся момент счетчика?
2. Объясните, с помощью чего и как создается тормозной момент счетчика?
3. Что называется самоходом счетчика?
4. При каких условиях проводится проверка счетчика на самоход?
5. Что называется порогом чувствительности счетчика?
7. Какими методами производится поверка счетчиков на соответствие классу точности?
8. Как определяется номинальная постоянная счетчика  $C_n$  по паспортным данным?

## Лабораторная работа 5

## ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель работы: изучение схем измерения активной мощности в трехфазных цепях, включение ваттметров через измерительные трансформаторы.

## Оборудование и приборы '

В работе используются электродинамические ваттметры, измерительный трансформатор тока, реостат, лабораторный стенд с трехфазной активной нагрузкой.

## Содержание работы

1. Измерить активную мощность трехфазной симметричной и несимметричной нагрузки по схеме одного ваттметра.
2. Измерить активную мощность трехфазной симметричной и несимметричной нагрузки по схеме двух ваттметров.
3. Измерить мощность нагрузки ваттметром, включенным через измерительный трансформатор тока.

## Пояснения к работе

Измерение активной мощности в трехфазных цепях необходимо для учета расходуемой предприятиями электроэнергии и имеет большое народнохозяйственное значение.

В зависимости от схемы включения и характера нагрузки активная мощность в трехфазных цепях измеряется по схеме одного, двух и трех ваттметров.

Схема одного ваттметра применяется только при полной симметрии, то есть при равенстве активных мощностей отдельных фаз:  $P_A = P_B = P_C = P_\phi$ . Один ваттметр включают так, чтобы он измерял активную мощность одной из фаз, тогда активная мощность трехфазной цепи:

$$P = 3 P_\phi \quad (5.1)$$

По схеме одного ваттметра недопустимо измерять мощность в трехфазной несимметричной цепи, так как это приведет к очень большой погрешности.

Схема трех ваттметров используется при несимметричной нагрузке в трехфазных цепях с нулевым проводом. Ваттметры включают так, чтобы они измеряли активные мощности отдельных фаз. Активная мощность трехфазной цепи в этом случае:

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (5.2)$$

Схема двух ваттметров является основной при измерении активной мощности в трехфазных трехпроводных цепях независимо от характера нагрузки. Возможность измерения активной мощности трех фаз двумя ваттметрами основана на том, что сумма токов отдельных фаз трехфазной трехпроводной цепи равна нулю. Действительно,  $i_A + i_B + i_C = 0$ . Тогда активная мощность:

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = u_A i_A + u_B (-i_A - i_C) + u_C i_C = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C.$$

Переходя от мгновенных значений мощности к средним, получим:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \phi_A) + U_{CB} I_C \cos(30^\circ + \phi_C) = P_1 + P_2 \quad (5.3)$$

Здесь  $P_1 = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \phi_A)$  и  $P_2 = U_{CB} I_C \cos(30^\circ + \phi_C)$  – показание 1-го и 2-го ваттметров, соответственно, включенного по схеме рис.5.1 а. Это следует из векторной диаграммы, изображенной для этой схемы включения на рис.5.1 б.

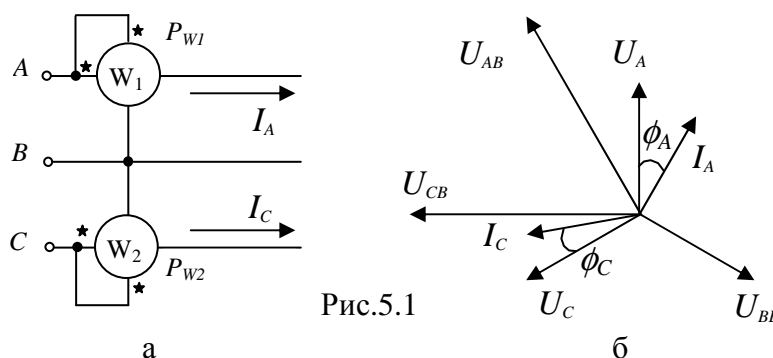


Рис.5.1

Выражая  $i_A = (-i_B - i_C)$  и  $i_C = (-i_B - i_A)$  можно получить еще два уравнения аналогичные уравнению 5.3. Таким образом, существует три схемы включения дуч ваттметров, в каждой из которых последовательные токовые обмотки ваттметров могут включаться в линейные провода любых двух фаз, начала (генераторные зажимы) параллельных обмоток ваттметра присоединяются к этим же линейным проводам, а концы - к свободному линейному проводу. При углах  $\phi > |60^\circ|$  показания одного из ваттметров будут отрицательными (стрелка прибора уходит за нуль шкалы влево). Для получения отсчета необходимо переключить концы параллельной обмотки этого ваттметра (у лабораторного ваттметра - с помощью переключателя напряжения), а его показания взять со знаком минус.

Для получения мощности трехфазной цепи показания ваттметров суммируются алгебраически

$$P = P_1 + P_2 \quad (5.4)$$

На практике для измерения активной мощности трехфазной цепи применяются трехфазные ваттметры. Двухэлементные трехфазные ваттметры используются в трехпроводных цепях и включаются по схеме двух ваттметров, а трехэлементные ваттметры - в трехфазных цепях с нулевым проводом по схеме трех ваттметров.

Для расширения пределов измерения ваттметры включают через измерительные трансформаторы тока и напряжения. При этом необходимо следить, чтобы токи в обмотках ваттметров после включения измерительных трансформаторов не изменяли своего направления.

Погрешность результатов измерений складывается из методических и инструментальных.

Относительная инструментальная погрешность для схемы одного ваттметра:

$$\delta_{H1} = \sqrt{3\delta_w^2} = \sqrt{3}\delta_w \quad (5.5)$$

а для схемы двух ваттметров:

$$\delta_{H2} = \sqrt{\delta_{w1}^2 + \delta_{w2}^2} \quad (5.6)$$

где  $\delta_w$ ,  $\delta_{w1}$ ,  $\delta_{w2}$  - погрешности ваттметров, определяемые через классы точности приборов.

При включении ваттметра через измерительные трансформаторы инструментальная погрешность измерения мощности находится с учетом погрешностей, вносимых трансформатором тока  $\delta_{ТТ}$  и трансформатором напряжения  $\delta_{ТН}$ :

$$\delta_H = \sqrt{\delta_w^2 + \delta_{ТТ}^2 + \delta_{ТН}^2} \quad (5.7)$$

Тогда абсолютная инструментальная погрешность:  $\Delta_H = \frac{\delta_H P_H}{100 \%}$  (5.8)

Методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки обусловлена собственным потреблением мощности ваттметрами, а также схемой включения приборов.

Возможны два варианта включения обмоток ваттметра, показанные на рис. 5.2.



Рис.5.2

В схеме рис.5.2 а параллельная обмотка ваттметра включена на напряжение, равное сумме падений напряжений на сопротивлении нагрузки и собственной токовой обмотке. Следовательно, показания ваттметра в этом случае:  $P_W = I (U_H + U_{носл}) = P_H + P_{носл}$  будут завышены на величину мощности  $P_{носл}$ , потребляемую собственной последовательной обмоткой. Методическая погрешность в этой схеме:

$$\delta_{MW} = \frac{P_{носл}}{P_H} 100 \% = \frac{R_{носл}}{R_H} 100 \% \quad (5.9)$$

В схеме рис.5.2 б ток, протекающий в последовательной обмотке прибора, равен сумме токов нагрузки и собственной параллельной обмотки. В этом случае показания прибора включают в себя мощность нагрузки и мощность, потребляемую его параллельной цепью:  $P_W = U ( I_H + I_{парал} ) = P_H + P_{парал}$ , а методическая погрешность в этой схеме:

$$\delta_{MW} = \frac{P_{парал}}{P_H} 100 \% = \frac{R_H}{R_{парал}} 100 \% \quad (5.10)$$

Схема рис.5.2 б применяется для измерения мощности нагрузки, имеющей малое сопротивление, в большинстве же случаев на практике используется схема рис. 5.2 а.

Рассмотренная методическая погрешность возникает при включении ваттметра как в однофазную, так и в трехфазную цепь. Кроме того, при измерении мощности трехфазной нагрузки может возникнуть методическая погрешность, обусловленная схемой включения ваттметров. В схеме двух ваттметров, включенных в трехпроводную цепь (без нулевого провода), и в схеме трех ваттметров в цепи с нулевым проводом такая погрешность отсутствует. Если же измерять мощность трехфазной нагрузки одним ваттметром (или двумя ваттметрами в цепи с нулевым проводом), даже при незначительной несимметрии цепи будут иметь место большие погрешности. Методическая погрешность схемы одного прибора относительно точного метода двух приборов в трехпроводной цепи:

$$\delta_{Mcx} = \frac{P_{H1} - P_{H2}}{P_{H1}} 100 \% \quad (5.11)$$

где  $P_{H1}$  и  $P_{H2}$  - мощности нагрузки, определенные соответственно в схемах одного и двух ваттметров.

Суммарная методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки находится из выражения:

$$\delta_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{Mwi}^2 + \delta_{Mcx}^2} \quad (5.12)$$

Методическая погрешность является систематической и должна быть исключена из результата в виде поправки:

$$- \Delta_M = - \frac{\delta_M P_H}{100 \%} \quad (5.13)$$

Результат измерения мощности трехфазной нагрузки :

$$P_H = P_H^I \pm \Delta_M, \quad \text{где: } P_H^I = P_{Hизм} - \Delta_M \quad (5.14)$$

В данной работе измерения проводятся на лабораторном стенде, схема которого показана на рис.5.3. При замкнутом ключе  $K$  сопротивления  $R_{\phi1}$ ,  $R_{\phi2}$ ,  $R_{\phi3}$  образуют трехфазную симметричную нагрузку, включенную треугольником. В одной из фаз треугольника сделан разрыв, в который включается последовательная обмотка ваттметра, измеряющего фазную мощность. При разомкнутом ключе  $K$  система переводится в режим трехфазной несимметричной цепи.

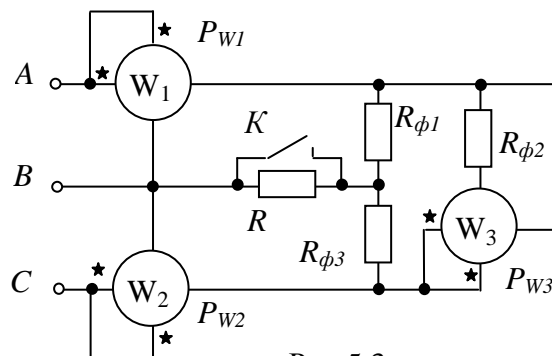


Рис.5.3

#### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему измерения активной мощности рис.5.1 одним и двумя ваттметрами.

2. Снять показания приборов при симметричной нагрузке (ключ К замкнут) и при несимметричной нагрузке (ключ К разомкнут) и занести в табл.5.1.

Таблица 5.1  
Измерение мощности трехфазной нагрузки

Нагрузка	Показания ваттметров			Мощность нагрузки	
				Сема одного ваттметра	Сема двух ваттметров
	$P_{W1}, Вт$	$P_{W2}, Вт$	$P_{W3}, Вт$	$P_{H1}, Вт$	$P_{H2}, Вт$
Симметричная					
Несимметричная					

3. Рассчитать инструментальные и погрешности и занести результаты измерений мощности в табл.5.2.

Таблица 5.2

## Расчет погрешностей

Нагрузка	Инструментальная погрешность приборов			Инструментальная погрешность схем				Результат измерения мощности	
	$W_1$	$W_2$	$W_3$	Схема одного W		Схема 2-х W		Схема одного W	Схема 2-х W
	$\delta_{w1}, \%$	$\delta_{w2}, \%$	$\delta_{w3}, \%$	$\delta_I, \%$	$\Delta_I, Вт$	$\delta_2, \%$	$\Delta_2, \%$	$P_{1H}, Вт$	$P_{2H}, Вт$
Симметричная									
Несимметричная									

4. Включить ваттметр для измерения мощности в однофазной цепи через измерительный трансформатор тока (рис.5.4). Определить мощность нагрузки и погрешность ее измерения. Мощность нагрузки определяется по показанию ваттметра с учетом номинального коэффициента трансформации трансформатора тока :

$$P_{H \text{ изм}} = P_W K_{IH} \quad (5.15)$$

где  $K_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$  номинальный коэффициент трансформации трансформатора тока.

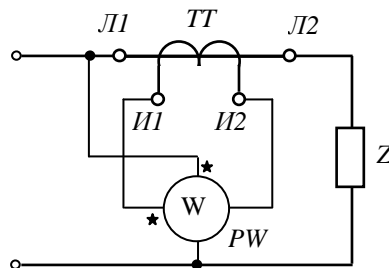


Рис.5.4

5. Результаты занести в табл. 5.3,

Таблица 5.3  
Измерение мощности однофазной нагрузки

Показания ваттметра	Коэффициент трансформации	Мощность нагрузки	Погрешности измерения				Результат измерения
			$\delta_{IW}, \%$	$\delta_{TT}, \%$	$\delta_{II}, \%$	$\Delta_{II}, \%$	
$P_W, Вт$	$K_{IH}$	$P_{H \text{ изм}}, Вт$					$P_H, Вт$

## Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схемы и таблицы с результатами измерений.
3. Выводы по работе.
4. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

## Контрольные вопросы

1. Какие схемы измерения активной мощности трехфазной нагрузки вы знаете?
2. В каких случаях можно использовать схему одного ваттметра? Приведите примеры этих схем. Как определяется мощность нагрузки по показанию прибора?
3. В каких случаях применяется схема двух ваттметров? Приведите варианты этой схемы. Как определяется мощность нагрузки по показаниям приборов?
4. В каких случаях и где применяется схема трех ваттметров? Как включаются ваттметры в этой схеме? Как находится мощность нагрузки?
5. Почему в схеме ваттметров при правильном включении приборов показания одного из них могут быть отрицательными? Что нужно делать, если стрелка ваттметра отклоняется за нуль шкалы влево?
6. Почему при измерении активной мощности нагрузки двумя ваттметрами требуется строгое соблюдение правильности включения генераторных зажимов обмоток?
7. От чего зависит и как определяется инструментальная погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки?
8. От чего зависит и как определяется методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки?
9. Как находится результат измерения?
10. С какой целью ваттметры включают через измерительные трансформаторы? Приведите пример схемы включения. Как определяется мощность нагрузки в этом случае? Влияет ли включение измерительных трансформаторов на погрешность измерения?

## Лабораторная работа 6

## ОДИНАРНЫЕ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: ознакомление с конструкцией моста РЗЗЗ и методикой измерения сопротивлений.

Оборудование и приборы

В работе используются мост РЗЗЗ, набор сопротивлений, многопредельный вольтметр.

Содержание работы

1. Ознакомиться с конструкцией измерительного моста РЗЗЗ и инструкцией по эксплуатации.
2. Измерить пять сопротивлений по двухзажимной схеме и определить чувствительность моста.
3. Измерить два малых сопротивления по двух- и четырехзажимной схемам измерения и определить погрешность измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме измерения.

Пояснения работе

Мостами называются приборы сравнения, предназначенные для измерения сопротивлений или величин, функционально с ними связанных.

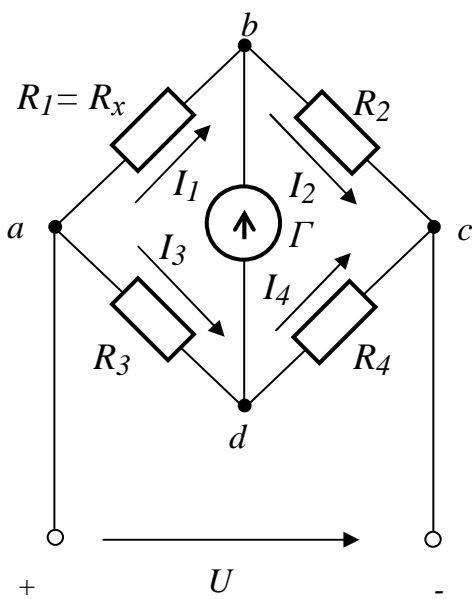


Рис.6.1

В основу такого прибора положена мостовая измерительная схема. Мостовые схемы получили большое распространение в технике электрических измерений благодаря высокой точности и чувствительности.

Мостовые цепи делятся на четырехплечие и многоплечие: двухзажимная схема включения измеряемого сопротивления; четырехзажимная схема включения измеряемого сопротивления.

На рис.6.1 показана простейшая мостовая цепь - четырехплечий (одинарный) мост постоянного тока. Точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  называются вершинами моста; ветви  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$  и  $ad$  - плечами моста; ветвь  $ac$  - диагональю питания; ветвь  $bd$  - измерительной диагональю.

Мостовые цепи обладают одним важным свойством - при определенном соотношении сопротивлений плеч отсутствуют токи и напряжения в измерительной диагонали при любых значениях напряжения. Такое состояние моста называется состоянием равновесия, а соотношение сопротивлений плеч моста, при котором мост уравновешен - условием равновесия моста. В уравновешенных мостах в диагональ включается нулевой указатель (гальванометр, микроамперметр, наноамперметр).

Мост постоянного тока приводят в состояние равновесия путем изменения сопротивления одного плеча моста. В момент равновесия потенциалы точек  $a$  и  $b$  равны. Следовательно, падения напряжения на первом и третьем, а также на втором и четвертом плечах моста также равны.

Так как ток в нулевом указателе отсутствует, то, следовательно,  $I_1 = I_2$  и  $I_3 = I_4$

Получим условие равновесия четырехплечего (одинарного) моста :

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad \text{или} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (6.1)$$

Таким образом, при равновесии моста произведение сопротивлений противоположных плеч равны между собой.

Если известны значения сопротивлений любых трех плеч уравновешенного моста, то из условия равновесия всегда можно определить значение сопротивления четвертого плеча.

$$\text{Пусть } R_1 = R_x, \quad \text{тогда} \quad R_x = R_3 \frac{R_2}{R_4} \quad (6.2)$$

Обычно такой мост приводится в равновесие путем регулировки сопротивления  $R_3$ .



Отношение сопротивлений  $\frac{R_2}{R_4}$  в уравнении равновесия называется масштабным множителем, его значение выбирается равным  $10^n$ , где  $n$  - целое положительное, или отрицательное число (возможно  $n = 0$ ). В этом случае третье плечо моста  $R_3$  называется плечом уравновешивания, а второе  $R_2$  и четвертое  $R_4$  - плечами отношения.

С помощью плеч отношения выбирается диапазон измерения моста.

Измерения с помощью уравновешенного моста называются нулевым методом измерения.

Диапазон измеряемых мостом сопротивлений ограничен как сверху, так и снизу. Сверху диапазон одинарного моста ограничен сопротивлением изоляции и чувствительностью нулевого указателя и для обычных мостов составляет  $10^6 - 10^8$  Ом.

Нижний предел измерения одинарного моста ограничен влиянием сопротивлений подводящих проводов  $R_{II}$  и переходных контактов  $R_K$ , которые вызывают погрешность:

$$\delta = \frac{\sum (R_{II} + R_K)}{R_x} 100 \%$$

Так как сопротивления проводов и контактов составляет порядка 0,001 и 0,01 Ом, то уже при измерении  $R_x$  порядка 1 Ом эти погрешности недопустимы.

Область измерения одинарным мостом малых сопротивлений можно расширить путем перехода к четырехзажимной схеме включения измеряемого сопротивления. В этом случае на панели моста для

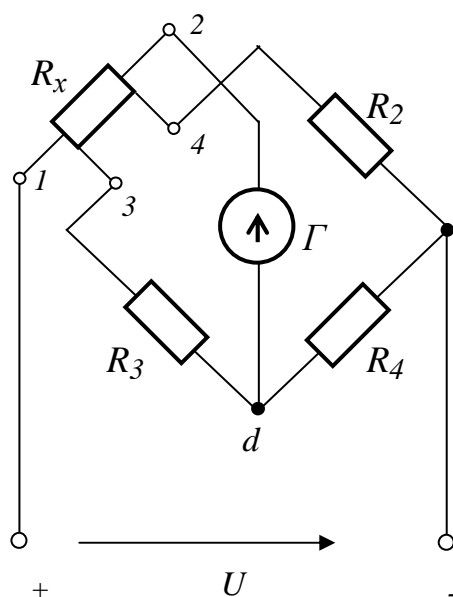


Рис.6.2

присоединения  $R_x$  имеются четыре зажима (рис. 6,2). При таком присоединении сопротивление провода от  $R_x$  к зажиму 3 входит в сопротивление плеча  $R_4$ , а сопротивление провода от  $R_x$  к зажиму 4 - в сопротивление плеча  $R_2$ . Значения  $R_2$  и  $R_4$  в такой схеме выбираются достаточно большими, чтобы влиянием сопротивления  $\sum (R_{II} + R_K)$  можно было пренебречь.

Сопротивления проводов от зажимов  $R_x$  к зажимам 1 и 2 входят соответственно в сопротивления диагоналей моста. Четырехзажимное включение малых сопротивлений позволяет измерить сопротивления до  $10^{-4}$  Ом. Таким образом, общий диапазон измерений одинарного моста составляет от  $10^{-4}$  до  $10^8$  Ом.

Для более точных измерений малых сопротивлений широкое применение получили шестиплечие (двойные) мосты постоянного тока.

Кроме одинарных и двойных мостов, применяются, так называемые, универсальные мосты, которые могут работать как по схеме одинарного, так и по схеме двойного моста.

Важным свойством моста, характеризующим его эксплуатационные качества, является его способность обнаруживать малые изменения измеряемой величины, т.е. его чувствительность. Измерения при помощи уравновешенных мостов относятся к области высокочувствительных нулевых методов.

При использовании в качестве нулевого индикатора магнитоэлектрического гальванометра абсолютная чувствительность моста постоянного тока:

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R} \quad (6.3)$$

где  $\Delta\alpha$  - отклонение подвижной части гальванометра;

$\Delta R$  - абсолютное изменение сопротивления регулируемого плеча от его значения при равновесии моста.

На практике удобно оценивать чувствительность моста к относительному изменению сопротивления

$$S_M' = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R / R_3 \cdot 100} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R \cdot 100} R_3 \quad (6.4)$$

Наибольшая чувствительность одинарного моста постоянного тока достигается при:

$$R_x = R_2, R_3 = R_4$$

При помощи моста Р333 производят измерения по двухзажимной и четырехзажимной схемам. В табл.6.1 приведены характеристики моста.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией измерительного моста Р333, По табличке, прикрепленной с внутренней стороны на крышке моста, ознакомиться со схемой и краткой инструкцией по эксплуатации прибора и определить его технические характеристики.

Таблица 6.1

Основные характеристики моста Р333

Измеряемое сопротивление	Класс точности	Рекомендуемые множители $n$	U, В	Схема включения
$5 \cdot 10^{-3} - 0,0999$	5	0,0001	1,5	4-х зажимная
$1 \cdot 10^{-1} - 0,9999$	1,0			
1 - 9,999	0,5	0,001	1 - 1,5	
10 - 99,99		0,01	1,5 - 3	
100 - 999,9		0,1	3 - 10	
1000 - 9999	1			
$10^4 - 99999$	10			
$10^5 - 999999$	5			2-х зажимная

2. Подготовить мост для измерения сопротивлений по двухзажимной схеме включения рис. 6.1, для чего необходимо:

зажимы Б разомкнуть;

переключатель схемы поставить в положение "МВ";

замкнуть зажимы 1 и 2 с помощью перемычки;

подключить измеряемое сопротивление к зажимам 2 и 3;

установить переключатель плеч отношений на соответствующий множитель  $n$  согласно табл. 6.1

в зависимости от предполагаемой величины  $R_x$ ;

установить на четырех декадах плеча уравнивания ожидаемой сопротивление.

3. Собрать схему питания моста (рис.6.3), которое осуществляется от наружного источника. Напряжение питания моста выбирается согласно табл.6.1, в зависимости от предполагаемой величины измеряемого сопротивления.

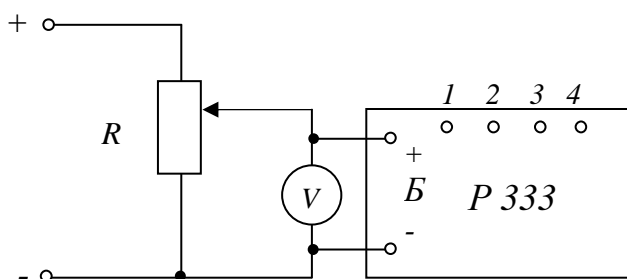


Рис. 6.3

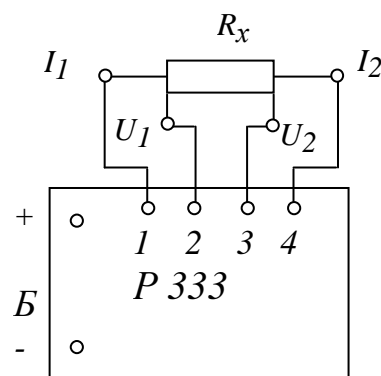


Рис. 6.4

4. Нажать кнопку "вкл.Г". Если при таком нажатии наблюдается резкий отброс стрелки, необходимо более точно выбрать множитель  $n$ , чтобы отклонение стрелки не превышало 0,2-0,4 дел от нулевой отметки. После этого зафиксировать кнопку "вкл. Г". Нажать кнопку "грубо" и производить уравнивание схемы ручками переключателей декад до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится на нуль.

Нажать кнопку "точно" и окончательно уравновесить мост. Определить  $R_x$  по положениям переключателей декад и записать в табл. 6.2.

5. Определить чувствительность моста. При всех нажатых кнопках уравновешенного моста вращением переключателей младших декад добиться отклонения стрелки гальванометра на 5 делений ( $\Delta\alpha=5$ ). По положениям переключателей определить  $R_{неур}$  и записать в табл.6.2. Все кнопки отжать.

Вычислить  $R_x = n R_{ур}$ ;  $\Delta R_x = R_{ур} - R_{неур}$ ;  $S_M$  и  $S'_M$  соответственно по формулам (6.3) и (6.4). Результаты расчетов записать в табл.6.2.

6. Аналогично произвести все измерения и вычисления еще для 2-х сопротивлений.

Таблица 6.2

Измерение сопротивлений по двухзажимной схеме

Характеристика сопротивлений $R_x$ , Ом	$n$	$R_{ур}$ , Ом	$R_{неур}$ , Ом	$R_x$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$\Delta\alpha$ , дел	$S$ , дел / Ом	$S'$ , дел / Ом

7. Подготовить мост для измерения сопротивлений по четырехзажимной схеме включения (схему питания моста не разбирать), для чего необходимо :

перемычку, соединяющую зажимы I и 2, отсоединить;

измеряемое сопротивление присоединить к зажимам 1, 2, 3 и 4 с помощью четырех проводников (согласно схеме рис.6.4).

8. Процесс уравновешивания и подсчет результатов измерения производить согласно п.4. Результаты записать в табл.6.3.

9. По результатам измерения  $R_x$  и по заданным длине  $L$  и диаметру  $d$  проволочных сопротивлений рассчитать удельное сопротивление:

$$\rho = R_x \frac{S}{L}, \quad \text{где } S \text{ сечение провода.}$$

Расчеты записать в табл.6.3.

10. Измерить те же малые сопротивления по двухзажимной схеме, для чего мост подготовить согласно п.3; зажимы  $I_1$ , и  $I_2$  измеряемых сопротивлений подключить соответственно к зажимам 2 и 3 моста; произвести измерения.

Рассчитать погрешности измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме, приняв за действительное значение величину измеренного сопротивления по четырехзажимной схеме включения:

$$\delta_2 = \frac{R_{x2} - R_{x4}}{R_{x4}} 100\%$$

Результаты измерений и вычислений записать в табл.6.3.

Таблица 6.3

Измерение малых сопротивлений

Геометрические размеры сопротивлений			$n$	Четырехзажимная схема			Двухзажимная схема		
$d$ , м	$L$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>		$R_{ур4}$ , Ом	$R_{x4}$ , Ом	$\rho$ , Ом м	$R_{ур2}$ , Ом	$R_{x2}$ , Ом	$\delta_2$ , %

#### Содержание отчета

1. Четырехплечный мост постоянного тока.
2. Таблицы измерений и вычислений.
3. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Условие равновесия моста постоянного тока.
2. Каким путем практически добиваются выполнения условия равновесия моста?
3. Чем ограничена сверху величина сопротивлений, измеряемых одинарным четырехплечим мостом.
4. Чем ограничена снизу величина измеряемых сопротивлений по двухзажимной схеме?
5. За счет каких факторов четырехзажимная схема измерения расширяет предел измерения сопротивлений ?
6. Что такое абсолютная чувствительность моста?
7. Как практически определить чувствительность моста ?

## Лабораторная работа 7

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с методами и техникой измерения сопротивления заземления.

Оборудование и приборы: в работе используется: прибор М-416, макет заземления, амперметр, вольтметр, источник тока.

Содержание работы:

1. Измерить сопротивление заземления методом амперметра и вольтметра;
2. Измерить сопротивление заземления с помощью зонда;
3. Измерить сопротивление заземления с помощью прибора М-416.

Пояснения к работе

Заземлением называется преднамеренное соединение с землей металлических частей электрических установок, нормально не находящихся под напряжением, посредством заземляющих проводников.

Конструктивными элементами заземления являются заземлители - металлические проводники, находящиеся в земле. Электрооборудование соединяют с заземлителями заземляющими проводниками.

Совокупность заземлителя и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года согласно ГОСТ 10.1.030-81 должно быть не более 0,5 – 10 Ом.

Измерение сопротивления заземлителя имеет ряд особенностей:

- а) электроды заземлителя во влажной среде земли образуют гальваническую пару;
- б) при прохождении тока через электроды происходит поляризация, что увеличивает сопротивление заземления;
- в) наличие в земле блуждающих токов, которые могут наводить в заземляющих проводах паразитную ЭДС;
- г) все эти ЭДС не отличаются постоянством и, суммируясь, могут исказить результаты измерений.

Измерение сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра.

Для выполнения измерений необходимо иметь не менее трех заземлений.

Падение приложенного к заземлителям  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 7.1) напряжения происходит по кривой ОАВО.

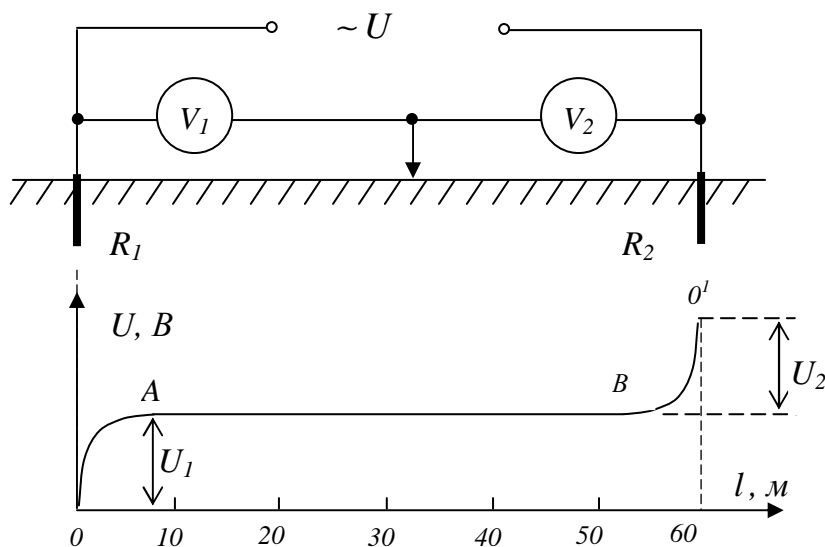


Рис.7.1

Наибольшее падение напряжения и плотность тока имеют место в зоне заземлителей радиусом 10 м. На остальном протяжении между  $R_1$  и  $R_2$  сопротивление слоя земли практически принимается равным нулю.

Таким образом, к заземлителям  $R_1$  и  $R_2$  приложено напряжение  $U_{12} = U_1 + U_2 = R_1 + R_2$ . Следовательно, измеряя ток и напряжение, можно измерить

$$R_{12} = \frac{U_{12}}{I_{12}} = R_1 + R_2$$

Произведя аналогичным способом еще два измерения, получим три уравнения с тремя неизвестными, правые части которых есть результаты измерений:

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{12}}{I_{12}} = R_{12}, \quad R_1 + R_3 = \frac{U_{13}}{I_{13}} = R_{13}, \quad R_2 + R_3 = \frac{U_{23}}{I_{23}} = R_{23} \quad (7.1)$$

Решение системы уравнений дает:

$$R_1 = \frac{R_{12} + R_{13} - R_{23}}{2}, \quad R_2 = \frac{R_{12} + R_{23} - R_{13}}{2}, \quad R_3 = \frac{R_{23} + R_{13} - R_{12}}{2} \quad (7.2)$$

#### Измерение сопротивления заземления с помощью зонда

Если в месте измерения сопротивления заземления нет трех заземлений и заземлители расположены на расстоянии 50-70 м друг от друга возможно измерение напряжений  $U_1$  и  $U_2$  (рис. 7.1) с помощью специального электрода-зонда. Зонд - металлический стержень, погружаемый в землю на небольшую глубину на участке АВ. Тогда вольтметр  $V_1$  будет измерять напряжение  $U_1$ , а  $V_2$  - напряжение  $U_2$ . Следовательно:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_{12}}, \quad R_2 = \frac{U_2}{I_{12}}$$

#### Измерение сопротивления заземления с помощью прибора М-416

В приборе применяется компенсационный метод измерения заземления с использованием вспомогательного заземлителя и зонда. На лицевой панели прибора (рис.7.2) расположены:

- "П" - ручка переключения предела измерений;
- "Р" - ручка реохорда;
- "К" - кнопка включения прибора;
- четыре зажима для подключения объекта измерения;
- шкала реохорда;
- микроамперметр.

Прибор имеет четыре диапазона измерений: 0,1 - 10 Ом; 0,5 - Ом; 2 - 200 Ом; 10 - 1000 Ом.

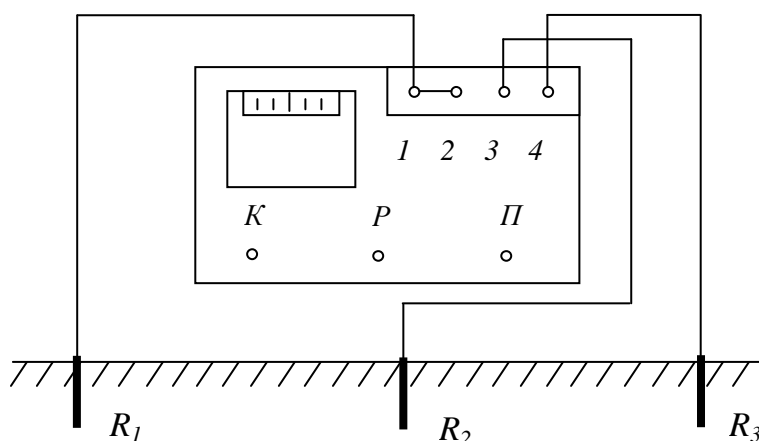


Рис.7.2



3. Подключить прибор М-416 к макету заземлителя для измерения сопротивления  $R_1$  (согласно рис.7.2). Переключатель "П" установить положения "X1". Кратковременно нажать кнопку "К". Если стрелка индикатора не зашкаливает, то, удерживая кнопку "К" нажатой, ручкой "Р" установить стрелку индикатора равновесия на нулевую отметку. Если стрелка индикатора зашкаливает, изменить предел измерения с помощью переключателя "П" (последовательно "X5", "X20", "X100").

Результат измерения сопротивления  $R_1$  равен произведению показания шкалы реохорда на соответствующий модуль.

Подключить прибор для измерения сопротивления  $R_2$ , а затем  $R_3$ .

Данные измерений занести в табл.7.3.

Таблица 7.3

Измерение сопротивлений заземлений прибором М-416

Метод измерения	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом
Метод трех измерений			
Метод одного измерения			
Измерение прибором М-416			

#### Содержание отчета

1. Схемы измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра, с помощью зонда и с помощью прибора М-416..
2. Таблицы измерений и вычислений
3. Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Как распределяется падение напряжения между двумя заземлениями при протекании тока ?
2. Какое число опытов необходимо произвести для определения сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра? Почему?
3. Что такое зонд?
4. Какое число опытов необходимо произвести для определения сопротивления заземления методом зонда?
5. Можно ли определить сопротивление одиночного заземления? Какие нужно выполнить условия?