

РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН  
НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических занятий  
по курсу «Метрология и стандартизация »  
для студентов обучающихся по направлению  
5310200 «Электроэнергетика» (по отраслям)



Навои– 2017

**Составители:** доц. Шайматов Б.Х., ст. преп. Холмуродов М, Б

Методические указания к выполнению практических занятий по курсу «Метрология и стандартизация» Шайматов Б.Х., Холмуродов М, Б. Навои: НГГИ, 2017 г. 30 стр.

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий по курсу «Метрология и стандартизация». Студенты, выполняющие практических занятий существующих видов элементов электроэнергетики, Метрология, стандартизация и сертификация, а также конструктивное исполнение измерительных приборов, указанных в описаниях. В указаниях предложена теоретическая часть для выполнения практических занятий. Данные методические указания рекомендованы для студентов обучающихся по направлению 5310200 «Электроэнергетика».

#### **Кафедра «Электроэнергетика»**

Методические указания обсуждено на заседании кафедры «Электроэнергетика» Протокол № 1 от 25.08.17 г. а также рассмотрено учебно-методическим советом ЭМФ и рекомендовано к печати решением Учебно-методического совета НГГИ.

**Рецензенты:** Х.Х.Эшев

Ведущий инженер Навоийкой тепловой электрической станции

З.О.Эшмуродов

Доцент кафедры  
«Автоматизации и управления» НГГИ

## **ВВЕДЕНИЕ**

Высокая стоимость энергоресурсов обусловила в последние годы кардинальное изменение отношения к организации энергоучета в промышленности и других энергоемких отраслях (транспорт и жилищно-коммунальное хозяйство). Потребители начинают осознавать, что в их интересах необходимо рассчитываться с поставщиком энергоресурсов не по каким-то условным нормам, договорным величинам или устаревшим и неточным приборам, а на основе современного и высокоточного приборного учета. Промышленные предприятия пытаются как-то реорганизовать свой энергоучет "вчерашнего дня", сделав его адекватным требованиям дня сегодняшнего. Под давлением рынка энергоресурсов потребители приходят к пониманию той простой истины, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет.

Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

### I. Цель работы:

1. Знать особенности электроизмерительных приборов и правила техники безопасности;
2. Уметь измерять электрические величины, собирать несложные электрические цепи по схеме.

### II. Классификация и условные обозначения.

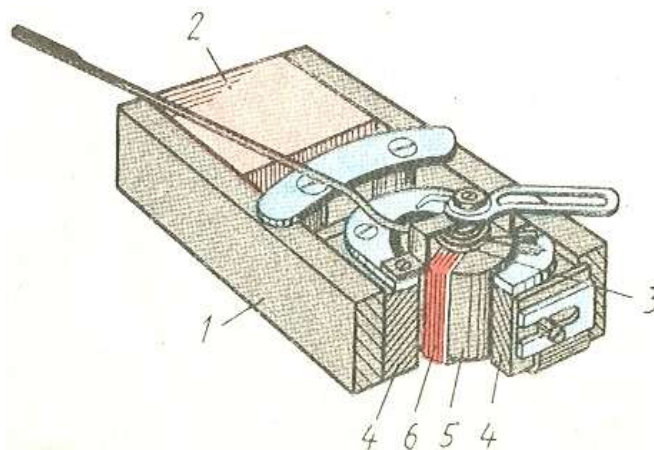
Электрическим измерительным прибором называют устройство для измерения электрических величин. Все электроизмерительные приборы классифицируются по следующим признакам: а) по роду измеряемой величины: А-амперметры, V-вольтметры, W-ваттметры и др., б) по роду тока: приборы постоянного и переменного токов; в) по принципу действия: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, индукционные, тепловые и др. г) по степени точности: например, класс точности 0,05, 0,1, 1,5.

Основные данные, которые являются техническими характеристиками прибора, наносятся на шкалу условными обозначениями (см. табл.)

### III. Классификация приборов по принципу действия.

#### а) Магнитоэлектрические приборы.

Магнитоэлектрические приборы (рис.1) пригодны только для измерения



силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. Прибор состоит из постоянного магнита подковообразной формы и подвижной рамки (2) с несколькими витками изолированной проволоки. К оси рамки прикреплена стрелка I. При прохождении тока рамка поворачивается на определенный угол, зависящий от величины тока.

Рис.1

Техническая характеристика.	Условные обозначения.
Класс точности  СИСТЕМА: магнитоэлектрическая  Электромагнитная  Электродинамическая	0,5 или    
РОД ИЗМЕРЯЕМОГО ТОКА Постоянный  Переменный  постоянный и переменный	  
трехфазный	
Установка прибора: вертикально горизонтально	
Испытательное напряжение изоляции прибора	 или 
Полярность: отрицательная положительная	
Заземление	 или 

После поворота рамки стрелка останавливается на делении градуированной шкалы. Ток к обмотке рамки подводится по спиральным пружинам 3,4. Эти же пружины возвращают рамку со стрелкой в

первоначальное положение, когда ток прекращается. Ввилу того, что рамка поворачивается в ту или иную сторону зависимости от направления тока, надо следить, за правильным включением прибора.

Магнитоэлектрические приборы отличаются высокой чувствительностью и точностью показаний. Шкала этих приборов равномерная. Они боятся перегрузки, так как сечение спиральных пружин мало.

б) Электромагнитные приборы.

Электромагнитные приборы (рис.2) пригодны для измерения как постоянного, так и переменного тока. Действие прибора основано на том, что при прохождении тока в обмотке катушки 2 внутрь её втягивается железный сердечник 4. После прекращения тока стрелка возвращается в исходное положение под действием пружины 3. Отклонение стрелки не пропорционально возрастанию тока в катушке, и поэтому шкала прибора неравномерна. Прибор имеет воздушный успокоитель I подвижной системы, который состоит из камеры и поршня. К достоинствам электромагнитных приборов относятся простота конструкции и чувствительность к кратковременным перегрузкам. Точность измерения этих приборов меньше, чем магнитоэлектрических.

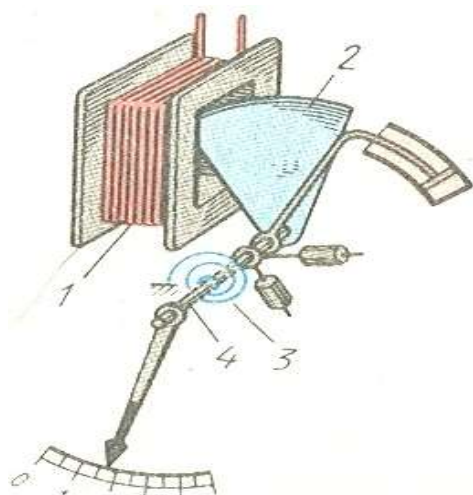


Рис. 2

пригодны для измерения постоянного и переменного тока. Устройство их основано на взаимодействии магнитных полей, которые создаются двумя обмотками

(рис.3) Прибор состоит из неподвижной катушки I, изготовленной в виде двух находящихся рядом секций, и подвижной катушки 2, помещенной внутри них. Подвижная катушка вращается вместе с осью, на которой укреплена стрелка прибора, и стремится занять такое положение, при котором её магнитное поле совпадало бы с полем неподвижной катушки. Вращающее усилие пропорционально произведению силы токов в каждой катушке. Приборы этой системы имеют неравномерную шкалу. Неподвижная катушка наматывается из толстого провода, а подвижная - из большого числа витков тонкой проволоки. Если прибор действует как амперметр, то обмотки катушек соединяются параллельно. В вольтметрах этой системы катушки включены последовательно. Электродинамические приборы нашли широкое применение измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока. Электродинамические ваттметры имеют четыре зажима. К двум из них,

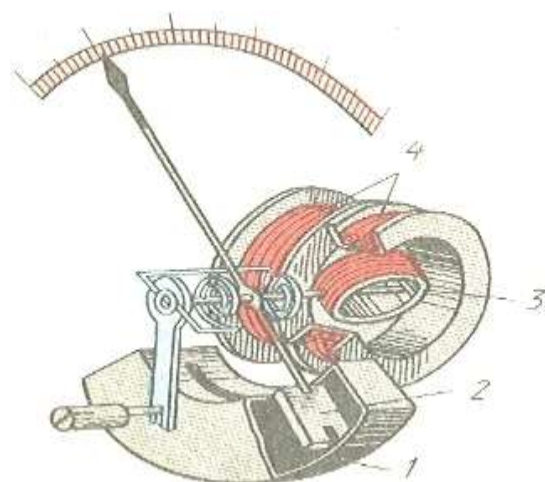


Рис.3

отмеченных буквой А, подключается толстая обмотка. К зажимам, имеющим обозначение Е или V, подводится тонкая обмотка.

Приборы этой системы могут обеспечить высокую точность показаний. Однако эти приборы боятся перегрузки.

Технические характеристики приборов, чувствительность, цена деления, пределы измерения.

Величина, численно равная отношению приращения углового или линейного перемещения  $\Delta n$  указателя прибора к приращению измеряемой величины  $\Delta x$ , вызывающему это перемещение, называется чувствительностью прибора S, т.е

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta x} \quad (1)$$

Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора C:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{\Delta x}{\Delta n} \quad (2)$$

Цена деления прибора равна значению измеряемой величины, вызывающему отклонение указателя на одно деления.

Например, если при измерении тока 2,5 прибора изменила свое положения на 50 делений, то чувствительность прибора по току составит:

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta I} = \frac{50 \text{ дел}}{2,5 \text{ A}}$$

А цена деления

$$C = \frac{\Delta I}{\Delta n} = \frac{2,5 \text{ A}}{50 \text{ дел}} = 0,05 \frac{\text{A}}{\text{дел}} \quad (3)$$

Шкала прибора служит для отчета измерения, цифры возле деления часто обозначают непосредственную

Измеряемой величины. Иногда цифры обозначают число деления от нуля шкалы. В случае равномерной шкалы цену одного деления можно определить так:

$$C = \frac{A_{\max}}{N} \quad (4)$$

Где C- цена деления;

$A_{\max}$  -максимальное значение величины на данном пределе измерения;

N- полное число делений.

Тогда значение искомой величины X равно произведению цены деления на число отсчитанные деление n.

$$x = C \cdot n$$

При неравномерной шкале цена наименьшего деления шкалы может быть различной на различных ее участках. В этом случае для определения цены деления данного участка неравномерной шкалы надо воспользоваться формулой (2). При определении значения искомой величины по числу отсчитанные деления следует учитывать разную цену деления на различных участках шкалы.

Электроизмерительные приборы могут иметь несколько пределов измерения (многопредельные).

Во избежание почти многопредельных приборов их включают сначала на наибольший предел. При наличии одной шкалы приходится делать пересчет цены деления для различных пределов измерения. Рекомендуется заранее определить цену деления прибора для всех пределов данного прибора и таблицу наблюдений записать вначале число деления, а затем значение выбираемой величины.

#### IV. Класс точности и оценка погрешностей электрических измерений.

При правильных условиях применения прибора, которые указаны в паспорте, точность электроизмерительных приборов соответствует указанному классу.

Класс точности  $\gamma$  - это наибольшая допустимая погрешность, выраженная в процентах от максимального показания прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{\max}} \cdot 100 \%$$

Где  $\gamma$  - погрешность (класс точности)

$\Delta A$  - максимальная абсолютная ошибка,

$A_{\max}$  - предел измерения показания прибора (у прибора с нулем не в начале шкалы  $A_{\max}$  определяется как сумма наибольших показаний прибора в положительную и отрицательную сторону).

По классу точности прибора можно определить абсолютную погрешность, вносимую прибором при измерениях.

Абсолютная погрешность считается одинаковой по всей шкале данного прибора. Согласно определению (6) абсолютная погрешность равна:

$$\Delta A = \gamma \cdot \frac{A_{\max}}{100 \%} \quad (7).$$

В специальных приборах высокой точности цена деления шкалы согласована с классом точности приборов. Однако на практике для обычно используемых приборов надо сравнить величину, равную половине цены деления  $C$  прибора в той части шкалы, где установлен указатель при выбранном пределе измерения, с абсолютной погрешностью прибора  $\Delta A$ , рассчитанной по формуле (7).

Если  $0,50 < \Delta A$ , то относительная погрешность  $\varepsilon$  измерения определяется так:

$$E = \frac{\Delta A}{A_x} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{\Delta A}{A_x} \cdot 100 \% \quad (8)$$

Где  $A_x$  - искомая измеряемая величина.

Подставив в формулы 8 из (7), получим:

$$\varepsilon = \gamma \frac{A_{\max}}{A_x \cdot 100 \%} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \gamma \frac{A_{\max}}{A_x} \quad (9)$$

Если  $0,50 > \Delta A$ , то относительная погрешность измерения определяется так:

$$\varepsilon = \frac{0,5C}{A_x} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{0,5C}{A_x} \cdot 100 \% \quad (10)$$

Например, имеется миллиамперметр класса точности  $\gamma = 2,5\%$  с равномерной шкалой на  $I_{\max} = 30 \text{ мА}$  с ценой деления  $1 \text{ мА}$ , который измеряет ток  $I = 10 \text{ мА}$ . Абсолютную погрешность такого прибора найдем по выражению (7)



$$\Delta I = \gamma \frac{I_{\max}}{100 \%} = \frac{2.5 \% 30 \text{ mA}}{100 \%} = 0.75 \text{ mA}$$

Сравним найденную абсолютную погрешность  $\Delta I$  с половиной цены деления прибора  $0,5C=0,5\text{mA}$ . В данном случае  $\Delta I > 0,5C$ , поэтому относительную погрешность определяем по формуле (8):

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I} 100 \% = \frac{0.75}{10} 100 \% = 7.5 \%$$

Следует обратить внимание на то, что в данном случае относительная погрешность  $\varepsilon = 7,5\%$  значительно больше точности прибора  $\gamma = 2,5\%$ . Из выражения (9) и рассмотренного примера видно, что относительная погрешность будет тем, чем меньше значения измеряемой величины.

Для повышения точности измерений приборами данного класса следует по возможности пользоваться для отсчета второй половиной шкалы. В этом случае точность измерений приближается к точности прибора. При измерении целесообразно пользоваться такими приборами, чтобы предполагаемое значение измеряемой величины составляют 70-80% от максимального значения, измеряемого прибором. Поэтому часто применяют приборы, имеющие несколько пределов измерений. При работе такие приборы включают на предел измерений, который достаточно близок к предполагаемому значению измеряемой величины.

Необходимо помнить, включение приборов не должно вносить изменения измеряемых величин. Поэтому при измерении силы тока в цепи надо пропустить через прибор весь ток и следовательно, амперметры включаются последовательно (их сопротивления должны быть малы).

Вольтметры включаются параллельно. Для этого, чтобы он не повлиял на распределение токов и напряжений его внутреннее сопротивление должно быть значительно больше, чем сопротивление измеряемого участка цепи.

Для измерения токов большей силы, чем та, на которую рассчитан амперметр, применяют шунты- это дополнительное сопротивление, которое включается параллельно амперметру. Сопротивление шунта  $R_{ш}$  должно быть меньше сопротивления амперметра  $R_A$  и определяется по формуле

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1} \quad (11)$$

Где  $n$ -число, показывающее во сколько раз ток, прошедший через амперметр, меньше измеряемого тока.

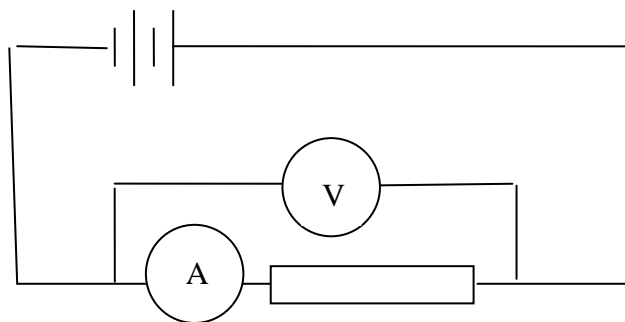
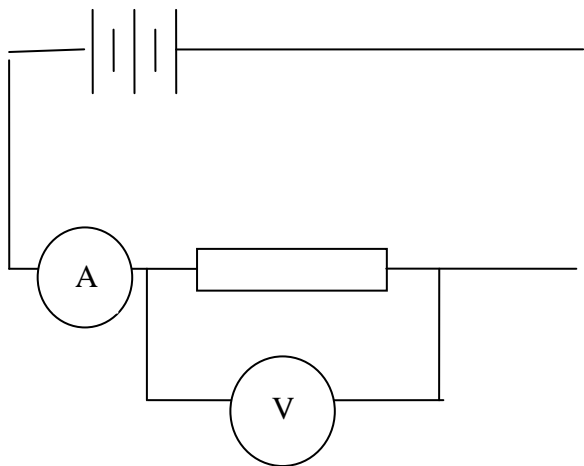
Для изменения пределов измеряемых напряжений к вольтметру подключается последовательно дополнительное сопротивление, величина которой находится по формуле

$$R_g = R_b (n - 1) \quad (12)$$

## V. Порядок выполнения и задание.

Получить у преподавателя необходимые приборы и сопротивления для измерения их.

Задание 1. Определить принцип действия этих приборов, класс точности, цену деления, чувствительность, абсолютную и относительную погрешности.



Задание 2. собрать схему для измерения малых и больших (рис.4и5) сопротивлений с непосредственным измерением  $R$  при помощи омметра. Найти по результатам абсолютную и относительную погрешности, т.е.

$$\Delta R = R_1 - R_x$$

$$\frac{\Delta R}{R}$$

Все результаты занести в таблицу.

№	I		V		$R_x, \text{ ом}$	$\Delta R, \text{ ом}$	$\frac{\Delta R}{R} \cdot 100\%$
	дел.	A	дел.	B			
1.							
2.							
3.							
.							
.							

## VI. Правила безопасности.

1. Включайте собранную цепь только с разрешения руководителя.
2. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепи, лишенных изоляции. Все ключи при сборке должны быть разомкнуты.
3. Прежде чем сделать присоединение цепи, отключите источник питания. Источник тока подключается в последнюю очередь.
4. Сменяйте предохранители только при отключенной цепи.
5. При сборке цепей избегайте пересечений проводов.
6. Не пользуйтесь проводами с изношенной изоляцией.
7. Не размыкайте вторичную цепь трансформатора тока, если его первичная обмотка включена в сеть.
8. Пользуйтесь инструментами с изоляционными ручками.
9. Не трогайте руками электропроводку, рубильники, кабели, моторы. При появлении запаха гари выключите ток.
10. Запрещается тушение очага воспламенения электропроводки до снятия с неё напряжения.

## VII. Контрольные вопросы.

1. Каков принцип работы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической систем?
2. Какие основные условные обозначения указываются на шкале электрическую величину сопротивления  $R_x = \frac{U}{I}$  из вычисления сравнить измерительного прибора?
3. Что называется чувствительностью прибора, его ценой деления и классом точности?
4. Что такое многопредельные приборы и как следует ими пользоваться при проведении электрических измерений?
5. Как определяется абсолютная погрешность электроизмерительного прибора, как она связана с его ценой деления?
6. Как включаются амперметры и вольтметры в цепь и почему?
7. Что такое шунт, как он выбирается и включается?
8. Что такое дополнительное сопротивление, как оно выбирается и включается?
9. Сформулируйте правила техники безопасности.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

#### 1. Цель работы

Изучение принципа действия конструкции, свойства и особенностей магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических, амперметров и вольтметров.

Ознакомление со способами поверки их и опытное определение характеристик этих приборов.

#### II. Содержание работы

1. Ознакомиться с принципом действия конструкций магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических амперметров и вольтметров.

2. Провести внешний осмотр поверяемых и образцовых приборов. Разобраться в обозначениях на шкалах приборов и внести их в протокол.

3. Собрать схему для поверки вольтметра методом сличения его показаний с показаниями образцового прибора и провести опыт поверки.

4. По данным опыта пункта 3 вычислить абсолютные, относительные и приведённые погрешности, вариации показаний прибора и поправки. Построить кривую поправок.

5. Измерить сопротивление вольтметра методом амперметра и вольтметра и вычислить нормальную мощность, потребляемую этим прибором.

6. Повторить пункты 3, 4 и 5 для амперметра.

7. Начертить схематические эскизы измерительных механизмов магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического приборов.

#### III. Пояснения к работе

1. Перед поверкой приборы должны быть прогреты минимальным током в течение 15 минут.

2. Стрелки приборов должны быть поставлены при помощи корректоров на нулевые отметки шкал.

3. Поверке подвергаются основные (оцифрованные) деления шкалы исследуемых приборов.

4. Поверка прибора производится сначала при возрастающих (ход вверх), а затем при убывающих (ход вниз) значениях измеряемой величины. При этом стрелка прибора должна подходить к поверяемой отметке шкалы плавно, не переходя её.

5. При измерении сопротивления прибора необходимо произвести не менее трёх измерений и вычислить среднее арифметическое полученных результатов.

6. При построении кривой поправок  $S = f(U_x)$  или  $\delta = f(y_x)$

поправки откладываются по оси ординат. Полученные точки соединяются прямыми линиями.

#### IV. Схемы соединений

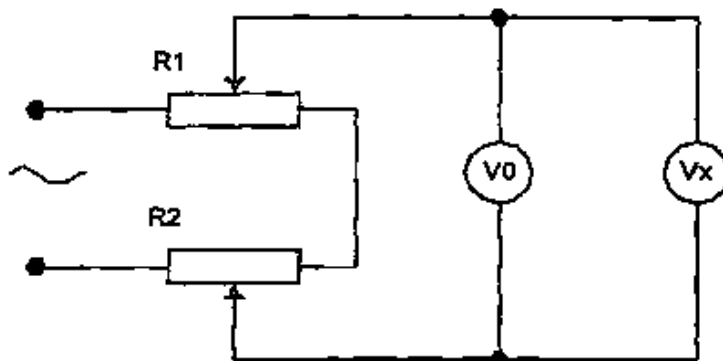


Рис. 6 Поверка вольтметра

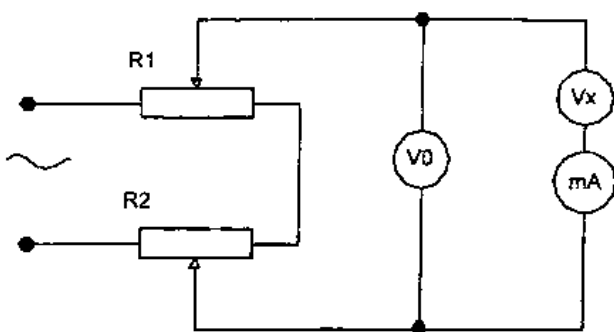


Рис. 7. Измерение сопротивления вольтметра

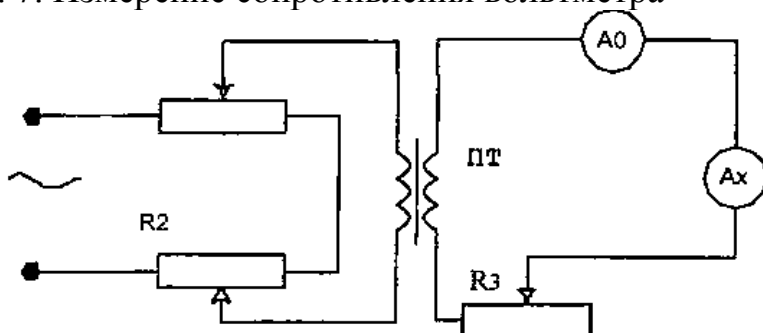


Рис. 8 Поверка амперметра

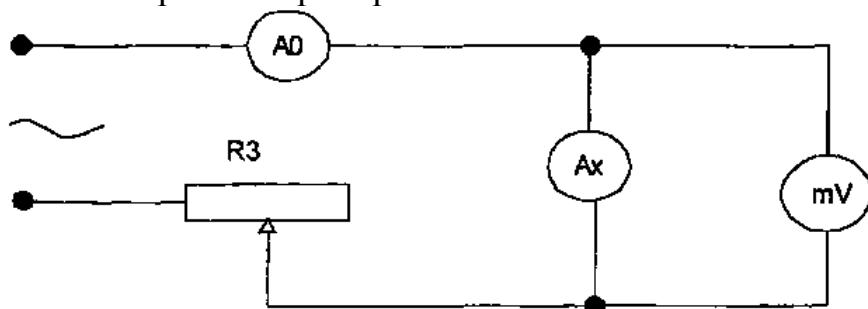


Рис. 9 Измерение сопротивления амперметра

Обозначения на схемах:

$V_0$ ,  $A_0$  - вольтметр и амперметр образцовые,  $V_x$ ,  $A_x$  - вольтметр

и амперметр поверяемые, mA - миллиамперметр, mV - милливольтметр, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> - реостаты, ПТ - понижающий трансформатор.

## V. Таблицы результатов измерений и вычислений

### Поверка вольтметра

Таблица 2.1

№	$U_x$	$U_0'$		$U_0''$		$U_{0\text{cp}}$	$\Delta'$	$\Delta''$	$\beta$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
изм	<i>B</i>	дел	<i>B</i>	дел	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>в</i>	<i>в</i>	%	%	%	<i>B</i>
<b>1</b>												
<b>2</b>												
<b>3</b>												

### Измерение сопротивления вольтметра

Таблица 2.2

№	$U_0$		$I_\gamma$		$R_\gamma$	$R_{CP}$	$P_{Im}$
изм.	дел	<i>B</i>	дел	<i>mA</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Вт</i>
<b>1</b>							
<b>2</b>							
<b>3</b>							

### Поверка амперметра

Таблица 2.3

№	$I_x$	$I_0'$		$I_0''$		$\Delta'$	$\Delta''$	$\beta$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\Delta'$
изм	дел	дел	<i>A</i>	дел	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>		%	%	%	<i>A</i>
<b>1</b>												
<b>2</b>												
<b>3</b>												
<b>4</b>												
<b>5</b>												

№	$U_A$		$I_0$		$R_A$	$R_{CP}$	$P_{AM}$
изм	дел В		дел мА		Ом	Ом	Вт
1							
2							
3							

Таблица 2.4. Измерение сопротивления амперметра ;

Обозначения в таблицах;

№, *изм.* - номер и число измерений;

$U_x, I_x$  - показания поверяемых приборов; ;

$U_0', I_0'$  - показания образцовых приборов при ходе вверх;  $U_{0CP}, I_{0CP}$  - среднее значение образцовых приборов при ходе вверх и вниз;

$I_V, U_A$  ~ показания миллиамперметра и милливольтметра.

## VI. Расчётные формулы

1. Абсолютная погрешность показаний вольтметра при ходе

вверх  $\Delta = U_x - U_0$

вниз,  $\Delta'' = U_x - U_0''$

2. Наибольшая относительная погрешность показаний вольтметра

$$\beta = \frac{\Delta'}{U_0'} 100 \%$$

$$\beta = \frac{\Delta''}{U_0''} 100 \%$$

3. Наибольшая приведённая погрешность показаний вольтметра

$$\beta = \frac{\Delta' (\text{или } \Delta'')}{U_{XM}} 100 \%$$

4. Вариация показаний вольтметра

$$\gamma = \frac{U_0' - U_0''}{U_{XM}} 100 \%$$

Здесь и в предыдущих формулах  $U_{XM}$  - верхний предел измерения вольтметра.

5. Поправка для вольтметра

$$\delta = U_{0CP} - U_x$$

Здесь  $U_{0CP} = \frac{U_0' + U_0''}{2}$

6. Сопротивление вольтметра

$$R_V = \frac{U_0}{I_V}$$

7. Номинальная мощность, потребляемая вольтметром  $u \setminus$ .

$$P_{VN} = \frac{U_{XM}^2}{R_{VCP}}$$

## VII. Основные вопросы

1. Объясните принцип действия магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического приборов.
2. Какие общие детали имеют измерительные механизмы электромеханических приборов?
3. Каково назначение спиральных пружинок, корректора, успокоителей? Как уравнивается подвижная часть прибора?
4. Что такое относительная и приведённая погрешности и вариация показаний прибора?
5. Что такое абсолютная погрешность показаний прибора и поправка?
6. Чем отличается друг от друга амперметр и вольтметр одной и той же системы?
7. Как производится расширение пределов измерений магнитоэлектрических, электродинамических и электромагнитных амперметров и вольтметров?
8. Какие значения токов и напряжений (мгновенные, амплитудные, действующие, средние) измеряют эти приборы?
9. Какова область применения этих приборов?
10. На какие классы разделяются приборы по степени точности? Какая величина определяет класс точности прибора?
11. Какие обозначения наносятся на шкалах приборов? Объясните маркировку приборов, использованных в работе.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

### 1. Цель работы

Изучение методов обработки результатов измерений, экспериментального определения наиболее вероятного значения измеряемой величины, дисперсии измерений и кривой распределения погрешностей измерений

### II. Теоретическое введение к работе.

Пусть в одних и тех же условиях проведено  $N$  измерений и  $X_i$ -результат  $i$ -го измерения. Наиболее вероятное значение измеряемой величины её среднее значение (арифметическое)

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Величина  $X$ - стремится к истинному значению  $X$  измеряемой величины при  $N \rightarrow \infty$

Средней квадратичной погрешностью отдельного результата называется величина:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}{n-1}}$$

При  $n \rightarrow \infty$  стремится к постоянному пределу Величина  $D = \sigma^2$  называется дисперсией измерения. С увеличением  $\sigma$  увеличивается разброс отсчетов, т.е. становится ниже точность измерений. Величина служит основным параметром, определяющим вид кривой распределения случайных погрешностей.

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n$$

Нормальный закон распределения (Гауссовское распределение) выражается формулой:

$$y(\sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}$$

$\Delta X_i = X_i - \bar{X}$  -отклонение от истинного значения,  $e = 2,72$  -значение натурального логарифма.

Средней квадратичной погрешностью среднего арифметического называется величина:

$$\sigma_{nX} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}}$$

Это функциональный закон возрастания точности при росте числа измерений. Вероятность того, что истинное значение  $(X - X_i)$  находится внутри некоторого интервала от  $(\bar{X} - \Delta X)$  до  $(\bar{X} + \Delta X)$  называется доверительной вероятностью (коэффициентом надежности), а интервал - доверительным интервалом.

При достаточно большом значении  $n$  доверительному интервалу  $\bar{X} \pm \sigma$  соответствует  $p=0.68$ , интервалу  $\bar{X} \pm 2\sigma$  -  $p=0.95$  и интервалу  $\bar{X} \pm 3\sigma$   $p=0.997$  Окончательный результат измерений записывается в виде:

$$X_n = \bar{X} \pm \sigma_n \bar{X}$$

При таком числе измерений заданному значению  $P$  соответствует несколько большой доверительный интервал по сравнению с указанными выше значениями. Множители определяющие величину интервала в долях в зависимости от  $P$  и от  $n$  называются коэффициентами Стьюдента.

Таким образом, можно констатировать:

1. Величина среднеквадратичной погрешности позволяет вычислить вероятность попадания истинного значения измеряемой величины в любой интервал вблизи среднего арифметического.
2. Промежуток, т.е. интервал, в котором с заданной вероятностью находится истинное значение  $x$ , стремится к 0 с увеличением числа измерений.

Казалось бы, увеличивая  $n$ , можно получить результат с любой точностью. Однако точность увеличивается до тех пор, пока случайная погрешность не станет сравнимой с систематической. Дальнейшее увеличение числа измерений не целесообразно, т.к. конечная точность результата будет зависеть от систематической ошибки. Зная величину систематической ошибки, нетрудно задаться допустимой величиной случайной ошибки, взяв ее например равной 10% от систематической.

Задавая для выбранного таким образом доверительного интервала определенное значение  $P$  (например  $P=0.95$ ) нетрудно найти необходимое число измерений, гарантирующее малое влияние случайной ошибки на точность результата. Для этого удобнее всего воспользоваться табл.3.1. в которой интервалы даны вдоль величины 1, называемой стандартом измерений и не являющейся мерой точности данного опыта по отношению к случайным погрешностям.

Следует указать, что при не слишком высокой точности измерительных приборов случайными погрешностями можно пренебречь по сравнению с погрешностями измерительного прибора. В этом случае для получения результата достаточно одного отсчета. При этом максимально возможная погрешность задается классом точности прибора.

Ниже излагается алгоритм обработки результатов измерений; состоящий из 10 этапов.

Результаты каждого измерения записываются в таблицу.

Вычисляется среднее значение из  $n$  измерений.

3. Находятся погрешности отдельного измерения:

$$\Delta X_i = \bar{X} - X_i$$

4. Вычисляются квадраты погрешностей отдельных измерений:

$$(\Delta X_1)^2 \quad (\Delta X_2)^2 \quad \dots \dots (\Delta X_n)^2$$

5. Определяется среднеквадратичная погрешность среднего арифметического:

6. Задается значение доверительного интервала Р.

7. Определяется коэффициент Стьюдента  $t_{np}$  для заданного Р и числа измерений n.

8. Находится доверительный интервал (погрешность результата измерений):

$$\Delta X = t_{np} \cdot \Delta \sigma_x$$

9. Окончательный результат записывается в виде:

$$\Delta X = t_{np} \cdot \Delta \sigma_{\bar{x}}$$

10. Оценивается относительная погрешность результатов измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X} 100 \quad \% \quad X = \bar{X} \pm \Delta X$$

### III. Содержание работы

1. Ознакомиться с понятием среднего арифметического и истинного значений измеряемой величины, среднеквадратичной погрешности, дисперсией измерений доверительной вероятности и коэффициента Стьюдента.

2. Провести внешний осмотр генератора (ГИ) и счетчика импульсов (СИ), ознакомиться с их паспортными данными.

3. Собрать схему измерений по рис.3.2 и произвести измерение числа импульсов за определенное время.

4. Провести обработку результатов измерений по вышеуказанной методике.

5. Построить кривые зависимости погрешности от числа измерений и экспериментально найденного нормального (Гауссовского) закона распределения.

### IV. Пояснение к работе

1. Для определения X следует подать на счетчик импульсов СИ от генератора импульсов ГИ последовательность импульсов с частотой генератора 500 Гц и 1000 Гц.

2. С помощью СИ просчитать число импульсов за 5 сек. (время отсекать кнопкой пересчетного механизма). Измерение проделать до 100 раз для каждой последовательности импульсов.

3. Провести обработку результатов измерений по вышеуказанной методике.

4. Выбрать масштаб и построить график экспериментального распределения погрешностей по оси  $X$  - величину отклонения от средней, по оси  $Y$  — относительное число измерений с отложением в заданном интервале. На этом же графике нанести кривую Гаусса с экспериментально определенной дисперсией.

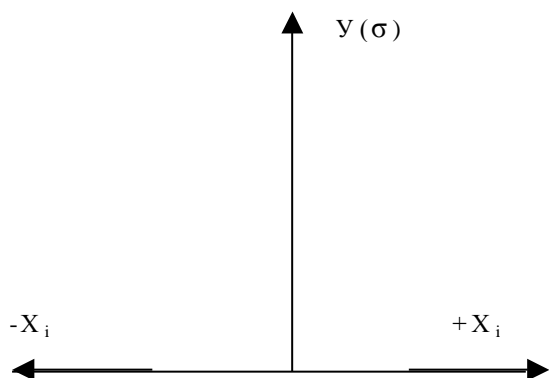
5. Найти ошибку измерений для  $n = 100, 50, 10$ , и используя коэффициент Стьюдента.

6. Для обработки результатов на ЭВМ согласно схеме алгоритма на рис.3 составить программу.

### Таблица расчетов и график функции $y(\sigma)$

Таблица 3.2.

	$X_i$	$X$	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$\Sigma(x_i - x)^2$	$\Delta \sigma x$	$\sigma_n$	$X$	$Y$
1									
2									
3									



1. Какие виды погрешностей знаете?
2. Как устраняются погрешности приборов и измерений?
3. Что такое среднеарифметическое и истинное значение измеряемой величины?
4. Как определяется среднеквадратическая погрешность и дисперсия измерений?
5. Что такое доверительная вероятность и коэффициент Стьюдента?
6. Что такое нормальный закон распределения погрешностей Гаусса?
7. Как записывается окончательный результат измерений?

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 РАСЧЕТ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

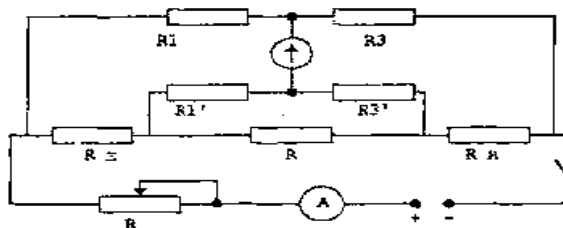
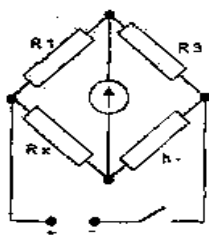
## I. Цель работы

Изучение мостовых методов измерения сопротивлений. Знакомство с устройством одинарного и двойного мостов постоянного тока и овладение техникой измерений на них.

## II. Содержание работы

1. Ознакомиться с теорией одинарного и двойного мостов постоянного тока. Начертить их принципиальные схемы.
2. Ознакомиться с устройством и паспортными данными одинарно-двойного моста типа Р329.
3. Разобраться в схемах внешних соединений одинарно-двойного моста и начертить схемы.,
4. Собрать схему и измерить заданные сопротивления одинарным мостом.
5. Собрать схему и измерить заданные сопротивления двойным мостом.
6. Определить погрешность мостов.
7. Определить чувствительность моста.

## III. Принципиальные схемы мостов постоянного тока



## IV. Пояснения к работе и расчётные формулы

1. Сопротивление, определяемое по схеме одинарного моста, рассчитывается по формуле

$$R_x = R_1 \frac{R_2}{R}$$

2. Сопротивление, определяемое по схеме двойного моста, рассчитывается по формуле

$$R_x = R_1 \frac{R_2}{R_2'}$$

Сопротивление  $R_2$ , не содержащееся в расчётной формуле, должно быть установлено равным сопротивлению  $R_2'$ .

3. При измерениях на мостах необходимо вначале установить соответствующие сопротивления так, чтобы путём расчёта по вышеприведённым формулам получалось ожидаемое значение измеряемого сопротивления.

4. При измерениях по схеме двойного моста при помощи регулировочного сопротивления устанавливают по амперметру рабочий ток, не превышающий номинальный ток используемого образцового сопротивления.

5. Погрешность моста определяется по формуле:

$$\beta = \frac{R_0' - R_0}{R} 100\%$$

Здесь  $R_0$  - номинальное значение измеряемого образцового сопротивления,  $R_0'$  - значение сопротивления, измеренное при помощи мостов.

Чувствительность моста определяется по формуле:

$$S_M = \frac{\Delta\alpha \text{ дел}}{\frac{\Delta R_x}{R_1} 100 \%}$$

где  $\Delta\alpha$  - изменение угла отклонения гальванометра, вызванное изменением сопротивления  $R_1$  на величину  $\Delta R_x$

## V. Таблицы результатов измерений и вычислений

Результаты измерений одинарным мостом.

Таблица 4.1.

№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_x$	$R_{МАГ}$
изм	Ом	Ом	Ом	Ом	<b>Ом</b>
1.	22,1	1_ 1000	100	221	220
2.	33,1	1000	100	331	330
3.	45,1	1000	100	451	450
4.	56,0	1000	100	561	560

Результаты измерений двойным мостом

Таблица 4.2.

№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_H$	$R_{МАГ}$	$R_x$
изм	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	<b>Ом</b>
1.	86	100	100	1	0,8	<b>0,86</b>
2.	94	100	100	1	0,9	0,94
3.	106	100	100	1	1	1,06
4.	202	100	100	1	2	2,02

## VI. Контрольные вопросы.

1. Каково назначение одинарного и двойного мостов постоянного тока?
2. Начертите принципиальные схемы этих мостов.
3. Напишите условия равновесия одинарного и двойного
4. Почему одинарным мостом нельзя точно измерить малые сопротивления?
5. Благодаря чему обеспечивается высокая точность измерения малых сопротивлений двойным мостом?
6. Почему во время работы на двойном мосте устанавливают  $R = R_1', R_2 = R_2'$  ? Можно ли уравновесить двойной мост при неравенстве указанных сопротивлений?
7. Почему сопротивление  $R$  в схеме двойного моста должно быть мало?
8. Почему для точного измерения малого сопротивления последнее должно иметь потенциальные и токовые зажимы?
9. От чего зависит чувствительность моста постоянного тока?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 РАСЧЕТ ПОТЕНЦИОМЕТРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

### I. Цель работы:

Изучение компенсационного метода измерения на постоянном токе. Знакомство со схемой и устройством потенциометра постоянного тока типа Р 37-1. Овладение техникой измерений на нем. Знакомство с методами измерения при помощи потенциометра постоянного тока различных электрических величин- напряжения, тока и сопротивления.

### II. Краткое описание потенциометра Р 37-1.

Потенциометр Р 37-1 имеет две цепи с рабочими токами  $I_A = I_B = 1$  мА. В цепь А входят резисторы  $R_1$ - $R_5$ , в цепь В -резисторы  $R_6$ - $R_{14}$ . Резисторы  $R_2$ (20x100 Ом),  $R_3$ (11x10 Ом) и  $R_6$ (10x1 Ом) образуют соответственно I, II, III измерительные декады потенциометра.

Резистор  $R_7$ (10x1 Ом) имеет три ряда контактов, по каждому из которых перемещается щетка одного из трех переключателей. Последовательно с щетками переключателей включены добавочные резисторы  $R_8$ (10К),  $R_9$ (10К),  $R_{10}$ (100К).

В цепи В имеется также добавочный резистор  $R_{11}$  (81,82к) и шунтирующий резистор  $R_{12}$ (1,1248к).

Для цепи В можно составить следующие уравнения:

$$R_3 = \frac{\frac{R_8 R_{12}}{R_8 + R_{12}} \left( R_{11} + \frac{R_9 R_{10}}{R_9 + R_{10}} \right)}{\frac{R_8 R_{12}}{R_8 + R_{12}} + R_{11} + \frac{R_9 R_{10}}{R_9 + R_{10}}}$$

$$I_8 = I_B \frac{R_3}{R_8}, \quad I_{12} = I_B \frac{R_3}{R_{12}},$$

$$I_{11} = I_8 - I_B - I_{12},$$

$$I_9 = I_{11} \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}}, \quad I_{10} = I_{11} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}}.$$

Определенные по этим уравнениям токи при  $I_B = 4$ мА и при указанных выше значениях сопротивлений цепи В следующие значения:

$$I_8 = 0,1 \times I_B = 0,1 \text{ МА}$$

$$I_9 = 0,01 \times I_B = 0,01 \text{ МА}$$

$$I_{10} = 0,001 \times I_B = 0,001 \text{ МА}$$

Падения напряжения, созданные токами  $I_8$ ,  $I_9$ ,  $I_{10}$  на секциях сопротивления  $R_7$ , относятся друг к другу как и соответствующие

токи. Таким способом на одном и том же ряде сопротивлений R7 создаются IV, V, VI измерительные декады потенциометра.

Магазин резисторов R<sub>1</sub> служит для грубой, средней и тонкой регулировки рабочего тока I<sub>A</sub>, магазин резисторов R<sub>14</sub>-для аналогичной регулировки тока I<sub>B</sub>.

Сопротивление девяти секций декады I и все сопротивления декады II вместе с постоянным сопротивлением R<sub>4</sub> (8 Ом) и регулируемым сопротивлением R5 (18 x 0,05 Ом) составляют сопротивление

$$R_H = 900 + 110 + 8 + (0,05 + 0,09) = 1018,05 + 1018,9 \text{ Ом}$$

служащие для установки рабочего тока I<sub>A</sub>. Сопротивление R5 должно быть выбрано в соответствии со значением ЭДС нормального элемента, которая зависит от температуры окружающей среды (указывается преподавателем).

При установке рабочего тока I<sub>A</sub>, регулируя сопротивление резисторов R<sub>1</sub>, добиваются нулевого отклонения гальванометра, подключенного к зажимам Г1 при помощи специального переключателя (на схеме не показанного), что будет наблюдаться при компенсации ЭДС нормального элемента падением напряжения на сопротивлении R<sub>H</sub>.

Если, например, ЭДС E<sub>H</sub> = 4,0186 В, то при установленном сопротивлении R<sub>H</sub> = 4018,6 Ом рабочий ток на основании равенства E<sub>H</sub> = I<sub>A</sub> \* R<sub>H</sub> будет равен

$$I_A = \frac{E_H}{R_H} = \frac{4,0186}{4018,6} = 1 \text{ mA}$$

Для установки рабочего тока I<sub>B</sub> используются 10 секций резистора R<sub>3</sub>, составляющих сопротивление 100 Ом, и сопротивление R<sub>13</sub> (100 Ом). Регулируя сопротивление резистора R<sub>14</sub>, добиваются нулевого отклонения гальванометра, подключённого к зажимам Г2. Это будет соответствовать взаимной компенсации падений напряжения на указанных сопротивлениях, что возможно лишь при равенстве протекающих по этим сопротивлениям токов. Следовательно, I<sub>B</sub> = I<sub>A</sub> = 1 мА.

При установленных рабочих токах падения напряжения на каждой секции измерительных декад будут иметь значения, приведённые в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Декада	Сопротивление секции	Ток	Падение напряжения
	Ом	мА	мВ
I II III IV V VI	100 10 1 1 1 1	1 1 1 0,1 0,01 0,001	100 10 1 0,1 0,01 0,001



Для измерения  $E_x$  гальванометр нужно подключить к зажимам ГЗ (переключатель гальванометра надо поставить в положение XI или X2). Путём последовательного изменения положения переключателей декад (начиная с первой декады) добиваются компенсации измеряемой ЭДС или напряжения суммарным падением напряжения на измерительных декадах потенциометра, что определяется по нулевому отклонению гальванометра.

Максимальное напряжение, которое может быть измерено потенциометром и которое определяет верхний предел измерения потенциометра, равно сумме падений напряжения на всех секциях всех измерительных декад.

$$U_M = 20 \times 100 + 11 \times 10 + 10 \times 0,1 + 10 \times 0,01 + 10 \times 0,001 = 2121,11 \text{ мВ} = 212111 \text{ В}$$

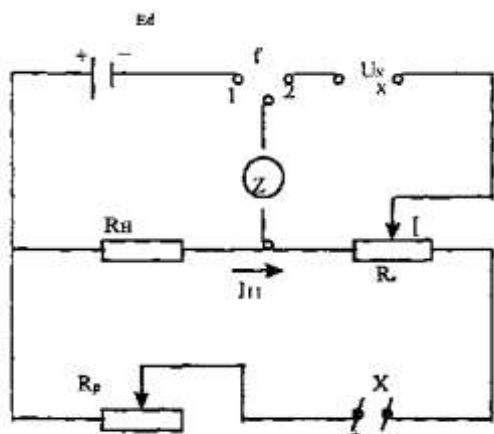
Для увеличения этого предела измерения применяются образцовые делители напряжения.

### III. Содержание работы

1. Изучить по учебнику принципиальную схему потенциометра постоянного тока.
2. Ознакомиться со схемой потенциометра постоянного тока типа Р 37-1. Начертить ее и привести в отчете.
3. Ознакомиться с внешним устройством потенциометра Р 57-1. Выяснить назначение его отдельных элементов. Начертить внешний вид панели потенциометра.
4. Ознакомиться с паспортными данными потенциометра и 5сей другой вспомогательной аппаратуры и записать их.
5. Собрать схему для поверки вольтметра. Установить в цепях потенциометра рабочие токи. Произвести поверку вольтметра.
6. Собрать схему для поверки амперметра. Проверить рабочие токи. Произвести поверку амперметра.
7. Собрать схему для измерения заданного сопротивления и смерить его.

### IV. Схемы соединений.

Схемы электрических соединений приводятся на рисунках 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 и 5.5.



### V. Пояснения к работе и расчетные формулы.

1. При сборке схем обратить особое внимание на то, чтобы полярность источников напряжения совпадала с полярностью зажимов потенциометра.

2. Поверка амперметра и вольтметра производится на деления шкалы, указываемых преподавателем.

Напряжение  $U_0$  при поверке вольтметра определяется по формуле

$$U_0 = K_d U_n$$

Здесь  $U_n$  - отсчет на потенциометре,

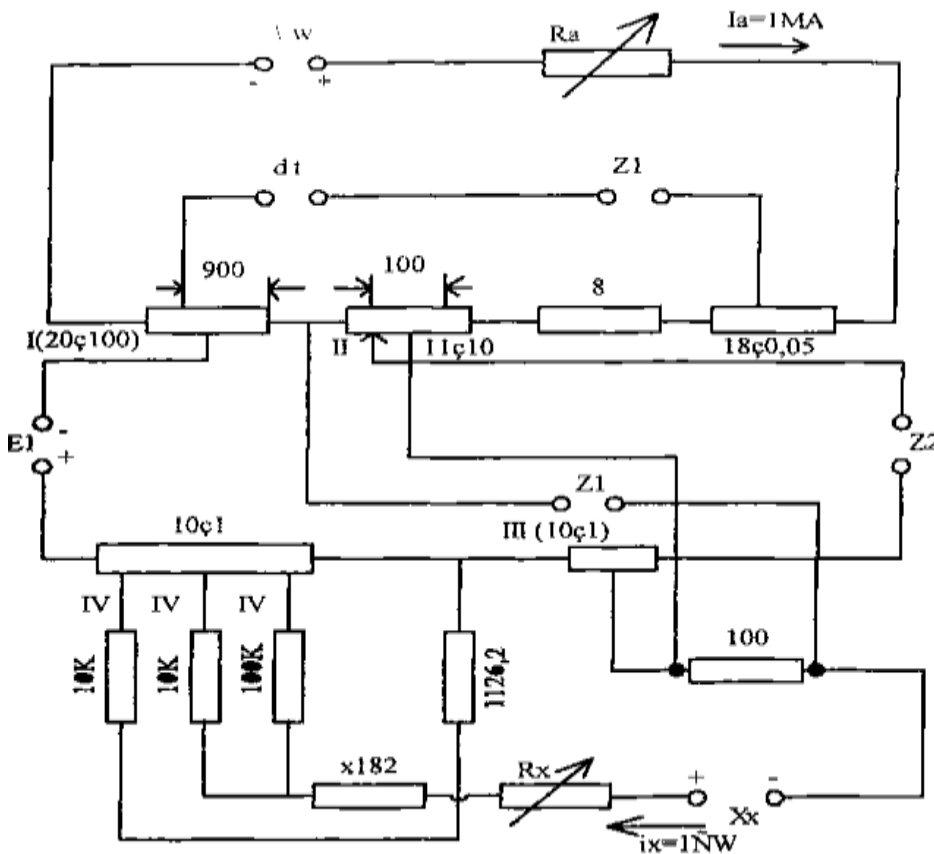
$K_d$  - коэффициент деления делителя напряжения. Ток, протекающий через поверяемый амперметр, вычисляется по формуле

$$I_0 = U_R / R_0$$

Здесь  $U_R$  - падение напряжения на образцовом сопротивлении  $R_0$ . Вычисление поправок абсолютных и приведенных погрешностей производится по формулам, приведенным в работе 1.

3. Схемы для измерения сопротивлений и расчетную формулу взять из учебников. Таблицу составить самим.

4. Во время работы на потенциометре все регулировки нужно производить так, чтобы указатель гальванометра не уходил за пределы шкалы.



$$R_2 = (20 \times 100);$$

$$R_3 = (11 \times 100)$$

$$R_4 = 8.$$

$$R_5 = (11 \times 0,05)$$

$$R_5 = (11 \times 0,05)$$

$$R_6 = (10 \times 1)$$

$$R_7 = (10 \times 1)$$

$$R_8 = 10 \text{ K};$$

$$R_9 = 10 \text{ K};$$

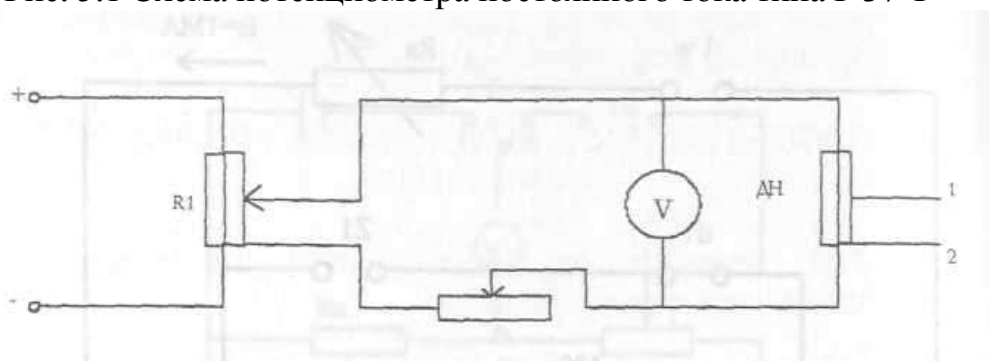
$$R_{10} = 100 \text{ K};$$

$$R_{11} = 81,82 \text{ K};$$

$$R_{12} = 1,1248 \text{ K};$$

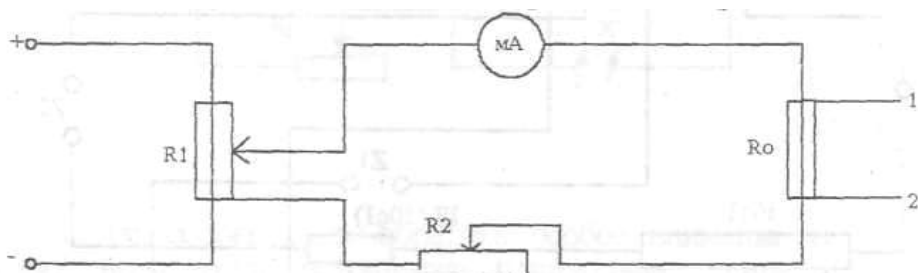
$$R_{13} = 100;$$

Рис. 5.1 Схема потенциометра постоянного тока типа Р 37-1



К зажимам "X" - потенциометра

Рис. 5.2 Схема для проверки вольтметра.



К зажимам "X" потенциометра

Рис. 5.3 Схема для проверки амперметра.

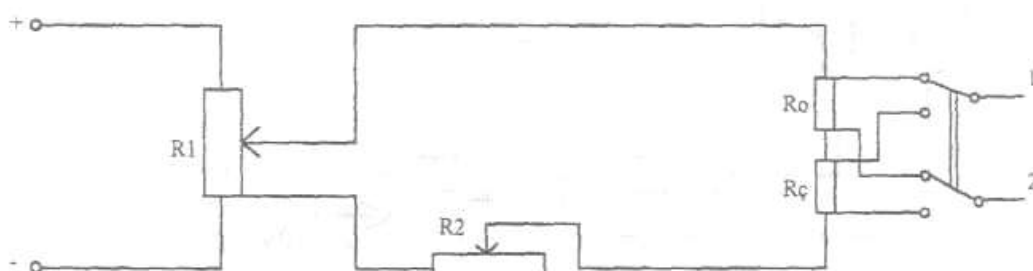


Рис. 5.4 Схема для измерения сопротивления.

## VI. Таблицы результатов измерений и вычислений.

### Поверка вольтметра

Таблица 5.2.

№ Изменения	$U_x$		$U_o$	$\delta$	$\Delta$	$\beta$
	дел.	В	В	В	В	%

## Поверка амперметра

**Таблица 5.3.**

Измерения	$I_x$		$U_R$	$I_o$	$\delta$	$\Delta$	$\beta$
	дел.	мА	В	мА	мА	мА	%

### Контрольные вопросы

1. В чём заключается компенсационный метод измерения на постоянном токе? Начертите и объясните принципиальную схему потенциометра постоянного тока.

2. Имеется какое-либо отличие схемы потенциометра Р37-1 от принципиальной схемы и в чём оно состоит?

3. Покажите на схеме потенциометра Р37-1 цепи рабочих токов  $I_A$  и  $I_B$ . Как устанавливаются эти токи?

4. На что влияет температура окружающей среды и как это влияние учитывается на потенциометре?

5. Докажите, что при правильно подобранном сопротивлении  $R_H$  и нулевом отклонении гальванометра, подключённого к зажимам П, ток  $I_A = 4$  мА.

6. Определите путём расчёта токи в ветвях цепи В при  $I_B = 1$  мА.

7. Объясните, каким образом на одном и том же ряде секций резистора R7 получаются IV, V, VI измерительные декады потенциометра.

8. Покажите на схеме потенциометра: из каких составляющих складывается результирующее компенсирующее напряжение.

9. Определите верхний предел измерения потенциометра постоянного тока. Как его можно увеличить?

10. Какие достоинства имеют потенциометры постоянного тока? Для чего они применяются?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. «Ўзбекистон Республикасида стандартлаштиришга оид ишларни ташкил Қилиш» Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг Қарори. №93. 2 феврал 1992й.
2. «Метрология, стандартлаштириш» бўйича Ўзбекистон Республикаси Қонуни. 28 декабр 1993й.
3. П.Р. Исматуллаев, З.Т. Тўхтамуродов, А.Х. Абдуллаев, Р.А. Сайдазова. Введение в стандартизацию, метрологию и сертификацию. Т., 1995, с. 181.
4. И.Ф. Шишкин. Метрология, стандартизация и управление качеством. М., Издательство стандартов, 1990г., с. 330.
5. А.Ф. Ряполов. Сертификация, метрология и практика. М., издательство стандартов, 1987г., с. 227.
6. РСТ Уз 1 – 92. «ГСС РУз Основные положения»; РСТ Уз 1.1 – 92 «ГСС РУз. Порядок разработки согласования, утверждения и регистрации стандартов РУз»; РСТ Уз 1.2 – 92 «ГСС РУз. Порядок разработки, согласования, утверждения и регистрации стандартов предприятия»; РСТ Уз 1.10 – 93 «ГСС РУз. Основные термины и определения».
7. ГОСТ 1.5 – 85. «ГСС. Построение содержание, изложение и оформление стандартов».
8. РСТ Уз 5.0 – 92. «НСС РУз. Основные положения», РСТ Уз 5.5 – 93 «НСС РУз. Основные термины и определения», РД Уз 00036951-013-92 «НСС РУз., Порядок подготовки проведения сертификации. Основные требования»
9. Система качества. Сборник нормативно-методических документов. М., Госстандарт, 1989г.
10. Основы метрологии и электрические измерения. Под. Ред. Е.М. Душина – Л; Энергоиздат.1987г.
11. Метрология и электроизмерительная техника. Под. Ред. В.И. Малиновского – М.: МЭИ, 1986.
12. Ш.А. Қодирова ва бошқалар. Метрология асослари ва электр ўлчашлар. Лаб. ишлари. Тошкент. 1995й.
13. П.Р. Исматуллаев ва бошқалар. Метрология стандартлаштириш ва сертификатлаштириш. Тошкент. ТДТУ., 2001й.
14. Никифоров А.Д. «Метрология, стандартизация и сертификация» М.,

Высшая школа 2002г.

### Дополнительная литература

1. ИСО 9000 сериясидаги халқаро стандартлар. Т. Тўхтамуродов, Э.А. Маъруфов, П.Р. Исматуллаев. Сифат ва сертификат. Услугий кулланма. Конструктор ИЧБ. Тошкент, 1993 й.
2. Сайт: [www.tntrgovuz.spb.ru](http://www.tntrgovuz.spb.ru)
3. Сайт: [www.anares.ru/oik](http://www.anares.ru/oik)
4. Сайт: [www.rtsoft.ru](http://www.rtsoft.ru). Информационно-методическое обеспечение

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА -1. Расчет электроизмерительного прибора.....	4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА -2. Исследование амперметров и вольтметров различных систем.....	12
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА -3. Обработка результатов измерения.....	17
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА -4. Расчет мостов постоянного тока.....	21
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА -5. Расчет потенциометра постоянного тока.....	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	29



