

Лабораторная работа №1
Изучение электроизмерительных приборов.
Сборка электрических цепей

Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом действия и использования электроизмерительных приборов различных систем; приобретение навыков сборки электрической цепи и проведения простейших электрических измерений.

Приборы и принадлежности



амперметр Э514



вольтметр Э515



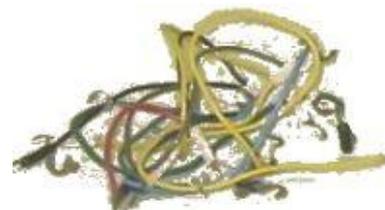
реостат – 30 Ом, 5А



источник BC 4-12



переключатель (ключ)



соединительные провода

Теоретическое введение

1. Классификация и технические характеристики электроизмерительных приборов

К электроизмерительным приборам относятся приборы для измерения силы тока (амперметры), напряжения (вольтметры), сопротивления (омметры), мощности (ваттметры) и так далее в цепях постоянного и переменного токов.

На панелях электроизмерительных приборов указываются технические характеристики:

- единицы измеряемых величин (табл. 1);
- система прибора (табл. 2);
- наличие защиты измерительной цепи от магнитных или электрических полей и вид преобразователя (табл. 3);
- рабочее положение прибора и испытательное напряжение изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу (табл. 4);
- род тока и число фаз (табл. 5);
- класс точности прибора;
- устойчивость к климатическим воздействиям.

Также могут быть указаны: внутреннее сопротивление измерительного механизма; ток, отклоняющий стрелку на всю шкалу прибора; падение напряжения на внутреннем сопротивлении; год изготовления и заводской номер.

Таблица 1

Единицы физических величин			Приставки и множители			
наименование	обозначение		приставка	множитель	обозначение	
	рус.	международ.			рус.	международ.
ампер	А	А	иотта	10^{24}	И	Y
вольт	В	V	зетта	10^{21}	З	Z
ом	Ом	Ω	экса	10^{18}	Э	E
фарад ¹	Ф	F	пета	10^{15}	П	P
генри	Гн	H	тера	10^{12}	Т	T
ватт	Вт	W	гига	10^9	Г	G
вар	вар	var	мега	10^6	М	M
коэффициент мощности		$\cos\phi$	кило	10^3	к	k
коэффициент реактивной мощности		$\sin\phi$	гекто	10^2	г	h
герц	Гц	Hz	дека	10^1	да	da
тесла	Тл	T	деци	10^{-1}	д	d

¹ Ранее единица употреблялась в женском роде.

сименс	См	S	санти	10^{-2}	с	с
децибел	дБ	dB	милли	10^{-3}	м	m
вебер	Вб	Wb	микро	10^{-6}	мк	μ
			нано	10^{-9}	н	n
			пико	10^{-12}	п	p
			фемто	10^{-15}	ф	f
			атто	10^{-18}	а	a
			зепто	10^{-21}	з	z
			иокто	10^{-24}	и	y

Таблица 2. Условные обозначения систем приборов

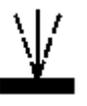
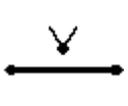
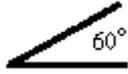
система прибора	обозначение	система прибора	обозначение
Магнитоэлектрическая с подвижной рамкой		Магнитоэлектрическая с подвижным магнитом	
Электромагнитная		Электродинамическая	
Ферродинамическая		Электростатическая	
Вибрационная		Термопара (термопреобразователь) изолированная	
Биметаллическая		Термопара (термопреобразователь) неизолированная	

Таблица 3. Обозначения, характеризующие вид преобразователя и наличие защиты измерительной цепи

Наименование	Обозначение
Выпрямитель	
Электронное устройство – преобразователь в измерительной цепи	
Магнитный экран	
Электрический экран	

Таблица 4. Обозначения, характеризующие рабочее положение приборов и прочность изоляции по отношению к корпусу

наименование	обозначение
Вертикальное положение	
Горизонтальное положение	

Наклонное положение (например, 60°) относительно горизонтальной плоскости	
Изоляция измерительной цепи от корпуса испытана под напряжением 2 кВ	
Изоляция измерительной цепи от корпуса испытана под напряжением 500 В	
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи не соответствует нормам!	
Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте прибора	

По устойчивости к климатическим воздействиям электроизмерительные приборы делятся на группы А, Б, В. Приборы группы А предназначены для работы в сухих, отапливаемых помещениях; Б – в неотапливаемых помещениях; В – для работы в полевых или морских условиях.

Кроме того, в соответствии с ГОСТ электроизмерительные приборы классифицируются также:

- по положению нулевой отметки на шкале: с односторонней шкалой, двусторонней симметричной шкалой, двусторонней несимметричной шкалой и безнулевой шкалой;

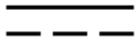
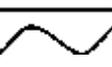
- по количеству диапазонов измерений: однопредельные и многопредельные (с несколькими диапазонами измерений);
- по конструкции отсчётного устройства: со стрелочным, световым или вибрационным указателем; с подвижной шкалой; с пишущим устройством; с цифровой индикацией;
- по характеру шкалы: с равномерной и неравномерной шкалой (степенной, логарифмической).

Электроизмерительные приборы встречаются со стрелочным и световым указателем и цифровой индикацией, в которых применяются электронные методы измерения и представления информации без преобразования её в механическое движение.

Стрелочный указатель представляет собой перемещающуюся по шкале стрелку, жёстко скреплённую с подвижной частью прибора. При световом способе отсчёта на оси подвижной части закрепляется зеркальце,

Таблица 5.

Род тока, измеряемого прибором

Род тока	Обозначение
Постоянный	 или 
Переменный	
Постоянный и переменный	
Трёхфазный переменный	

освещаемое специальным осветителем; луч света, отражённый от зеркала, попадает на шкалу и отображается на ней в виде светового пятна с тёмной нитью посередине. Световой отсчёт позволяет существенно увеличить чувствительность прибора: во-первых, вследствие того, что угол поворота отражённого луча вдвое больше угла поворота зеркала; а во-вторых, потому, что длину луча можно сделать весьма большой.

На корпусе приборов, как правило, устанавливается корректор – приспособление, предназначенное для установки прибора в нулевое положение, и арретир – устройство, предназначенное для предохранения подвижной части прибора от повреждений при переноске, транспортировке и хранении.

2. Погрешности электроизмерительных приборов

2.1. Абсолютная погрешность. Относительная погрешность

Важнейшей характеристикой электроизмерительного прибора является его погрешность. В качестве действительного значения измеряемой величины принимается величина, измеренная образцовым прибором. Модуль разности между средним значением измеряемой величины α_0 и показанием прибора α , которым определяется искомая величина, называется **абсолютной погрешностью** данного измерения

$$\Delta\alpha = |\alpha_0 - \alpha|.$$

Точность измерения обычно характеризуются **относительной погрешностью** ε (или δ^1), то есть отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины

$$\delta_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} \quad \text{или} \quad \delta_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} \cdot 100\%. \quad (1.2.1.1)$$

В большинстве случаев для характеристики электроизмерительных приборов пользуются **приведённой погрешностью** δ_{\max} . Приведённой погрешностью называется отношение максимальной абсолютной погрешности к предельному значению измеряемой величины

$$\delta_{\alpha_{\max}} = \frac{\Delta\alpha_{\max}}{\alpha_{\max}} \cdot 100\%.$$

Если прибор имеет двухстороннюю шкалу, то α_{\max} определяется как $(\alpha_1 + \alpha_2)/2$, где α_1 и α_2 – значения максимального предела измерений слева и справа от нуля. Для приборов с безнулевой шкалой $\delta_{\max} = \Delta\alpha_{\max}/\alpha_2$, где α_2 – конечное значение рабочей части шкалы.

Необходимость введения приведённой ошибки объясняется тем, что даже при постоянстве абсолютной погрешности по всей шкале прибора относительная погрешность не остается постоянной.

Пример. Прибор, предназначенный для измерения постоянного тока

¹ Чаще используется при электрических измерениях, чтобы не путать с ЭДС.

до 200 мА. Максимальная абсолютная погрешность прибора $\Delta I = 3$ мА. Причём эта погрешность условно принимается постоянной для каждой точки шкалы прибора. Относительная же погрешность прибора изменяется для различных измеренных токов.

$I_I = 50$ мА	$I_I = 100$ мА	$I_I = 200$ мА
$\delta_1 = \frac{3 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} \cdot 100\% = 6\%$	$\delta_2 = \frac{3 \text{ мА}}{100 \text{ мА}} \cdot 100\% = 3\%$	$\delta_2 = \frac{3 \text{ мА}}{200 \text{ мА}} \cdot 100\% = 1,5\%$

Таким образом, измерения **рекомендуется проводить во второй половине шкалы прибора**, то есть там, где относительная ошибка наименьшая.

2.2. Класс точности прибора

Приведённая погрешность, выраженная в процентах, называется классом точности прибора.

Класс точности указывается на шкале прибора. В настоящее время электроизмерительным приборам в соответствии со стандартом присвоено девять классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 3; 4; 5. Приборы классов точности от 0,01 до 0,5 включительно называются прецизионными и используются для точных лабораторных исследований. Приборы классов точности от 1,0 до 4,0 включительно – технические; выше 4,0 – внеклассовые.

Зная класс точности прибора, можно определить абсолютную погрешность прибора, которая на выбранном пределе измерения считается постоянной

$$\Delta \alpha_{\max} = \frac{\delta_{\alpha_{\max}} \cdot \alpha_{\max}}{100\%}. \quad (1.2.2.1)$$

Например, если класс точности вольтметра 0,5, а предел измерения 15 В, то максимальная абсолютная погрешность составит

$$\Delta \alpha_{\max} = \frac{0,5 \cdot 15}{100\%} = 0,075 \text{ В}.$$

2.3. Предел измерения, чувствительность электроизмерительного прибора, цена деления и диапазон измерений

Предел измерения – максимальное значение измеряемой величины, при котором стрелка прибора отклонится на максимальное число делений при данном включении.

Важной характеристикой электроизмерительного прибора является чувствительность, которая характеризуется способностью прибора реагировать на изменение измеряемой величины. Оценивается она отношением изменения положения указателя на шкале к изменению

измеряемой величины, вызвавшему это перемещение

$$S = \frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha},$$

где β – угловое или линейное перемещение указателя измерения; α – измеряемая величина.

Если шкала прибора равномерная, чувствительность будет постоянной ($S = \text{const}$). Если шкала неравномерная, чувствительность определяется для каждой точки шкалы

$$S_\alpha = \frac{d\beta}{d\alpha}.$$

Величина, обратная чувствительности прибора, называется постоянной прибора – ценой деления

$$C = \frac{1}{S} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta\beta}. \quad (1.2.3.3)$$

Порог чувствительности – такое изменение измеряемой величины, которое вызывает наименьшее изменение его показаний.

Для определения **цены деления прибора** необходимо величину предела измерения α_{max} разделить на количество делений на шкале N (максимальное число, написанное на шкале).

$$C = \frac{\alpha_{\text{max}}}{N}. \quad (1.2.3.4)$$

Диапазон измерений шкалы – диапазон изменения физической величины, которая может измеряться данным прибором. За пределами этого диапазона погрешность измерений не будет соответствовать классу точности прибора. Диапазон измерения по шкале не всегда совпадает с пределом измерения прибора. В этом случае он указывается

отсутствием младших делений за пределами диапазона шкалы рис. 1.2.3.1а, либо точками – диапазон измерений расположен между ними рис. 1.2.3.1б, либо утолщением дуг шкалы рис. 1.2.3.1в.

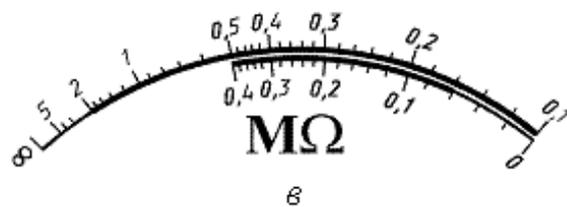
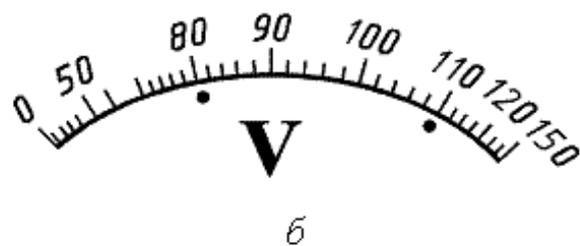
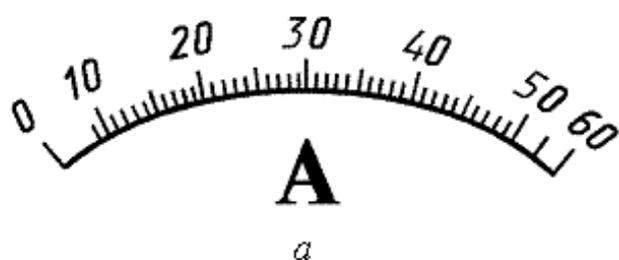


Рис. 1.2.3.1

3. Особенности конструкций и принципа действия электроизмерительных приборов различных систем, пример использования

3.1. Магнитоэлектрическая система

Работа приборов магнитоэлектрической системы основана на взаимодействии магнитных полей постоянного магнита и измеряемого тока, проходящего по обмотке подвижной катушки (рамки) прибора. Катушка (3) (рис. 1.3.1.1) из тонкой проволоки, намотанной на алюминиевый каркас, может вращаться между полюсами (2) постоянного магнита (1). При прохождении тока через рамку возникает вращающий момент M_1 , под действием которого подвижная часть прибора поворачивается вокруг оси (5) на угол φ . Вращающий момент пропорционален величине тока $M_1 = k_1 I$, где коэффициент k_1 зависит от индукции магнитного поля постоянного магнита, числа витков катушки, её размеров.

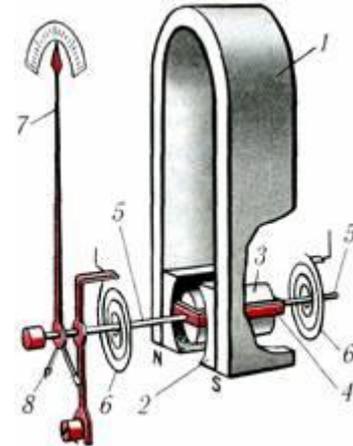


Рис. 1.3.1.1.
Магнитоэлектрическая система

Противодействующий момент создаётся спиральными пружинами (6), через которые также подводится ток к рамке, и пропорционален углу поворота рамки $M_2 = k_2 \varphi$, где коэффициент k_2 характеризует упругие свойства пружины. При равновесии подвижной части прибора $M_1 = M_2$, то есть $k_1 I = k_2 \varphi$, следовательно

$$\varphi = k I, \quad (1.3.1)$$

где $k = k_1/k_2$ и φ – угол поворота стрелки (7). Уравнение (1.3.1) – уравнение шкалы. Для приборов магнитоэлектрической системы $\varphi \sim I$, и поэтому их шкалы равномерны.

Обмотка рамки магнитоэлектрического прибора рассчитана на ток не выше нескольких десятков миллиампер. При необходимости измерять большие токи, то есть использовать прибор как амперметр, параллельно рамке включается малое сопротивление – шунт $r_{ш} \ll r_p$ (рис. 1.3.1.2). При разветвлении большая часть тока I течет через шунт $I_{ш}$ с сопротивлением $r_{ш}$, и небольшая доля – I_p через рамку с сопротивлением r_p . Из соотношений $I_p r_p = I_{ш} r_{ш}$ и $I_{ш} + I_p = I$, полученных на основании правил Кирхгофа, следует

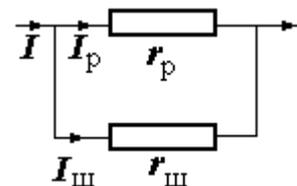


Рис. 1.3.1.2.
Шунтирование

$$I_p = I \frac{r_{ш}}{r_{ш} + r_p},$$

и $I_p \ll I$, если $r_{ш} \ll r_p$.

При измерениях амперметр включается в цепь последовательно. Для уменьшения потерь мощности в амперметре его сопротивление

$$r_A = \frac{r_{ш} r_p}{r_{ш} + r_p}$$

должно быть мало по сравнению с сопротивлением цепи.

В многопредельных амперметрах имеется набор шунтов, которые можно переключать в зависимости от величины измеряемого тока.

Включая последовательно с рамкой большое добавочное сопротивление ($r_d \gg r_p$), можно использовать прибор как вольтметр. Вольтметр включается параллельно участку цепи, на котором измеряется напряжение U . По закону Ома ток, идущий через вольтметр (рамку) $I_V = U/(r_d + r_p) \ll U/r_p$, прямо пропорционален напряжению U на участке цепи, что позволяет проградуировать шкалу прибора в вольтах. Для расширения пределов измерения вольтметром применяется набор добавочных сопротивлений, которые включаются последовательно с прибором. Чтобы включение вольтметра существенно не искажало распределение потенциала в цепи, необходимо, чтобы сопротивление вольтметра было много больше сопротивления участка цепи ($r_V \gg r_{ц}$)

$$r_{изм} = \frac{r_V r_{ц}}{r_V + r_{ц}} \approx r_{ц}.$$

Приборы магнитоэлектрической системы применяются только для измерения в цепях постоянного тока. Достоинствами магнитоэлектрических приборов являются высокая чувствительность – до $3 \cdot 10^{-11}$ А, высокая точность – до 0,1%, малое потребление мощности – до $10^{-5} \div 10^{-6}$ Вт, низкая чувствительность к внешним магнитным полям, равномерность шкалы.

Недостатки – недопустимость перегрузок по току (отламываются стрелки, перегорают токоподводящие пружинки, растяжки, обмотка рамки).

Обычно сопротивление обмотки рамки, выполняемой тонким проводом, составляет $100 \div 1000$ Ом, ток полного отклонения $0,01 \div 1,0$ мА и при непосредственном включении рамки в цепь прибор может использоваться в качестве микроамперметра, миллиамперметра или милливольтметра.

3.2. Электромагнитная система

Принцип действия приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки (1) (рис. 1.3.2.1), по которой протекает измеряемый ток I , и подвижного железного сердечника (2). Плоский ферромагнитный сердечник эксцентрично закреплён на оси вместе с противодействующей пружиной (3) и стрелкой (4). При пропускании тока по катушке сердечник втягивается внутрь, при этом закручивается пружина и поворачивается стрелка прибора на угол φ .

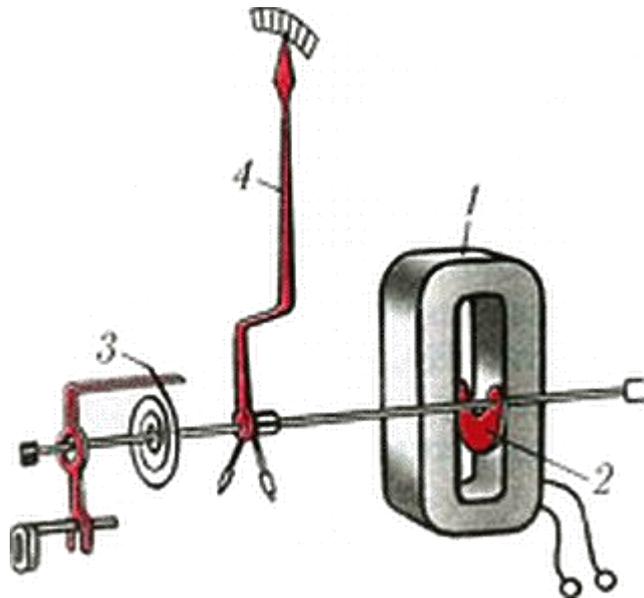


Рис.1.3.2.1
Электромагнитная система

Втягивающий момент пропорционален квадрату силы тока: $M = k_1 I^2$. При равновесии втягивающий момент компенсируется моментом, создаваемым закрученной пружиной $k_2 \varphi$, следовательно,

$$\varphi = k I^2. \quad (1.3.2)$$

Шкала приборов электромагнитной системы неравномерная ($\varphi \sim I^2$).

С изменением направления тока меняются направление магнитного поля и полярность намагничивающегося сердечника. Поэтому приборы электромагнитной системы применяются для измерений как постоянных, так и переменных токов.

К достоинствам приборов этой системы относится простота конструкции, выносливость в отношении перегрузок, возможность измерения постоянных и переменных токов. Изменяя число витков и сечение провода обмотки легко изготовить приборы на разные токи полного отклонения (обычно от 100 мА до 100 А).

Недостатками приборов электромагнитной системы являются неравномерность шкалы, меньшая точность по сравнению с магнитоэлектрическими приборами, зависимость показаний от внешних магнитных полей, поскольку собственное магнитное поле слабо, зависимость показаний от частоты. Полное сопротивление катушки $z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ определяется её активным сопротивлением R и индуктивностью L и зависит от частоты, поэтому величина тока через обмотку уменьшается с увеличением частоты. При неизменном напряжении

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}.$$

Обычно приборы этого типа градуируют на частотах $50 \div 400$ Гц, когда активное сопротивление катушки много больше индуктивного. Эти частоты указываются на шкале прибора.

Для защиты измерительной части прибора от внешних полей употребляют два способа – астатирование и экранирование.

В астатическом измерительном механизме на оси подвижной части укреплены два одинаковых сердечника, каждый из которых размещается в магнитном поле одной из катушек, включённых между собой последовательно. Направление обмоток выбрано так, что магнитные поля Φ_1 и Φ_2 катушек направлены навстречу друг другу. Ось подвижной части такого прибора будет находиться под действием суммы двух моментов, каждый из которых создаётся одним из сердечников и действующей на него катушкой. Если такой измерительный механизм поместить в однородное внешнее поле, то один из моментов, для которого направление собственного и возмущающего момента будут совпадать, увеличится, а второй, соответственно, уменьшится. Суммарный момент, действующий на ось, а, следовательно, и показания прибора при этом не изменятся.

При магнитном экранировании измерительный механизм помещают внутрь замкнутой оболочки из ферромагнитного материала с большой магнитной проницаемостью (чаще всего из пермаллоя). Для улучшения магнитной защиты иногда применяют экраны из двух или нескольких оболочек. Действие экрана состоит в том, что магнитные линии внешнего поля, стремясь пройти по пути с наименьшим магнитным сопротивлением, сгущаются внутри стенок экрана, почти не проникая во внутреннюю область.

3.3. Электродинамическая система

Принцип действия приборов этой системы (рис. 1.3.3.1) основан на взаимодействии катушек, по которым проходит измеряемый ток. Внутри неподвижно закрепленной катушки на оси может вращаться подвижная катушка, с которой жёстко связана перемещающаяся над шкалой стрелка.

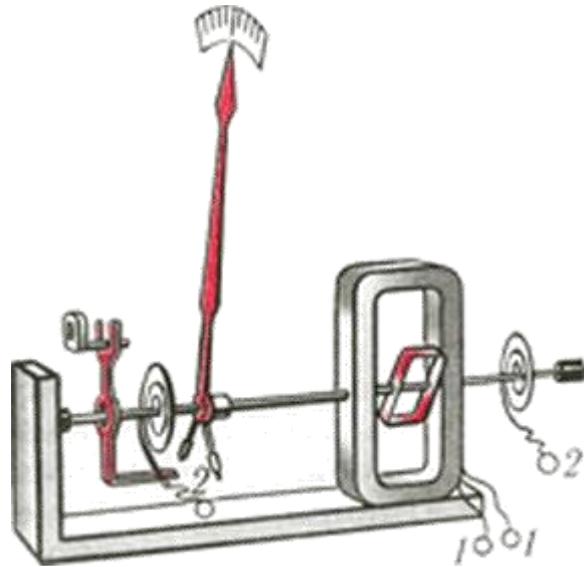


Рис. 1.3.3.1

Электродинамическая система

Противодействующий момент создаётся спиральными пружинами, закреплёнными на оси. Измеряемый ток проходит через обе катушки. В результате взаимодействия магнитного поля неподвижной катушки и поля подвижной создаётся вращающий момент $M_1 = k_1 I_1 I_2$, под влиянием которого подвижная катушка будет стремиться повернуться так, чтобы плоскость её витков стала параллельной плоскости витков неподвижной катушки, а их магнитные поля совпали бы по направлению. Этому противодействует пружина, вследствие чего подвижная катушка устанавливается в положение, когда вращающий момент $M_2 = k_2 \varphi$, то есть $k_1 I_1 I_2 = k_2 \varphi$. Следовательно, уравнение шкалы будет иметь вид

$$\varphi = k I_1 I_2. \quad (1.3.3.1)$$

Катушки в электродинамических приборах в зависимости от назначения соединяются последовательно или параллельно. Если катушки прибора соединить параллельно, то он может быть использован как амперметр. Если же катушки соединить последовательно и присоединить к ним добавочное сопротивление, то он может быть использован как вольтметр. Если катушки соединены последовательно, то

$$\varphi = k I^2. \quad (1.3.3.2)$$

Следовательно, шкалы электродинамических приборов неравномерны. При перемене тока в обеих катушках направление вращающего момента не меняется, следовательно, приборы этой системы применимы для измерения, как постоянного тока, так и переменного.

Достоинством приборов электродинамической системы является их достаточно высокая точность. К недостаткам приборов данной системы относится неравномерность шкалы, большая чувствительность к перегрузкам, чувствительность к внешним магнитным полям.

3.4. Электростатическая система

Устройство приборов электростатической системы (рис. 1.3.4.1) основано на взаимодействии двух заряженных проводников, которые обычно представляют собой два плоских электрода (1, 2), один из которых подвижен (2). Стрелка закреплена на оси (3) и удерживается на нуле пружиной (4).

При подаче напряжения U на электроды, между пластинами возникает сила электростатического взаимодействия $F \sim q^2 \sim C^2 U^2$, где q – заряд на пластинах; C – ёмкость конденсатора, образованного измерительными электродами и не зависящая от полярности приложенного напряжения.

Вращающий момент силы притяжения пластин пропорционален квадрату напряжения между пластинами $M_2 = k_2 U^2$. Он уравнивается моментом силы упругости пружины $M_1 = k_1 \varphi$, где φ – угол поворота подвижной части прибора. Угол отклонения, таким образом, определяется квадратом поданного напряжения $\varphi = k U^2$. Выбирая форму подвижной части пластины, можно сделать большую часть шкалы прибора равномерной, но нелинейность в начальной части шкалы останется.

Отличительной особенностью приборов электростатической системы является очень высокое внутреннее сопротивление, достигающее на постоянном токе 10^{16} Ом, определяемое токами утечки по изоляции и зависящее от влажности.

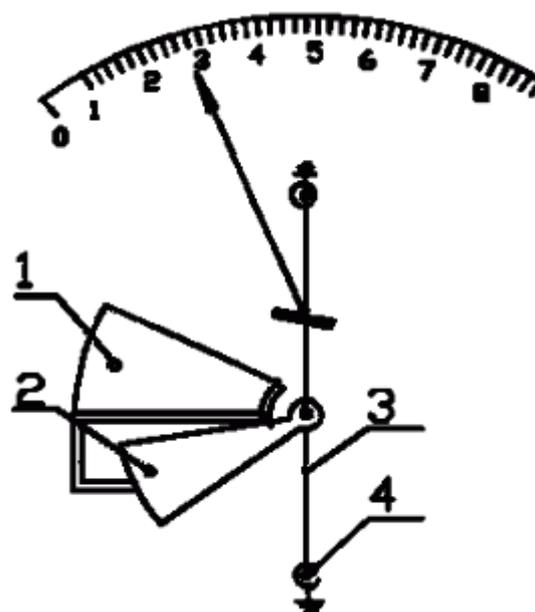


Рис. 1.3.4.1.
Электростатическая система

3.5. Тепловые измерительные системы

Прибор, основанный на тепловом действии тока, содержит тонкую проволоку, закреплённую на концах, через которую пропускают измеряемый ток.

При прохождении по проволоке тока она нагревается, и её удлинение используют для измерения величины тока. Такие приборы могут быть использованы и на постоянном, и на переменном токе.

3.6. Пример проведения отсчёта по шкале стрелочного прибора

Определим, к примеру, цену деления амперметра, изображённого на рис. 1.3.6.1. На выноске видно, что амперметр включён на предел измерения 10 А. Число делений на шкале 100. Тогда по формуле 1.2.3.4 цена деления

$$C = \frac{10 \text{ А}}{100 \text{ дел}} = 0,1 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

Чувствительность – величина, обратная цене деления. Тогда

$$S = \frac{1}{C} = \frac{100 \text{ дел}}{10 \text{ А}} = 10 \frac{\text{дел}}{\text{А}}.$$

Класс точности амперметра указан на шкале перед ГОСТ и равен для данного прибора 0,2. Тогда абсолютная погрешность (1.2.2.1)

$$\Delta I = \frac{0,2\% \cdot 10 \text{ А}}{100\%} = 0,02 \text{ А}.$$

Рассмотрим два примера определения показаний амперметра. На рис. 1.3.6.2 стрелка указывает на $n_1 = 38$ делений. Цена деления определена выше. Тогда его показания

$$I_1 = C n_1 = 0,1 \frac{\text{А}}{\text{дел}} \cdot 38 \text{ дел} = 3,80 \text{ А}.$$

Абсолютная погрешность для данного прибора и установленного предела – величина постоянная. Тогда относительная погрешность (1.2.1.1)

$$\delta_{I1} = \frac{0,02 \text{ А}}{3,8 \text{ А}} 100\% = 0,53\%.$$



Рис. 1.3.6.1



Рис. 1.3.6.2

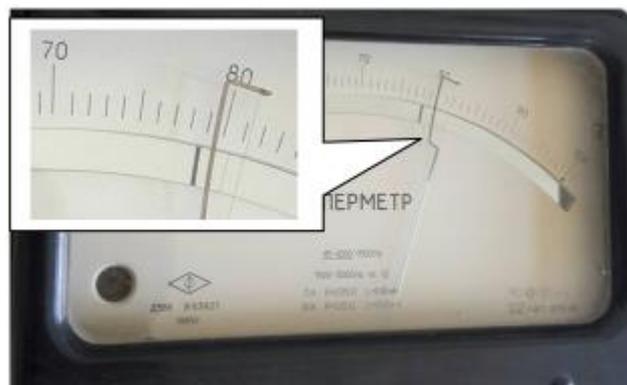


Рис. 1.3.6.3

На рис. 1.3.6.3 стрелка указывает на $n_2 = 81$ деление, тогда

$$I_2 = Cn_2 = 0,1 \frac{\text{А}}{\text{дел}} \cdot 81 \text{ дел} = 8,10 \text{ А}, \quad \delta_{I_2} = \frac{0,02 \text{ А}}{8,1 \text{ А}} 100\% = 0,25 \%$$

Сравнивая значения относительных погрешностей, приходим к выводу, что чем на большее число делений отклоняется стрелка, тем меньшую относительную погрешность мы получим.

Как видно из приведённых выше фотографий прибора на шкале имеется зеркальная полоска. Она позволяет избежать ошибки параллакса. Отсчёт производят тогда, когда стрелка и её изображение в зеркале совмещаются.

3.7. Мультиметры

Мультиметр (multimeter, multi – несколько, meter – измерений) – многофункциональный электроизмерительный прибор. Предназначен для измерения напряжения, силы тока, сопротивления, а также в зависимости от конкретного варианта исполнения позволяет измерять: температуру, ёмкость, частоту и т.д.



Рис. 1.3.7.1 Мультиметры

Существуют аналоговые (рис. 1.3.7.1а) и цифровые мультиметры (рис. 1.3.7.1б). В аналоговых в качестве индикатора используется стрелочный индикатор (микроамперметр магнитоэлектрической системы), в цифровых – жидкокристаллический индикатор.

Рассмотрим подробнее цифровые мультиметры (рис. 1.3.7.1б). Основные его составляющие: жидкокристаллический индикатор (1), выключатель питания (2), переключатель измеряемых величин и пределов (3) (при отсутствии отдельного выключателя питания выполняет ещё и его функцию), гнезда для подключения проводов (щупов) (4). Питание мультиметра обычно осуществляется от установленного в него элемента с ЭДС 9 В. С целью экономии его ресурса некоторые мультиметры снабжены функцией автоотключения питания (Auto power off), которая

производит отключение примерно через 30 мин. Для повторного включения надо нажать на выключатель питания дважды.

Также на некоторых моделях может быть кнопка удержания последних показаний («HOLD» или «H»). При нажатии этой кнопки в процессе измерения на дисплее фиксируется текущее показание и появляется символ «H». Повторное нажатие возвращает мультиметр в обычный режим работы.

Перед использованием мультиметра, необходимо внимательно рассмотреть обозначения вокруг переключателя пределов. На его ручке, есть чёрточка (или точка), которая и должна указывать на выбранный предел. Пределы и величины обозначаются с использованием международных обозначений. Обозначения основных измеряемых величин приведены в таблице 6. Диапазоны измеряемых величин на приборе разграничены линиями (см. рис.) Более подробную информацию можно получить из инструкции к прибору.

Таблица 6

Измеряемая величина		Возможные варианты обозначений на мультиметре	
Напряжение	постоянного тока	V_{\dots}	DCV – (англ. direct current voltage) напряжение постоянного тока.
	переменного тока	V_{\sim}	ACV – (англ. alternating current voltage) напряжение переменного тока.
Сила тока	постоянного тока	A_{\dots}	DCA – (англ. direct current amperage) сила постоянного тока.
	переменного тока	A_{\sim}	ACA – (англ. alternating current amperage) сила переменного тока.
Сопротивление		Ω или OHM	

Возможные пределы измерения и их расшифровка приведены в таблице.

Таблица 7

Измеряемая величина	Пример обозначения пределов	Предел измерения
DCV	200 m	200 мВ
	2	2 В
	20	20 В
	200	200 В
DCA	200 μ	200 мкА
	2 m	2 мА
	20 m	20 мА
	2	2 А
Ω или OHM	200	200 Ом
	2 K	2 кОм
	2 M	2 МОм

В случае, если измеряемая величина превысит предел измерения, то на индикаторе мультиметра в левом разряде индикатора будет индицироваться «1».

Подключение проводов. При измерениях напряжения, силы тока или сопротивления один провод (черный щуп) подключается в общее гнездо COM (common – общий). Другой провод (красный щуп) подключается при измерении напряжения в гнездо V; тока в амперах – гнездо A, в микроамперах и миллиамперах – в гнездо mA; сопротивления – в гнездо Ω .

Погрешность (точность) мультиметра указывается в паспорте на прибор. Для конкретного мультиметра она может быть различной для разных измеряемых величин и пределов. Например, для мультиметра MASTECH MS-8221A при измерении сопротивления на пределе 200 Ом в паспорте указана точность $\pm(0,8\%+3)$. Это означает, что абсолютную погрешность необходимо рассчитывать по формуле

$$0,8\% \cdot \frac{\text{показания прибора}}{100\%} + 3 \cdot \text{единица счета}.$$

Единица счёта, это младший разряд, который может показывать прибор на данном пределе. Для MASTECH MS-8221A при измерении сопротивления на пределе 200 Ом эта величина составляет 0,1 Ом, т.к. минимальный разряд, который может индицировать прибор на данном пределе – это десятые. Тогда, например, если при измерениях прибор на вышеуказанном пределе покажет значение 46,4 Ом, то абсолютная погрешность

$$0,8\% \cdot \frac{46,4 \text{ Ом}}{100\%} + 3 \cdot 0,1 \text{ Ом} = 0,671 \approx 0,7 \text{ Ом}.$$

То есть относительная погрешность 1,5%.

4. Электрическая цепь и её элементы

Электрической цепью называется совокупность устройств, образующих возможность прохождения электрического тока. Основными элементами цепи являются:

- источник электродвижущей силы (ЭДС) или энергии;
- потребители;
- другие устройства (коммутаторы, регуляторы, и т.д.).

В источниках (генераторах, аккумуляторах, солнечных батареях, термоэлементах и др.) происходит преобразование различных видов энергии в электрическую.

4.1. Источники

Источниками являются гальванические элементы, аккумуляторы, электрические генераторы. Разность потенциалов между зажимами этих устройств непрерывно поддерживается за счёт преобразования различных видов энергии в электрическую. В химических источниках (гальванические элементы, аккумуляторы) электрическая энергия появляется в результате химических реакций.

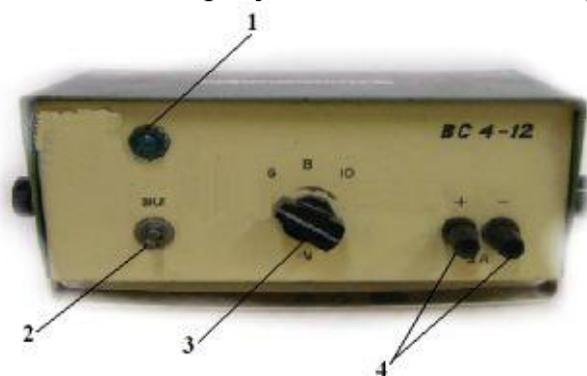


Рис. 1.4.1.1. Выпрямитель селеновый BC 4 – 12

1 – сигнальная лампочка; 2 – тумблер (включатель); 3 – переключатель для ступенчатого изменения выходного напряжения; 4 – контактные зажимы постоянного тока.

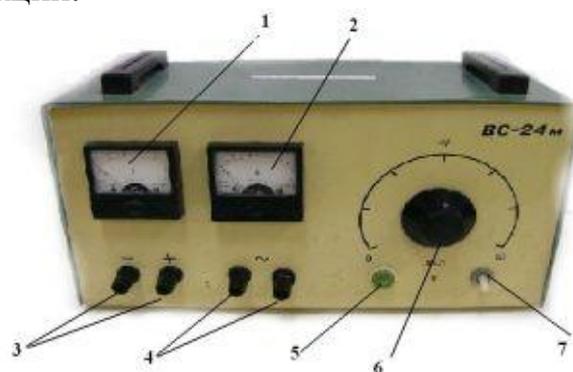


Рис. 1.4.1.2

Выпрямитель селеновый BC – 24м

1 – вольтметр; 2 – амперметр; 3 – контактные зажимы постоянного тока; 4 – контактные зажимы переменного тока; 5 – сигнальная лампочка; 6 – регулятор плавного изменения выходного напряжения; 7 – тумблер (включатель).

Величина ЭДС химических источников тока зависит от веществ, применяемых в качестве электродов, и состава электролита. Внутреннее сопротивление их зависит от размеров электродов, расстояния между электродами и от состава электролита.

Важной характеристикой химических источников является его

ёмкость, то есть заряд, который можно получить от него при определённых условиях разряда. Выражается эта величина в ампер·часах. Например, ёмкость весьма распространённого щёлочного гальванического элемента типоразмера АА (в просторечие – пальчиковая алкалиновая батарейка) до 3 А·ч, а ёмкость автомобильного аккумулятора от 40 А·ч.

На рабочие столы в лаборатории подано сетевое напряжение 220 В. Для питания электрических цепей большинства работ постоянный электрический ток получают от источников ВС 4-12 и ВС-24м. Буквы «ВС» означают первые буквы названия прибора – «выпрямитель селеновый». Внешний вид показан на рис. 1.4.1.1 и 1.4.1.2.

Правила эксплуатации источников тока регламентируются инструкцией по эксплуатации. В ней указывается назначение, диапазон выходных напряжений, а также максимальная сила тока, на которую рассчитан источник, превышение которой приведёт к выходу его из строя. Так, например, в инструкции к ВС-24м написано: «Предназначен для питания различных учебных приборов и установок током постоянного напряжения до 24 В при максимальной силе тока 10 А. Прибор позволяет также получать переменное напряжение до 30 В при силе тока 10 А. Выпрямитель может быть применён и для зарядки аккумуляторов».

Сила тока определяется законом Ома для полной цепи

$$I = \varepsilon / (R + r), \quad (1.4.1.1)$$

где I – сила тока; ε – ЭДС; R – внешнее сопротивление цепи; r – внутреннее сопротивление источника. При этом источник выбирают с максимальным током большим, чем необходимо для питания цепи.

В случае, если сопротивление внешней цепи будет мало $R \ll r$, $R \rightarrow 0$ сила тока в цепи резко возрастает до $I_{кз} = \varepsilon / r$ – тока короткого замыкания, что при эксплуатации источников питания является недопустимым. Для защиты источника в нём, как правило, устанавливается плавкий предохранитель, включаемый последовательно. Более современные лабораторные источники имеют электронную защиту от превышения тока.

Гальванические элементы и аккумуляторы не имеют такой защиты, и ток короткого замыкания определяется исключительно внутренним сопротивлением r . Например, ток короткого замыкания щёлочного гальванического элемента типоразмера АА около 10 А, а ток автомобильного аккумулятора достигает 1000 А. Следует отметить, что стальная проволока диаметром 2 мм плавится при токе около 70 А. Таким образом, при эксплуатации подобных источников тока следует не допускать коротких замыканий. Замыкание выводов источника может приводить к сильному разогреву как их самих, так и источника, и, как следствие, возгоранию.

Кроме источников, всякая электрическая цепь содержит потребитель энергии – нагрузку, которая подключается к источнику тока при помощи

соединительных проводов, а также других элементов управления цепи (реостаты, ключи и др.)

4.2. Элементы управления

Для плавного изменения сопротивления цепи применяется ползунковый реостат (рис. 1.4.2.1).

Изготавливаются реостаты в пределах $5 \div 10000$ Ом. Каждый реостат рассчитан на определённый максимальный ток, указанный на приборе. Пропускать ток величины, превышающей указанную на приборе, нельзя во избежание перегорания обмотки. Принцип действия реостата основан на зависимости сопротивления проволоки от её длины

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.4.2.1)$$

где R – сопротивление проволоки; ρ – удельное сопротивление материала проволоки; l – её длина; S – площадь её поперечного сечения.

Такой же принцип действия имеет реохорд (рис. 1.4.2.2), используемый для изменения сопротивления в небольших пределах. Реохорд представляет собой проволоку с высоким удельным сопротивлением длиной 1 м, прикрепленную к проградуированной направляющей.

Следует помнить, что реостат для регулировки тока в цепи подключается к цепи с помощью двух клемм: одной нижней (безразлично правой или левой) и одной верхней (рис. 1.4.2.3а), либо используется более надёжная схема с использованием трёх клемм

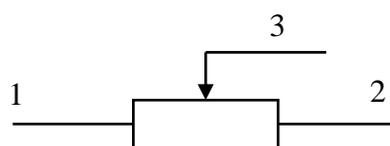


Рис. 1.4.2.1. Ползунковый реостат
1, 2 – клеммы, к которым подведены концы проволоки реостата; 3 – клемма, соединённая с направляющим стержнем ползуна; 4 – ползун.

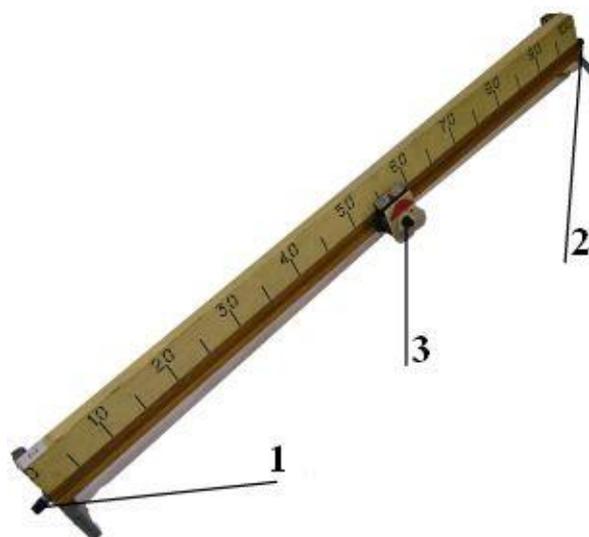


Рис. 1.4.2.2. Реохорд
1, 2 – клеммы, к которым подведены концы проволоки реохорда;
3 – клемма, соединённая с ползуном.

(рис. 1.4.2.3б), которая предотвращает размыкание цепи при перемещении ползуна.

Тот же прибор, но подключённый к цепи с помощью трёх клемм (двух нижних и одной верхней), используется как делитель напряжения и называется потенциометром (рис. 1.4.2.3в).

В зависимости от используемого рабочего тока цепи необходимо правильно выбрать реостат или потенциометр.

Для установки или измерения сопротивления с интервалом в 0,1 Ом в пределах 0,1 ÷ 99999,9 Ом применяется шестидекадный магазин сопротивлений (рис. 1.4.2.4).

Отсчёт по прибору равен сумме произведения цифр, стоящих против указателя декады, на соответствующий множитель.

Например,

$$R = 4 \cdot 10000 + 5 \cdot 1000 + 8 \cdot 100 + 2 \cdot 10 + 3 \cdot 1 + 7 \cdot 0,1 = 45823,7 \text{ Ом.}$$

Для включения в электрическую цепь всегда используется клемма «0» и в зависимости от необходимого минимального предела клеммы «0,9; 9,9; 99999,9». Например, если необходим диапазон сопротивлений 0 ÷ 0,9 Ом, то используем клеммы «0» и «0,9», диапазон 0,9 ÷ 9,9 Ом, то клеммы «0» и «9,9». При таком включении можно получать на выходе магазина и сопротивления из диапазона 0 ÷ 0,9 Ом, но при этом погрешность установленного сопротивления, определяемая через класс точности магазина, будет больше.

В лабораторном практикуме, если на то не будет специальных указаний, следует использовать включение клеммами «0» и «99999,9».

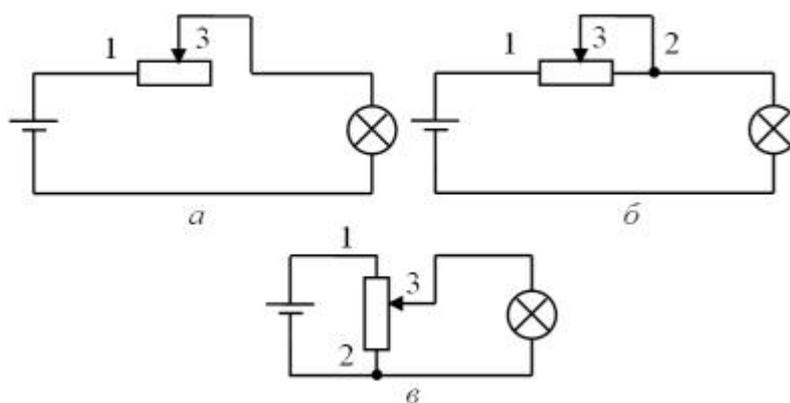


Рис. 1.4.2.3.

Схемы включения реостата



Рис. 1.4.2.4.

Магазин сопротивлений

4.3. Схема электрической цепи

Графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения её элементов, называется схемой электрической цепи. Все основные и вспомогательные элементы в схемах имеют условные обозначения, которые приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Условные обозначения некоторых элементов электрической цепи

название элемента	условное обозначение	название элемента	условное обозначение
элемент гальванический или аккумулятор		соединение разъёмное, гнездо, клемма	
батарея элементов или аккумуляторов		выключатель однополюсный	
генератор постоянного тока		выключатель двухполюсный	
электрическая лампа накаливания		предохранитель плавкий	
резистор постоянный		диод полупроводниковый	
реостат регулируемый		диод электровакуумный	
резистор переменный		транзистор	
конденсатор постоянной емкости		заземление	
конденсатор переменной емкости		динамик	
катушка индуктивности		амперметр	
катушка индуктивности с магнитопроводом		вольтметр	
соединение электрическое, узел		омметр	

Перед сборкой электрической цепи необходимо внимательно изучить её схему и найти на лабораторном столе все необходимые элементы и приборы, условные обозначения которых есть на схеме. Затем начинают соединять проводниками элементы цепи. При этом желательно всё время проверять соответствие собранной части цепи и её электрической схемы.

5. Техника безопасности при работе с электрическими цепями

5.1. Действия тока на живой организм

Тело человека является проводником электрического тока. Проходя через организм человека, электрический ток производит тепловое (проявляющееся через ожоги отдельных участков тела), электролитическое (выражающееся в разложении органической жидкости, в том числе и крови) и биологическое действие. Последнее проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также нарушении внутренних биологических процессов, протекающих в живом организме.

Для предотвращения опасных действий электрического тока следует соблюдать правила техники безопасности.

5.2. Правила техники безопасности

ВНИМАНИЕ!

**К лабораторным столам подведено опасное для жизни
напряжение 220 В!**



1. Не включать рубильники и вилки без разрешения преподавателя или лаборанта.
2. Не включать схему под напряжением без предварительной проверки её преподавателем или лаборантом.
3. Не производить переключение схем, находящихся под напряжением.
4. Не прикасаться к неизолированным частям схемы, находящейся под напряжением.
5. Не оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
6. Все ключи и коммутаторы при сборке цепи должны быть разомкнуты.
7. Все реостаты, включаемые в цепь, должны быть поставлены на максимальное сопротивление.
8. Потенциометры устанавливаются при сборке цепи на ноль подаваемого в контур напряжения.
9. Цепь собирается от источника, но подключается источник тока в последнюю очередь.
10. При разборке схемы прежде всего отключается источник тока.

Лабораторная работа №1
Изучение электроизмерительных приборов
Сборка электрических цепей

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Методика выполнения работы

1. Изучение электроизмерительных приборов

Применительно к стрелочным приборам, расположенным на лабораторном столе, ответить на вопросы и заполнить таблицу.

1. Является ли прибор прибором одно- или многоцелевого назначения?
2. Одно- или многопредельный прибор?
3. Каковы пределы измерения?
4. Какова цена деления? (для многопредельного – для всех пределов);
5. Какова чувствительность (см. замечание выше)?
6. Какова система прибора?
7. В каких электрических цепях можно производить измерения этим прибором?
8. Каков класс точности?

			Амперметр			Вольтметр		
Одно- или многоцелевой								
Одно- или многопредельный								
Предел	Цена деления	Чувствительность						
Предел	Цена деления	Чувствительность						
Предел	Цена деления	Чувствительность						
Предел	Цена деления	Чувствительность						
Система прибора								
Для каких цепей								
Класс точности								

2. Определение погрешности измерений

Для обоих приборов определите абсолютную и относительную ошибки измерений при положении стрелки, заданном преподавателем.

Прибор	Предел	Положение стрелки	Показания прибора	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %
А					
V					

Сделайте вывод.

3. Сборка электрической цепи и измерение тока и напряжения

3.1. Первая схема

1. Начертите в тетради схему электрической цепи, состоящей из источника, ключа, реостата, амперметра и вольтметра. Реостат используется в режиме регулирования тока (режим переменного сопротивления). Вольтметр подключите к клеммам реостата.

2. Покажите схему преподавателю или лаборанту.

3. Соберите цепь и предъявите её на проверку преподавателю или лаборанту. Убедитесь, что стрелки приборов указывают на ноль.

4. Установите ползун реостата в первой трети длины и включите цепь. Напряжение источника установите на $10 \div 12$ В.

Схема 1

5. Определите силу тока и напряжение по приборам. Измерьте напряжение на реостате мультиметром (взять у лаборанта), касаясь щупами клемм реостата. Результаты заносите в таблицу.

6. Установите ползун реостата посередине. Повторите пункт 5.

7. Установите ползун реостата в последней трети длины. Повторите п. 5. Выключите цепь.

Положение	I , А	U , В	U_m , В	$\delta_U = \frac{ U - U_m }{U} 100\%$	R , Ом	δR , %	ΔR , Ом
1							
2							
3							

8. Определите относительную разницу измерения напряжений вольтметром и мультиметром. Сделайте вывод.

9. Рассчитайте для каждого случая сопротивление реостата.

10. Отключите реостат от схемы. Измерьте его полное сопротивление мультиметром.

$$R_{\max} = \quad \text{Ом.}$$

11. Измерьте сопротивление реостата для последнего опыта (для студентов физических специальностей).

$$R_3 = \quad \text{Ом.}$$

12. Сравните сопротивления реостата, рассчитанные по току и напряжению, со значениями, полученными с помощью мультиметра. Сделайте вывод.

3.2. Вторая схема

1. Повторите п. 1 из задания 3.1, но вольтметр подключите к клеммам источника.
2. Повторите пп. 2 – 9 из задания 3.1

Схема 2

Положение	$I,$ А	$U,$ В	$U_m,$ В	$\delta_U = \frac{ U - U_m }{U} 100\%$	$R,$ Ом	$\delta R, \%$	$\Delta R,$ Ом
1							
2							
3							

3. Сделайте вывод о том, в каком случае производятся более точные измерения силы тока и напряжения на реостате.

3.3. Дополнительное задание

(для студентов физических специальностей)

1. Получите формулу для определения погрешностей сопротивления реостата, зная токи и напряжения.
2. Рассчитайте погрешности сопротивления реостата в каждом случае. Заполните последние колонки в таблицах.
3. По 6-ти экспериментальным точкам постройте оценочный график $U=U(I)$. Объясните его.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются электроизмерительные приборы?
2. Что называют абсолютной и относительной погрешностью измерения? Как они рассчитываются?
3. Что называют классом точности электроизмерительного прибора?
4. Что называют чувствительностью прибора? Как она рассчитывается?
5. Поясните принцип действия прибора магнитоэлектрической системы.
6. Поясните принцип действия прибора электромагнитной системы.
7. Поясните принцип действия прибора электродинамической системы.
8. Поясните принцип действия прибора электростатической системы.
9. Что называют электрической цепью? Что входит в её состав?
10. Что называют электрической схемой? Каковы условные обозначения элементов электрической цепи?
11. Каковы действия электрического тока на живой организм?
12. Каковы правила по технике безопасности при проведении лабораторных работ по электродинамике?

Литература

(см. основной список литературы)

1. Приборы электроизмерительные [Электронный ресурс]. URL: http://standartgost.ru/0/22203-pribory_elektroizmeritelnye (дата обращения 25.01.2017).
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002 "Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин" (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 4 февраля 2003 г. № 38-ст). [Электронный ресурс] [Доступ](#) из справочно-правовой системы «Гарант» (дата обращения 25.01.2017).