

## Лабораторная работа

### ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

**Цель работы:** ознакомление с электроизмерительными приборами, определение чувствительности, цены деления и погрешностей приборов, расчет шунта и добавочного сопротивления, сборка простейших цепей.

**Приборы и оборудование:** набор электроизмерительных приборов.

#### Теория вопроса

1. Все электроизмерительные приборы (ЭИП) классифицируются по следующим основным признакам:

а) **по роду измеряемой величины:** амперметры (измеряют силу тока), вольтметры (измеряют напряжение), омметры (измеряют сопротивление), ваттметры (измеряют мощность) и т.д.;

б) **по роду измеряемого тока:** приборы постоянного тока, приборы переменного тока, приборы постоянного и переменного тока;

в) **по системе прибора:** магнитоэлектрические (МЭ), электромагнитные (ЭМ),

электродинамические (ЭД), индукционные, тепловые;

г) **по степени точности:** 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 класса точности.

На шкалу прибора наносятся символы указывающие: систему прибора, род измеряемого тока, положение шкалы при измерении, пробивное напряжение изоляции, класс точности (см. табл. 1).

Таблица 1

символ	пояснение	символ	пояснение
	Магнитоэлектрическая система		Прибор постоянного и переменного тока
	Электромагнитная система	1,0	Класс точности 1,0
	Электродинамическая система		Пробивное напряжение изоляции 2кВ
	Тепловая система		Горизонтальное положение шкалы при измерении
	Индукционная система		Вертикальное положение шкалы при измерении
	Прибор постоянного тока		Прибор со встроенным выпрямителем

~	Прибор переменного тока		
---	----------------------------	--	--

Приборы класса точности 0,1; 0,2; 0,5; применяются для точных лабораторных измерений и называются прецизионными.

В зависимости от конструкции приборы предназначаются для работы в определенном положении: вертикальном, горизонтальном или наклонном.

## 2. Системы электроизмерительных приборов.

Все электроизмерительные приборы состоят из подвижной и неподвижной частей. Чаще всего, при прохождении тока подвижная часть приходит во вращение. Движение подвижной части тормозится противодействующим моментом пружины или какого – либо другого устройства. При равновесии стрелка прибора (или какой – либо другой указатель) фиксирует определенный угол поворота.

Для построения шкалы прибора с помощью эталона устанавливают однозначную зависимость между углом поворота стрелки и численным значением измеряемой величины. На указывают деления, соответствующие удобным числам (целые числа; числа, кратные десяти, и т.п.). Отсчет измеряемой величины производится по положению указателя. Трение в опорах деталей и другие причины влияют на показания прибора, т.е. вносят погрешность. Поправки к показанию прибора могут быть заранее определены путем соответствующей проверки прибора. Для сокращения времени успокоения подвижной части прибора после включения в цепь в приборах имеются специальные тормозящие устройства, называемые **демпферами**.

### 2.1. Приборы магнитоэлектрической (МЭ) системы

Принцип действия приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с магнитным полем тока, протекающим по обмотке легкой подвижной рамки (катушки). На рис.1 показана схема устройства приборов МЭ системы. Неподвижный подковообразный магнит М имеет выполненные из мягкого железа полюса N и S, которые охватывают сплошной железный сердечник 2. Между сердечником и полюсами магнита имеется кольцевой зазор. На оси сердечника жестко закреплена подвижная легкая прямоугольная рамка 1, имеющая обмотку из тонкого изолирующего провода. Эта рамка может свободно вращаться в воздушном зазоре между сердечником и полюсами магнита. Рамка представляет собой основную часть подвижной системы; к рамке крепится стрелка. Ток к рамке поступает через спиральные пружины 3, соединенные с клеммами прибора. Спиральные пружины изготавливаются из немагнитного материала. На рис.1а показаны линии индукции магнитного поля в зазоре.

При прохождении тока через рамку в поле постоянного магнита, на ее стороны действуют силы Ампера и возникает вращающий момент, стремящийся повернуть рамку вокруг оси. Поворот рамки сопровождается закручиванием спиральных пружин, создающих противодействующий момент. Равенство моментов остановит рамку. Момент силы Ампера

$$M = B I S N$$

где  $B$  – индукция магнитного поля в зазоре;

$I$  – величина тока, протекающего через рамку;

$S$  – площадь рамки;

$N$  – число витков в рамке.

Тормозящий момент  $M = D \cdot \alpha$ ,

где  $\alpha$  – угол поворота рамки (угол закручивания пружины);

$D$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств пружины.

При равенстве моментов угол поворота рамки пропорционален величине тока:

$$\alpha = \frac{B S N}{D} \cdot I = const \cdot I \quad (1)$$

Линейная зависимость угла поворота  $\alpha$  и тока  $I$  делает шкалу прибора равномерной.

#### Вопросы:

1. Поясните, как возникает вращательный момент сил Ампера?
2. Почему рамка вращается в зазоре? Можно ли убрать наконечники  $N$  и  $S$  цилиндра?
- 3.

Область применения МЭ приборов весьма обширна. Они применяются в качестве амперметров и вольтметров постоянного тока, как при технических измерениях, так и при контрольных лабораторных измерениях. Из всех электроизмерительных приборов с непосредственным отсчетом они дают наибольшую точность измерения и являются наиболее экономичными в смысле потребления энергии. Лучшие конструкции этих приборов имеют класс точности 0.2. При непосредственном включении миллиамперметры и амперметры МЭ системы позволяют измерять токи от 1 мА до 100 А, а с применением шунта до нескольких тысяч ампер. Вольтметры этой системы при непосредственном включении дают возможность измерять напряжение от 0.1 до 600 В, а с дополнительным сопротивлением до 10000 В и более. Для переменного тока магнитоэлектрические приборы неприменимы, т. к. подвижная часть вследствие инерции не успевает отклоняться.

#### Основные достоинства приборов МЭ системы:

- а) высокая точность (класс точности до 0.2)
- б) высокая чувствительность (позволяют измерять токи до 1 мА)

в) равномерная шкала отсчета

### **Основные недостатки приборов МЭ системы:**

а) применяются для измерения только постоянного тока и напряжения, для измерения переменного тока прибор необходимо дополнить выпрямителем

б) при кратковременных перегрузках мгновенно выходит из строя, т.к. рамка

прибора состоит из небольшого числа витков из тонкого провода, который

при перегрузке быстро сгорает.

### **3.2. Приборы электромагнитной МЭ системы.**

Принцип работы приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля тока, протекающего по обмотке неподвижной катушки, с подвижным железным сердечником, помещенным в этом магнитном поле. На рисунке 1б показана схема устройства ЭМ прибора. Прибор состоит из прямоугольной катушки А с узкой щелью (просветом). Сердечник В изготовлен из мягкого железа и укреплен эксцентрично на оси. С осью сердечника скреплена стрелка S, поршень воздушного успокоителя D и спиральная пружина F, создающая противодействующий момент. Ток, протекающий по катушке А, образует внутри нее магнитное поле, под действием которого железный сердечник, поворачиваясь вокруг оси, втягивается в щель катушки. Ферромагнетики втягиваются в магнитное поле независимо от того, как оно направлено. Поэтому направление вращающего момента не зависит от направления тока, проходящего через катушку. Вследствие этого приборы электромагнитной системы могут работать в цепях и постоянного и переменного токов.

Величина измеряемого тока и угол отклонения стрелки в приборах электромагнитной системы связаны квадратичной зависимостью:  $\alpha \sim I^2$ . Следовательно, шкала таких приборов неравномерна.

Приборы ЭМ системы применяются, в основном, в цепях переменного тока. Они просты по конструкции и недороги. Электромагнитные амперметры и вольтметры получили широкое применение как щитовые приборы для переменного тока. Пределы измерения у амперметров от 6мА до 200А, у вольтметров от 3 до 600В.

Точность прибор в этой системы зависит от внешнего магнитного поля, частоты переменного тока и др. Специальные конструктивные устройства позволяют избежать влияния этой системы по сравнению с приборами других систем невысокая.

### **Основные достоинства приборов ЭМ системы:**

а) простота конструкции

б) применяются для измерения постоянного и переменного тока и напряжения

в) при кратковременных перегрузках выше вероятность, что прибор

не сгорит, т.к. катушка содержит много витков провода и не успевает сгореть за короткое время перегрузки.

### **Основные недостатки приборов**

- а) показания приборов зависят от внешних полей
- б) невысокая по сравнению с приборами других систем точность
- в) неравномерная шкала отсчета

### **2.3. Приборы других систем**

**А. Электродинамическая система** – принцип действия приборов основан на взаимодействии токов, протекающих по двум рамкам (катушкам), из которых одна подвижная, а другая неподвижная. Электродинамические приборы применяют для измерения постоянного и переменного токов (амперметры, вольтметры, ваттметры). Точность и чувствительность этих приборов для переменного тока очень высокая. На показания приборов большое влияние оказывают внешние магнитные поля.

**В. Тепловая система** – принцип действия основан на изменении длины проводника при его нагревании. Эти приборы могут измерять постоянные и переменные токи.

**С. Индукционная система** – принцип действия основан на взаимодействии токов индуцируемых в подвижной части прибора с магнитным потоком неподвижного магнита.

**Д. Вибрационная система** – основана на резонансе при совпадении частот собственных колебаний подвижной части прибора с частотой переменного тока. Приборы этой системы применяются для измерения частоты тока.

### **3. Амперметры, вольтметры, гальванометры.**

**Амперметром** называется прибор, служащий для измерения силы тока. При измерениях амперметр включают в цепь последовательно, т.е. так, что весь измеряемый ток через амперметр (рис.2). Так как амперметр при включении в цепь влияет на величину тока, то необходимо, чтобы сопротивление амперметра было как можно меньше. Покажем на примере. Если сопротивление в цепи равно  $R$ , то в отсутствие амперметра ток равен

$I = \frac{E}{(R + r)}$ , где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока. При

включении амперметра ток будет равен  $I = \frac{E}{(R + r + R_A)}$ , где  $R_A$  – сопротивление амперметра.

Из сравнения выражений для  $I$  и  $I'$  видно, что  $I = I'$  при  $R_A = 0$ , т.е. чтобы не вносить в цепь искажений, в идеале  $R_A$  равно нулю (в реальности как можно меньше). Слабые токи измеряются обычно МЭ амперметрами, которые имеют конструктивные решения и благодаря этому приобретают

высокую чувствительность. Такие приборы называются миллиамперметрами (токи до  $10^{-3}$  А) и микроамперметрами (токи до  $10^{-6}$  А). На схеме амперметр обозначается кружком с буквой «А».

**Вольтметрами** называют приборы, служащие для измерения напряжения. По принципу действия вольтметр не отличается от амперметра, он также реагирует на ток. По закону Ома напряжение на вольтметре равно  $U_V = I_V \cdot R_V$ , где  $R_V$  - сопротивление вольтметра, а  $I_V$  – ток, текущий через него. Шкалу прибора можно проградуировать в вольтах. Чтобы измерить напряжение на каком – либо участке цепи, вольтметр надо включить параллельно этому участку (рис.3). Вольтметр покажет напряжение на самом себе, но по законам параллельного соединения оно будет равно напряжению на выбранном участке. Для того чтобы включение вольтметра не изменяло заметно режима цепи, сопротивление вольтметра должно быть очень велико по сравнению с сопротивлением участка цепи MN. На рис.3а в отсутствие

вольтметра напряжение на участке MN:  $U = IR = \frac{ER}{(R+r)}$ , где  $I = \frac{E}{(R+r)}$ .

При подключении вольтметра с сопротивлением  $R_V$  сила тока в цепи изменится и станет равна  $I'$ . Тогда напряжение на участке MN будет равно  $U' = I'R$ , где  $I' = \frac{E}{(R' + r)}$  где  $R'$  – общее сопротивление параллельно соединенных сопротивлений  $R$  и  $R_V$ . По формуле для общего сопротивления

при параллельной соединении  $R' = \frac{RR'}{(R + R')}$ . Тогда

$$I = \frac{E}{\frac{RR_V}{R + R_V} + r} = \frac{E(R + R_V)}{RR_V + r(R + R_V)} = \frac{E(R + R_V)}{RR_V + rR + rR_V} = \frac{E\left(\frac{R}{R_V} + 1\right)}{R + \frac{rR}{R_V} + r}$$

$$U = IR = \frac{E\left(\frac{R}{R_V} + 1\right)}{R + r + \frac{rR}{R_V}} = \frac{ER + \frac{ER^2}{R_V}}{R + r + \frac{rR}{R_V}}$$

Сравнивая выражение для  $U$  и  $U'$  видим, что  $U' = U$ , если  $\frac{ER}{R_V} = 0$  и

$$\frac{rR}{R_V} = 0. \text{ Следовательно, необходимо, чтобы } R_V = \infty.$$

**Гальванометрами** называют чувствительные приборы, служащие для измерения малых токов, напряжений и количеств электричества (соответственно меньше  $10^{-6}$  ампера, вольта или кулона).

По принципу действия и устройству гальванометры бывают МЭ и вибрационные (резонансные). Первые применяются для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока, а вторые используются преимущественно в качестве указателей отсутствия тока при измерениях в цепях переменного тока по т.к. называемому нулевому методу. Гальванометры с подвижной рамкой (катушкой) по своему устройству принципиально не отличаются от описанного выше устройства приборов магнитоэлектрической системы.

#### 4. Вспомогательные электрические приборы

4.1 **Шунт** (от англ. shunt – запасной путь). Предел измерения амперметра ограничен тем, что через его рамку можно пропускать ток, не превышающий указанный предел измерений, иначе рамка сгорит и амперметр выйдет из строя. Для увеличения предела измерений амперметра применяют шунт (рис.4). Его сопротивление  $R_{Ш}$  рассчитывается таким образом, что через амперметр пойдет ток, на превышающий разрешенного значения, а остальной ток пойдет через шунт. Рассчитаем сопротивление шунта. Пусть амперметр имеет сопротивление  $R_A$  и предел тока  $I_A$ . При использовании шунта амперметр должен измерять токи, не превышающие  $I = n \cdot I_A$  ( $n > 1$ ). При параллельном соединении  $\varphi_1 - \varphi_2 = I_A \cdot R_A = I_{Ш} \cdot R_{Ш}$ , где  $I_{Ш} = I - I_A = I_A (n - 1)$ . Значит  $R_{Ш} = \frac{I_A R_A}{I_{Ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$ , т.е. для увеличения предела измерений

амперметра в  $n$  раз, надо взять шунт с сопротивлением в  $(n - 1)$  раз меньше, чем сопротивление амперметра. В реальном приборе может быть несколько пределов измерения – соответственно, несколько шунтов.

#### Вопросы:

4. Почему шунт должен включаться параллельно амперметру?
5. Рассчитайте шунты к следующим условиям:

- а) амперметр сопротивлением 10 Ом рассчитан на силу тока 30 мА. Необходимо изменить его так, чтобы он мог измерять ток до 3 А; 0,3 А.
- б)  $R_A = 200$  Ом;  $I_A = 100$  мкА.  $I_I = 10$  мА.

4.2. **Добавочное сопротивление** применяется для расширения пределов измерения вольтметра, которое включается последовательно с вольтметром (рис.5). Пусть вольтметр имеет сопротивление  $R_V$  и предел измерений  $U_V$ . При использовании добавочного сопротивления вольтметр должен измерять напряжения  $U = n \cdot U_V$  ( $n > 1$ ), т.е. мы должны увеличить предел измерений вольтметра в  $n$  раз. При последовательном соединении  $I_V = I_{Доб}$ , а  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$

$= U_V + U_{\text{ДОБ}} = I_V \cdot (R_V + R_{\text{ДОБ}})$ ;  $U = n \cdot U_V = n \cdot I_V \cdot R_V$ , т.е.  $nR_V = R_V + R_{\text{ДОБ}}$  и  $R_{\text{Д}} = R_V (n-1)$ . Следовательно, если необходимо измерить вольтметром в  $n$  раз больше напряжение, то необходимо включить последовательно вольтметру добавочное сопротивление  $R_{\text{Д}} = R_V (n-1)$ . Вольтметр может иметь несколько пределов измерений и, соответственно, несколько добавочных сопротивлений.

### Вопросы:

6. Вольтметр показывает напряжение  $U_1 = 36$  В;  $U = 100$  В;  $R_1 = 4$  кОм;  $R_2 = 6$  кОм. Найти отношение силы тока, идущего через  $R_2$ , к силе тока идущего через вольтметр.
7. Вольтметр, предел измерений которого 100 В, имеет сопротивление 10 кОм. Какую наибольшую разность потенциалов можно измерить этим прибором, если присоединить к нему добавочное сопротивление 90 кОм?
8. Гальванометр имеет сопротивление 200 Ом и при силе тока 100 мкА стрелка отклоняется на всю шкалу. Какое добавочное сопротивление нужно подключить, чтобы прибор можно было использовать как вольтметр до 2 В? Каким должен быть шунт, чтобы прибор работал как амперметр с пределом измерений 10 мА?

**4.3. Резисторы, реостаты, магазин сопротивлений.** Проводник с определенным постоянным сопротивлением называют **резистором** (от лат. resisto - сопротивляюсь). Для изменения силы тока в цепи часто применяются реостаты. В зависимости от назначения реостаты имеют различные виды. В лабораторной практике иногда применяют **ламповые реостаты**, состоящие из нескольких ламп, соединенных параллельно или последовательно. Регулирование силы тока происходит за счет включения в цепь определенного числа ламп. Большое применение получили реостаты со скользящим контактом. Эти реостаты состоят из фарфорового или шиферного цилиндра, на который намотана проволока (или лента), изготовленная из металла с большим удельным сопротивлением. По проволоке может перемещаться подвижный контакт (рис.7), позволяющий постепенно заключать в цепь обмотку. Реостат включается в цепь через клемму, соединенную с ползунком и клемму, соединенную с одним из концов проволоки. Набор эталонных сопротивлений, представляющих собой катушки сопротивлений, называется **магазином сопротивлений**. Каждая катушка состоит из хорошо изолированной проволочной обмотки, изготовленной из манганина или константа. Сопротивление каждой катушки вполне определено для данной температуры. Катушки набора помещаются в общий ящик.

**4.4. Потенциометр.** Реостаты предназначены для измерения величины тока в цепи. Однако, не менее часто, необходимо менять напряжение. Эта задача решается при включении реостата по схеме потенциометра. (см.рис.7.Реостат АС подключается к источнику тока и напряжение между точками А и С



равно напряжению на клеммах источника. Регулируемое напряжение  $U$  снимается с одной из клемм проводника (точки А или С) и подвижного контакта В. На рис.7 напряжение  $U$  равно падению напряжения на части реостата ВС. Это напряжение меняется при движении подвижного контакта В от нуля до напряжения, создаваемого источником.

### Вопросы:

9. Как нужно установить подвижный контакт В чтобы вольтметр (см. рис.ж..7) показал максимальное значение  $U_0$ ? нулевое значение? половину  $U_0$ ? четверть  $U_0$ ? три четверти  $U_0$ ? треть  $U_0$ ? две трети  $U_0$ ?

5. Снимая показания прибора, нужно помнить, что:

**Предел измерений** – наибольшее значение величины, которое можно измерить данным прибором. Это значение указывается на шкале прибора. Если прибор многопредельный, то все возможные пределы измерений указываются на панели переключателя пределов.

Полное **число делений** шкалы – определяется по шкале прибора.

**Цена деления** прибора равна отношению предела измерений к полному числу делений прибора;

$$\text{цена деления} = \frac{\text{предел измерений}}{\text{полное число делений}}$$

**Чувствительность прибора:**  $S = \frac{d\varphi}{dA}$ , (2)

где  $dA$  - приращение измеряемой величины;

$d\varphi$  - соответствующее приращения угла поворота (выраженное в делениях).

**Цена деления прибора  $C$**  – есть величина, обратная чувствительности:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{dA}{d\varphi}. \quad (3)$$

Чем больше чувствительность прибора, тем меньшие величины можно измерить прибором. Цена деления  $C$  определяет значение измеряемой величины, вызывающей отклонение стрелки на одно деление.

**Пример:** пусть шкала вольтметра имеет 50 делений. Вольтметр рассчитан на измерение напряжения от 0 до 250 Вольт.

**Чувствительность** этого вольтметра будет равна

$$S = \frac{50 \text{ делений}}{250 \text{ вольт}} = 0,5 \frac{\text{деления}}{\text{вольт}}.$$

**Цена деления** равна:  $C = \frac{250 \text{ вольт}}{50 \text{ делений}} = 5 \frac{\text{вольт}}{\text{деление}}.$

Чтобы определить значение измеряемой величины, необходимо цену деления прибора умножить на число делений, на которое отклонилась стрелка.

**Например:** при измерении напряжения описанным выше вольтметром, стрелка отклонилась на  $N = 40$  делений. Тогда измеренное напряжение равно

$$U = C \cdot N = 5 \frac{B}{дел} \cdot 40 дел = 200B.$$

### Оценка погрешностей электрических измерений.

Абсолютная погрешность измерений, производимых электроизмерительными приборами, оценивается исходя из класса точности приборов. Обозначение класса точности 0.2, 0.5, 1.0 и т.д. указывает, что погрешность показаний прибора соответствующего класса в любом месте шкалы не должна превышать 0.2%, 0.5 %, 1.0%.

Если обозначим через  $A$  максимально возможное показание приборов, а через  $n$  – класс точности прибора, то получим абсолютную погрешность прибора:  $\Delta A = n \cdot A \cdot 0,01$ . Например, вольтметр 0.2 класса, шкала которого рассчитана на 5В, имеет абсолютную погрешность:  $\Delta U = \pm 0,002 \cdot 5B = \pm 0,01B$  Амперметр класса 1.5, рассчитанный на максимальные показания 5А, имеет абсолютную погрешность равную:  $L = \pm 0,015 \cdot 5A = \pm 0,075A$ .

Так как абсолютная погрешность считается одинаковой по всей шкале данного электроизмерительного прибора, то относительная погрешность  $(\frac{\Delta L \times 100\%}{L})$  будет тем больше, чем меньше измеряемая величина. Если, например, при помощи указанного амперметра измерить ток около 4А, то относительная погрешность будет составлять 1,9% , а при измерении силы тока около 1А – 7,5%. При точных измерениях следует пользоваться такими приборами, чтобы предполагаемое значение измеряемой величины составляло 70-80% от максимального (номинального) значения. Поэтому применяют приборы, имеющие несколько пределов измерений; при работе с таким прибором его включают в цепь на тот предел измерений, который достаточно близок к предполагаемому значению измеряемой величины.

Рассмотрим вычисление погрешностей измерения внутреннего сопротивления элемента, электродвижущая сила которого, напряжение на полюсах  $U$  и величина тока  $I$ . Для измерения применимы вольтметр класса 0,5 ( $U = 2,5$  В) и амперметр класса 1,0 ( $I = 1,5$  А). Результаты измерения следующие:  $E = 2$  В,  $U = 1,3$  В,  $I = 1,2$  А.

Абсолютные погрешности измерений:

$$\Delta E = \Delta U = \pm 0,005 \cdot 2,5 \text{ В} = \pm 0,0125 \text{ В} \quad \Delta I = \pm 0,01 \cdot 1,5 \text{ А} = \pm 0,015 \text{ А}$$

Вычисления внутреннего сопротивления производим по формуле:

$$r = \frac{(E - U)}{I} \quad (4)$$

Максимальная относительная погрешность может быть определена общеизвестным методом. Логарифмируя выражение (4):

$$\ln(r) = \frac{\ln(E) - \ln(U)}{\ln(I)}$$

находим относительную погрешность:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta(E+U)}{(E-U)} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta E + \Delta U}{(E-U)} + \frac{\Delta I}{I} = \pm \left( \frac{(0,0125 B + 0,125 B)}{2B - 1,3B} + \frac{0,015 A}{1,2 A} \right) =$$

$$= \pm(0,0357 + 0,01251) = \pm 0,0482$$

Округляя, получим  $\frac{\Delta r}{r} = 0,05$ . Эта погрешность, выраженная в процентах

составляет  $\frac{\Delta r}{r} \times 100\% = 5\%$ . С помощью формулы (4) находим внутреннее

сопротивление  $r$  и абсолютную погрешность  $\Delta r$ :

$$r = \frac{(2B - 1,3B)}{1,2A} = 0,58 \text{ Ом} \quad \Delta r = \pm 0,05 \times 0,58 = \pm 0,029 \text{ Ом} = \pm 0,03 \text{ Ом}$$

Следовательно, внутреннее сопротивление  $r = (0,58 \pm 0,03) \text{ Ом}$ .

### Задание:

1. Ознакомиться с различными приборами и сделать описание каждого прибора (название, система, пласт точности и т.д.).
2. Вычислить чувствительность и цену деления каждого прибора.
3. Исходя из класса точности, определить абсолютную погрешность каждого прибора.
4. По заданию преподавателя рассчитать шунт к амперметру и добавочное сопротивление для вольтметра.
5. По заданию преподавателя собрать простейшие схемы подключения амперметра, вольтметра, шунта и добавочного сопротивления.

### Вопросы:

1. Устройство, принцип действия, достоинства и недостатки магнитоэлектрической системы.
2. Устройство, принцип действия, достоинства и недостатки электромагнитной системы.
3. Принцип действия приборов других систем.
4. Как подключается амперметр и вольтметр? Нарисовать схему подключения.
5. Как подключается шунт к амперметру и добавочного сопротивления к вольтметру? Нарисовать схему подключения.
6. Как рассчитать цену деления, чувствительность, абсолютную и относительную погрешность прибора?

### Литература:

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1964, стр. 134 – 138, 159 – 160, 162 – 163

2. Физический практикум. Электричество и оптика./под ред. В.И. Ивероновой. М.: Наука, 1968, стр. 93 – 105
3. Лабораторные занятия по физике / под ред. Л.Л. Гольдина. М.: Наука, 1983, стр. 53 – 61
4. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. М.: Высшая школа, 1970, стр. 179 – 193.
5. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. Высшая школа, 1991.
6. Практикум по общей физике /под ред. проф. Ноздрева В.Ф. Учебное пособие. М.: Просвещение 1971