

---

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

---

### ИЗУЧЕНИЕ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с устройством и основными характеристиками стрелочных электроизмерительных приборов: амперметра, вольтметра.
2. Ознакомление с устройством цифровых электроизмерительных приборов.

#### 2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 19-е изд. – Академия, 2012. – 560 с.
- 2 Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – Академия, 2009. – 720 с.

#### 3. СТРЕЛОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В зависимости от того, какое физическое явление положено в основу действия прибора, электрические измерительные приборы подразделяются на следующие системы: магнитоэлектрическую, электромагнитную и др. Ниже будут рассмотрены только две системы: магнитоэлектрическая и электромагнитная. Принцип их работы основан на явлении взаимодействия магнитного поля и электрического тока.

**Магнитоэлектрическая система** – рисунок 1.

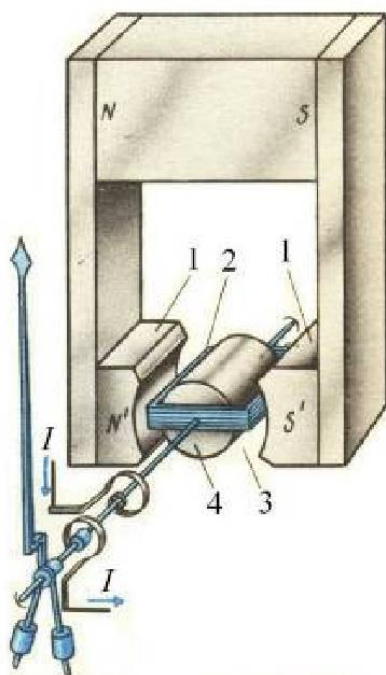


Рисунок 1. Устройство прибора магнитоэлектрической системы:

1 – постоянный магнит, 2 – катушка, намотанная на алюминиевую рамку, 3 – зазор, 4 – неподвижный стальной цилиндр

Приборы этой системы предназначены для измерений величины тока и напряжения в цепях постоянного тока. Между полюсами постоянного магни-

та (1), создающего в зазоре (3) однородное магнитное поле, расположена рамка, по виткам которой протекает измеряемый ток. При отсутствии тока плоскость витков рамки располагается параллельно силовым линиям магнитного поля. При прохождении тока рамка стремится повернуться так, чтобы ее плоскость оказалась перпендикулярной силовым линиям магнитного поля. Этому повороту противодействует спиральная пружина. Как только момент силы упругости пружины  $M_2$  станет равным моменту силы взаимодействия магнитных полей – поля тока и поля постоянного магнита  $M_1$ , рамка останавливается в равновесии. К рамке прикреплена стрелка, которая дает возможность по шкале произвести отсчет измеряемой величины тока или напряжения.

Вращающий момент, возникающий из-за взаимодействия магнитных полей, пропорционален току, текущему по рамке:  $M_1 = k_1 I$ .

Противодействующий момент пружины пропорционален углу поворота рамки (углу закручивания пружины):  $M_2 = k_2 \alpha$ . Отсюда  $\alpha = \frac{k_1}{k_2} \cdot I = kI$ , т. е.

угол поворота рамки, а следовательно и стрелки, пропорционален силе тока, что обеспечивает равномерность шкалы прибора.

Достоинствами магнитоэлектрических приборов являются: высокая чувствительность и точность показаний, равномерность шкалы, малая чувствительность к внешним магнитным полям.

**Электромагнитная система** – рисунок 2.

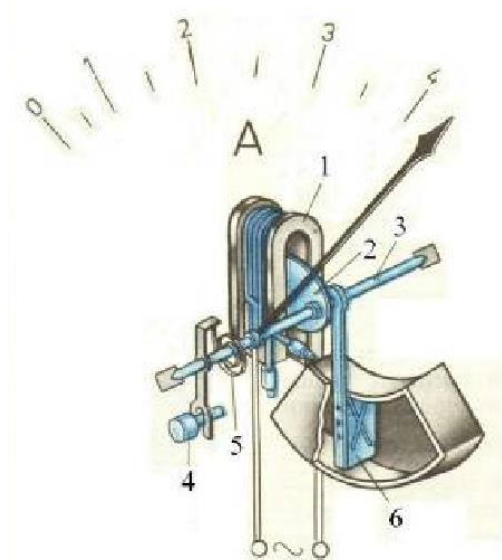


Рисунок 2. Устройство прибора электромагнитной системы: электромагнитной системы:

- 1 – неподвижная катушка,
- 2 – стальной сердечник, закрепленный на оси 3,
- 4 – корректор, 5 – пружина,
- 6 – успокоитель

Приборы электромагнитной системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепи переменного тока. Принцип действия приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля катушки (1), по которой протекает измеряемый ток и железного сердечника, являющегося подвижной частью.

Железный сердечник в форме круглой пластины закреплен эксцентрично на оси. При прохождении тока по неподвижной катушке сердечник втягивается внутрь катушки так, чтобы его пересекало как можно больше силовых линий магнитного поля. Движению сердечника противодействует спиральная пружина. Магнитное поле катушки пропорционально току, намагничивание сердечника тоже увеличивается с возрастанием тока. Поэтому можно приблизительно считать, что в электромагнитном приборе вращающий момент  $M_1$  пропорционален квадрату тока  $M_1 = k_1 I^2$  ( $k_1$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции прибора). Противодействующий момент  $M_2$ , создаваемый пружиной, пропорционален углу поворота подвижной части прибора:  $M_2 = k_2 \alpha$ ,  $k_2$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от упругих свойств пружины).

Сердечник при прохождении тока останавливается тогда, когда моменты  $M_1$  и  $M_2$  окажутся равными, т.е.  $k_1 I^2 = k_2 \alpha$ , откуда  $\alpha = \frac{k_1}{k_2} I^2$ .

Отсюда видно, что у приборов электромагнитной системы отклонение стрелки, скрепленной с сердечником, пропорционально квадрату тока, т.е. шкала такого прибора неравномерна. С изменением направления тока меняется как направление магнитного поля неподвижной катушки, так и полярность намагничивания сердечника. Поэтому при изменении направления тока сердечник не будет выталкиваться, а будет втягиваться. Таким образом, приборы электромагнитной системы можно применять при измерениях как постоянного тока, так и переменного. В этом основное достоинство приборов этой системы. Кроме того, к достоинствам этих приборов нужно отнести: простоту конструкции, механическую прочность, выносливость в отношении перегрузок.

Недостатками приборов электромагнитной системы являются: неравномерность шкалы, меньшая точность, чем у магнитоэлектрических приборов, большая зависимость показаний от внешних магнитных полей.

**Режим вольтметра или амперметра.** Как понятно из вышеизложенного, угол отклонения стрелки пропорционален току. Поэтому, все приборы описанных систем являются микро – милли – амперметрами. Чувствительность прибора в конечном итоге определяется произведением длины провода, находящегося в магнитном поле на силу тока (число ампер-витков поскольку провод свернут в катушку) и индукцией магнитного поля постоянного магнита (магнитоэлектрическая система).

Однако, приборы должны работать в режиме измерения тока или напряжения. Величины токов или напряжений могут быть самыми разнообразными. В любом случае подключение прибора должно как можно меньше влиять на режим работы цепи.

Вольтметр включается параллельно участку цепи, на котором он измеря-

ет падение напряжения, и ток, ответвляющийся в цепь вольтметра должен быть как можно меньше (в идеале – ноль). Поэтому, сопротивление вольтметра должно быть как можно больше (в идеале – бесконечность).

Амперметр включается последовательно с участком цепи, и падение напряжения ( $I \cdot R$ , где  $R$  – сопротивление катушки прибора) на амперметре должно быть как можно меньше (в идеале – ноль). Следовательно, сопротивление катушки должно быть как можно меньше.

Удовлетворить этим разнополярным требованиям можно было бы, делая катушки вольтметров состоящими из большого количества витков очень тонкого провода, а катушки амперметров – из малого количества витков толстого провода. Конечно, так не делают.

Все приборы являются микроамперметрами, с током полного отклонения стрелки 50 – 100 мкА. Чтобы измерять напряжение или ток, прибор включается последовательно с добавочным сопротивлением или параллельно с шунтом. Мощность потерь в вольтметре рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{U^2}{R_{in}}. \text{ Мощность потерь в амперметре рассчитывается по формуле:}$$

$W = I^2 R_{in}$ , где  $R_{in}$  – внутреннее (с учетом добавочного сопротивления или шунта) сопротивление прибора.

### Основные характеристики электроизмерительных приборов.

**Класс точности.** Все электроизмерительные приборы разделяются на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности прибора  $\gamma$  численно равен выраженной в процентах относительной погрешности измерения

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\Delta A$  – максимальная абсолютная погрешность;

$A_m$  – максимальное значение диапазона прибора.

Относительная погрешность измерения определяется формулой

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%, \quad (2)$$

и, как видно, зависит от величины измеряемого тока или напряжения ( $A$ ). Наименьшая относительная погрешность обеспечивается при измерении величины близкой к пределу диапазона.

Пример. Миллиамперметром на 75 мА измерен ток 30 мА. Класс точности прибора 0,2, то есть  $\gamma = 0,2\%$ . Следовательно, максимальная возможная ошибка при измерении любого тока в пределах 0...75 мА будет

$$\Delta A = \frac{A_m}{100\%} \cdot \gamma = \frac{75 \text{ мА}}{100\%} \cdot 0,2 = \pm 0,15 \text{ мА}$$

и относительная погрешность измерения тока 30 мА равняется:

$$\varepsilon = \frac{0,15 \text{ мА}}{30 \text{ мА}} \cdot 100\% = 0,5 \%$$

**Пределы измерений и цена деления.** Значение измеряемой величины, при котором стрелка прибора отклоняется до конца шкалы, называется пределом измерения этого прибора  $A_m$ .

Электроизмерительные приборы могут иметь несколько пределов измерений (многопредельные приборы). Необходимо помнить, что при измерениях таким прибором на различных пределах цена деления будет различной.

Цена деления прибора равна значению измеряемой величины, соответствующей одному делению шкалы прибора.

*Пример.* Амперметр имеет предел измерений 15 А. Шкала имеет 150 делений. Цена деления равна  $\frac{15 \text{ А}}{150 \text{ дел}} = 0,1 \frac{\text{А}}{\text{дел}}$ .

**Обозначения на шкале прибора.** Условные обозначения, применяемые на шкалах приборов приведены на рисунке 3.

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой		горизонтальное положение шкалы	
магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом		вертикальное положение шкалы	
электромагнитный прибор		наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту, например 60°	
электродинамический прибор		направление ориентировки прибора в земном магнитном поле	
ферродинамический прибор		класс точности при нормировании погрешности в процентах от диапазона измерения	2
индукционный прибор		класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы	
магнитоиндукционный прибор		измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ	
электростатический прибор		нормальное (номинальное) значение частоты	500 Hz
термоэлектрический прибор с изолированным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом		измерение постоянного тока	—
выпрямительный прибор с магнитоэлектрическим измерительным механизмом		измерение переменного тока	~
защита от внешних магнитных полей		измерение постоянного и переменного тока	≈
защита от внешних электростатических полей			

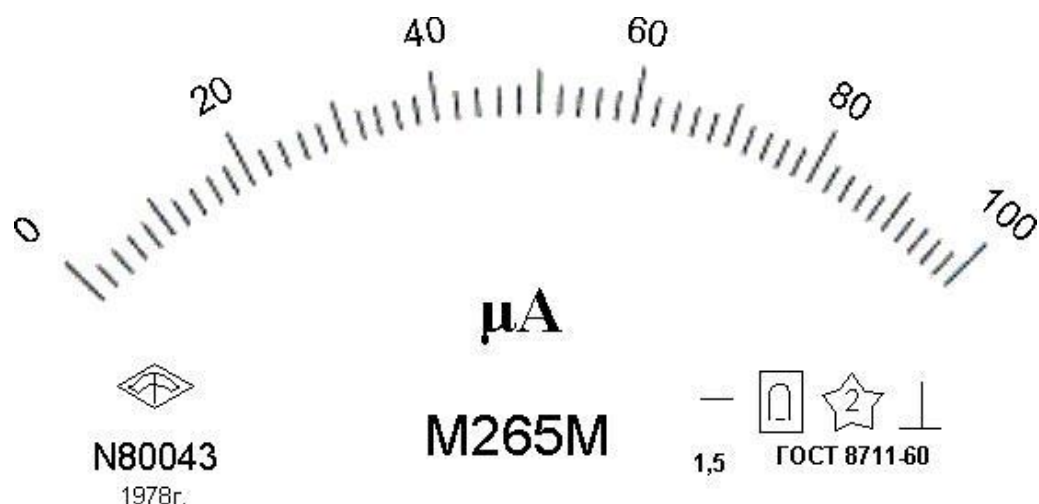


Рисунок 3. Условные обозначения на шкалах приборов и пример шкалы микроамперметра

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучите характеристики вольтметра и амперметра. Для этого рассмотрите лицевую панель приборов и заполните табл.1.

Таблица 1

Характеристики стрелочного электроизмерительного прибора			Характеристики цифрового прибора	
Наименование прибора	Вольт-метр	Ампер-метр	Вольт-метр	Ампер-метр
Система измерительного механизма			Цифровой	Цифровой
Предел измерения				
Цена деления				
Класс точности				
Абсолютная погрешность				
Род тока				
Нормальное положение шкалы				

4.2. Изучите лицевую панель цифрового мультиметра. Включите прибор в режим вольтметра, затем амперметра. Выберите предел измерения наиболее близкий к пределу измерения стрелочного прибора. Заполните таблицу 1. Цену деления и абсолютную погрешность положите равной весу наименьшего разряда на индикаторе прибора.

4.3. Постройте график зависимости относительной погрешности  $\varepsilon$  измерения напряжения (формула 2) от измеряемого напряжения. Сделайте вывод о величине относительной погрешности прибора в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

### Измерение напряжения.

4.4. Соберите схему, показанную на рис.4. В качестве исследуемого прибора использовать стрелочный вольтметр, в качестве эталонного – цифровой мультиметр МУ68 в режиме измерения постоянного напряжения. Переключателем режима работы установить на функциональном генераторе постоянное напряжение. Регулятор «Амплитуда» установить в крайнее левое положение.

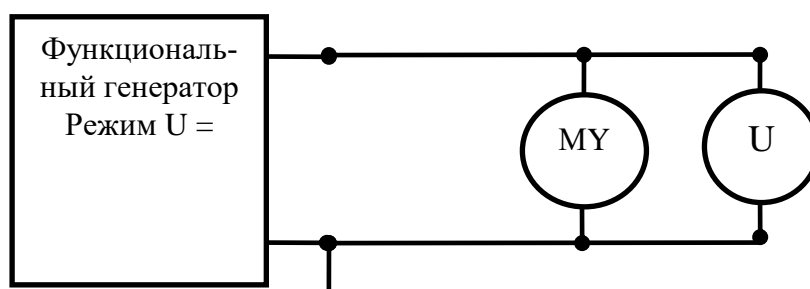


Рисунок 4. Схема поверки стрелочного вольтметра

4.5. После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда. Плавно увеличивая выходное напряжение, измерить напряжение с помощью цифрового вольтметра на всех основных делениях шкалы стрелочного вольтметра. Результаты измерений занести в таблицу 2. Выключить электропитание стенда.

Таблица 2.

Стрелочный	$U_1, \text{В}$							
Цифровой	$U_2, \text{В}$							
Абсолютная погрешность	$\Delta U =  U_1 - U_2 $							
Относительная погрешность	$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\%$							

### Измерение тока.

4.6. Соберите схему, показанную на рис.5. В качестве исследуемого прибора использовать стрелочный амперметр, в качестве эталонного – цифровой мультиметр МУ68 в режиме измерения постоянного тока с пределом 200 мА.

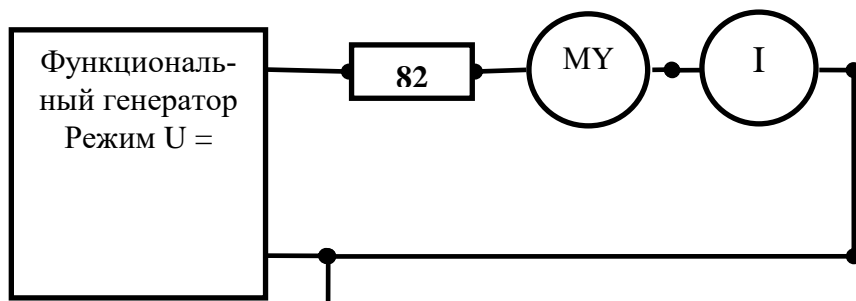


Рисунок 5. Схема поверки стрелочного амперметра

Последовательно с приборами включить резистор (минимодуль) сопротивлением 82 Ом.

Переключателем режима работы установить на функциональном генераторе постоянное напряжение. Регулятор «Амплитуда» установить в крайнее левое положение.

4.7. После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда. Плавно увеличивая выходное напряжение, измерить ток с помощью цифрового прибора на всех основных делениях шкалы стрелочного прибора. Результаты измерений занести в таблицу 3. Выключить электропитание стенда.

Таблица 3.

Стрелочный	$I_1$ , мА	20	40	60	80	100
Цифровой	$I_2$ , мА					
Абсолютная погрешность	$\Delta I =  I_1 - I_2 $					
Относительная погрешность	$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%$					



**Измерение мощности.** Косвенное измерение мощности с помощью вольтметра и амперметра осуществляется по формуле  $P = U \cdot I$ .

4.8. Собрать электрическую цепь изображенную на рис.6. Переключателем режима работы установить на функциональном генераторе постоянное напряжение. Регулятор «Амплитуда» установить в крайнее левое положение.

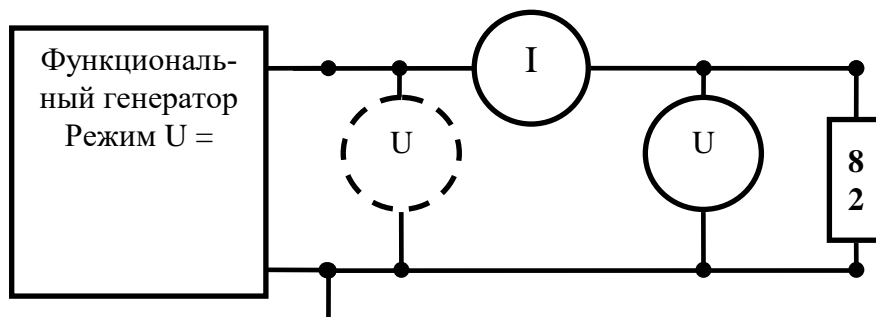


Рисунок 6. Схема 1 (вольтметр слева), 2 (вольтметр справа) для измерения мощности

4.9. По заданию преподавателя собрать схему 1 или схему 2 или последовательно сначала схему 1 затем схему 2. После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда. Плавно увеличивая выходное напряжение, измерить ток и напряжение. Результаты измерений занести в таблицу 4. Выключить электропитание стенда. Вычислить мощность, абсолютные и относительные погрешности. Сопоставить результаты измерений, выполненных по схеме 1 и схеме 2.

Таблица 4

Схема 1	Напряжение	$U, \text{В}$					
	Ток	$I, \text{мА}$					
	Мощность	$P = U \cdot I, \text{мВт}$					
	Относительная погрешность	$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$					
	Абсолютная погрешность	$\Delta P = P \cdot \varepsilon, \text{мВт}$					
Схема 2	Напряжение	$U, \text{В}$					
	Ток	$I, \text{мА}$					
	Мощность	$P = U \cdot I, \text{мВт}$					
	Относительная погрешность	$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$					
	Абсолютная погрешность	$\Delta P = P \cdot \varepsilon, \text{мВт}$					

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите устройство и принцип действия электроизмерительных приборов различных систем. Охарактеризуйте их достоинства и недостатки, укажите границы применения.
2. Дайте определение предела измерения, цены деления и класса точности электроизмерительного прибора.
3. Нарисуйте схемы включения в электрическую цепь амперметра, вольтметра, амперметра и вольтметра в режиме измерения мощности.
4. Какими должны быть внутренние сопротивления амперметра, вольтметра? Почему?
5. Дайте определение мощности тока.

\* \* \*