

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

---

Кафедра «Физика»  
Лаборатория электрофизики

## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Методические указания  
к лабораторной работе № 241

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2004

Цель работы: ознакомление с принципом работы электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы, градуировка прибора, расширение предела измерения прибора.

### Принцип работы электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы.

В электроизмерительной технике для измерения тока и напряжения применяют приборы магнитоэлектрической системы (МЭС). Принцип работы приборов МЭС основан на взаимодействии постоянного магнитного поля и проводника с током. Между полюсами магнита  $N$  и  $S$  помещена рамка  $D$ , состоящая из нескольких витков провода, навитых на железный цилиндр (рис. 1). Железный цилиндр усиливает магнитное поле в зазоре между полюсами магнита. Ток к рамке подводится через спиральные пружины  $P$ .

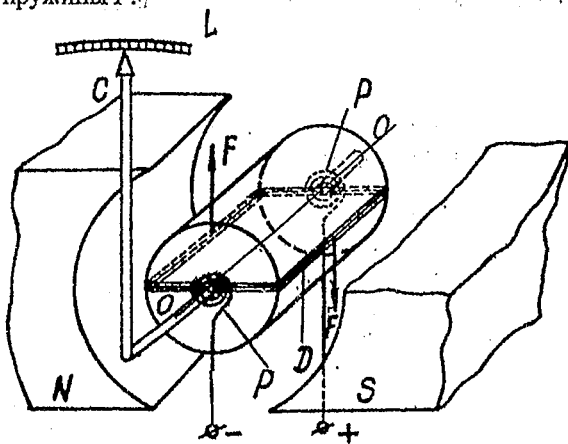


Рис. 1

При пропускании тока  $I$  на провода рамки, расположенные вдоль боковой поверхности цилиндра, действуют силы Ампера  $F$ . Момент  $M$  пары сил Ампера относительно оси  $OO$  равен

$$M = BSIN, \quad (1)$$

где  $B$  — индукция магнитного поля,

$N$  — число витков рамки,

$S$  — площадь рамки.

Под действием вращающего момента  $M$  рамка поворачивается на угол  $\alpha$  и закручивает пружину. Поворот рамки фиксирует стрелка  $C$  в делениях шкалы прибора  $L$ . При деформации пружины возникает противодействующий момент упругих сил  $M_1$ , прямо пропорциональный углу поворота рамки  $\alpha$

$$M_1 = k\alpha, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от устройства прибора (упругих свойств материала, размеров и числа витков пружины).

Поворот рамки прекращается при некотором угле  $\alpha$ , когда  $M=M_1$ . При этом

$$BSNI = k\alpha. \quad (3)$$

Очевидно, что отклонение стрелки по шкале прибора  $\alpha$  прямо пропорционально силе тока  $I$ , проходящего через рамку:

$$I = \frac{k}{BSN} \alpha = A_1 \alpha \quad (4)$$

Прибор, в котором показания стрелки зависят от силы тока  $I$ , получил общее название гальванометр и служит для качественного обнаружения тока.

Гальванометр, используемый для измерения силы тока, называется амперметром. Гальванометр, используемый как амперметр, может измерять очень малые токи порядка микроамперов. Для измерения токов порядка миллиамперов или амперов гальванометр шунтируют — подключают параллельно малое сопротивление. Амперметр включается в цепь последовательно, чтобы весь измеряемый ток проходил через измерительную рамку. Чтобы включение амперметра в цепь возможно меньше искажало измеряемый ток, сопротивление амперметра должно быть много меньше сопротивления цепи.)

$A_1$  в формуле (4) — цена деления амперметра, равная силе тока, отклоняющего стрелку на одно деление шкалы; измеряется в ампер/дел.

Прибор МЭС может быть использован как вольтметр для измерения напряжения. Вольтметр включается параллельно участку цепи, между концами которого измеряется напряжение (участок АВ на рис. 2). На вольтметр отвлекается ток  $I$  — часть общего тока  $I_0$ . По закону Ома напряжение на измерительной рамке, сопротивление которой  $r$ , равно

$$U = Ir = \frac{kr}{BSN} \alpha = A_U \alpha \quad (5)$$

и равно напряжению на измеряемом участке АВ.

$A_{\text{д}}$  — цена деления вольтметра, равная напряжению, при котором стрелка отклоняется на одно деление шкалы прибора; измеряется в вольт/дел.

Чтобы подключение вольтметра возможно меньше изменяло сопротивление цепи, сопротивление вольтметра должно быть много больше сопротивления цепи. Это достигается последовательным подключением к гальванометру добавочного сопротивления.)

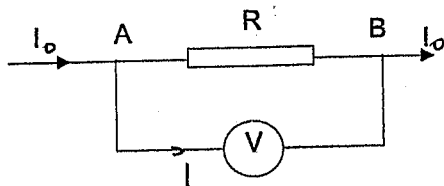


Рис. 2

В зависимости от назначения прибора МЭС производится его градуировка. Градуировка есть соответствие показаний стрелки по шкале прибора значениям величины тока или напряжения, измеряемых эталонными приборами.

Приборы МЭС различаются по классу точности. Класс точности есть отношение максимальной ошибки прибора к его пределу измерения, выраженное в процентах. Известны следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 и др.

Приборы МЭС используются в цепях постоянного тока. Приборы МЭС имеют равномерную шкалу измерений, работают при малых токах, имеют высокую чувствительность и точность измерений. Приборы МЭС не чувствительны к внешним магнитным полям.)

#### Работа 241-I

### *Расширение предела измерения амперметра. Определение внутреннего сопротивления эталонного амперметра*

#### Задание 1. Расширение предела измерения амперметра

Требуется измерить ток  $I$ , величина которого превышает предел измерения амперметра  $I_0$ , то есть нужно расширить предел измерения амперметра в  $n$  раз, где

$$n = \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

Для этого амперметр «шунтируют», т.е. параллельно амперметру включают сопротивление  $R_{ш}$  (рис. 3). Через шунт отводится ток  $I_{ш} = I - I_0$ .

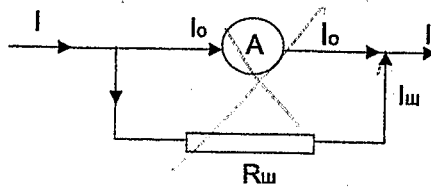


Рис. 3

Сопротивление шунта можно рассчитать из следующих соображений. На параллельных участках амперметр-шунт напряжения равны и по закону Ома

$$I_0 r = I_{ш} R_{ш},$$

где  $r$  – внутреннее сопротивление амперметра.

Но  $I_{ш} = I - I_0$ , тогда  $I_0 r = (I - I_0) R_{ш}$  и

$$R_{ш} = \frac{r}{n - 1} \quad (7)$$

#### Порядок выполнения работы:

1 Определить предел измерения  $I_0$  амперметра, полученного для выполнения работы, и его внутреннее сопротивление  $r$  (оно указано на табло прибора).

2 Получить от преподавателя значение нового предела измерения амперметра  $I$  или число  $n$ .

3 Рассчитать сопротивление шунта  $R_{ш}$  по формуле (7), установить это значение на магазине сопротивлений, подключить магазин параллельно к амперметру.

4 Собрать электрическую схему, показанную на рис. 4.

5 Провести градуировку шунтированного амперметра: менять силу тока в цепи с помощью потенциометра  $\Pi_1$  или сопротивления нагрузки  $\Pi_2$ ,

отмечать показания эталонного амперметра в амперах (или в миллиамперах) и показания шунтированного амперметра в делениях шкалы. Результаты измерений записать в таблице 1.

6 Построить градуировочный график  $\alpha = f(I)$ . Определить среднюю цену деления шунтированного амперметра  $A_I$  и погрешность цены деления  $\Delta A_I$  по формуле для расчета погрешности прямых измерений. Для проверки: цена деления шунтированного амперметра должна получиться в  $n$  раз больше прежней цены деления.

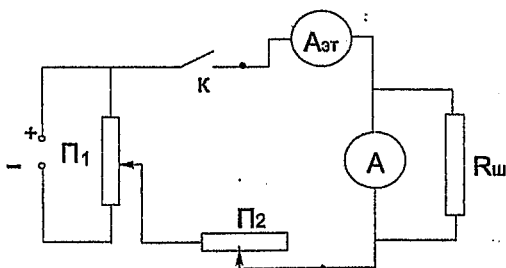


Рис. 4

Таблица 1

| № изм. | $I_3$ , ампер | $\alpha$ , делений | Цена деления $A_I$ , ампер/дел. | $\Delta A_I$ | $\Delta A_I^2$ |
|--------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------|----------------|
| 1      |               |                    |                                 |              |                |
| 2      |               |                    |                                 |              |                |

Среднее:

$\Sigma =$

**Задание 2** Определение внутреннего сопротивления эталонного амперметра

Подключим к источнику тока параллельно соединенные эталонный и шунтированный амперметры. При параллельном соединении напряжения на обоих амперметрах одинаковы и по закону Ома

$$IR_A = I_3 r_3, \quad (8)$$

где  $R_A$  - сопротивление шунтированного амперметра,

$I$  - сила тока через шунтированный амперметр,  
 $r_{\text{э}}$  - внутреннее сопротивление эталонного амперметра,  
 $I_{\text{э}}$  - сила тока через эталонный амперметр.  
 Из (8)

$$r_{\text{э}} = \frac{I}{I_{\text{э}}} R_A. \quad (9)$$

Сопротивление шунтированного амперметра с учетом (7)

$$R_A = \frac{R_w r}{R_w + r} = \frac{r}{n},$$

следовательно,

$$r_{\text{э}} = \frac{I r}{I_{\text{э}} n} \quad (10)$$

Порядок выполнения работы:

1 Соединить параллельно эталонный и шунтированный амперметры и подключить к источнику тока.

2 С помощью потенциометра  $\Pi_1$  устанавливать последовательно несколько (например 5) значений тока. Показания эталонного амперметра в амперах и показания шунтированного амперметра в делениях шкалы записать в таблицу 2.

3 Определить показания шунтированного амперметра в амперах с помощью градуировочного графика или цены деления по формуле  $I = \bar{A}_i \alpha$ .

4 Вычислить  $r_{\text{э}}$  по формуле (10), определить среднее значение и погрешность как результат прямого измерения.

Таблица 2

| № изм | $I_{\text{э}}, \text{A}$ | $\alpha, \text{дел.}$ | $I, \text{A}$ | $r_{\text{э}}, \text{Ом}$ | $\Delta r_{\text{э}}, \text{Ом}$ | $\Delta r_{\text{э}}^2$ |
|-------|--------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1     |                          |                       |               |                           |                                  |                         |
| 2     |                          |                       |               |                           |                                  |                         |
| .     |                          |                       |               |                           |                                  |                         |
| .     |                          |                       |               |                           |                                  |                         |

Среднее:

$\Sigma =$

Работа 241-II

**Расширение предела измерения вольтметра.  
Определение внутреннего сопротивления эталонного  
вольтметра**

**Задание 1 Расширение предела измерения вольтметра**

Требуется измерить напряжение  $U$ , величина которого превышает предел измерения вольтметра  $U_0$ , т.е. нужно расширить предел измерения вольтметра в  $n$  раз, где

$$n = \frac{U}{U_0} . \quad (11)$$

Для расширения предела измерения к вольтметру последовательно подключают добавочное сопротивление  $R_0$  (рис. 5).

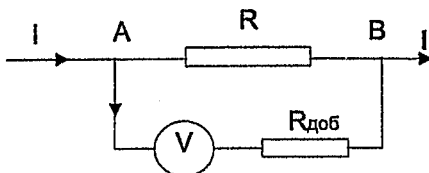


Рис. 5

При напряжении  $U$  на участке АВ на добавочном сопротивлении напряжение  $U_0 = U - U_0$ . С учетом (11)  $U_0 = nU_0 - U_0 = U_0(n-1)$ .

На последовательных участках (вольтметр — добавочное сопротивление) сила тока одинакова, и согласно закону Ома

$$R_0 = r(n-1), \quad (12)$$

где  $r$  — внутреннее сопротивление вольтметра.

**Порядок выполнения работы:**

1 Определить предел измерения  $U_0$  прибора МЭС, полученного для выполнения работы. Для этого нужно определить максимальный ток  $I_{max}$  измеряемый прибором, и внутреннее сопротивление  $r$  (оно указано на табло прибора).  $U_0 = rI_{max}$ .

2 Получить от преподавателя значение нового предела измерения вольтметра  $U$  ( $U > U_0$ ) или число  $n$ .



3 Рассчитать добавочное сопротивление  $R_D$  по формуле (12), установить это значение на магазине сопротивлений и подключить магазин последовательно к вольтметру.

4 Собрать электрическую схему, показанную на рис 6.

5 Провести градуировку исследуемого вольтметра: меняя напряжение с помощью потенциометра  $\Pi_1$ , отмечать показания эталонного вольтметра в вольтах и градуируемого вольтметра в делениях шкалы. Результаты измерений записать в таблицу 3.

6 Построить градуировочный график  $\alpha = f(U)$ . Определить среднюю цену деления вольтметра  $\overline{A_U}$  и погрешность цены деления  $\Delta \overline{A_U}$  по формуле для расчета погрешности прямых измерений.

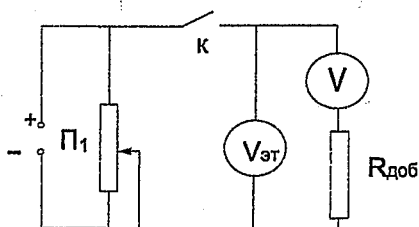


Рис. 6

Таблица 3

| № изм | $U_{Э}$ ,<br>вольт | $\alpha$ ,<br>делений | Цена<br>деления $A_U$ ,<br>вольт/дел | $\Delta A_U$ | $\Delta A_U^2$ |
|-------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------|----------------|
| 1     |                    |                       |                                      |              |                |
| 2     |                    |                       |                                      |              |                |
| .     |                    |                       |                                      |              |                |
| .     |                    |                       |                                      |              |                |

Среднее:

$\Sigma =$

1 Задание 2 Определение внутреннего сопротивления эталонного вольтметра

Подключим к источнику напряжения соединенные последовательно эталонный и исследуемый вольтметры. Через оба вольтметра идет одинаковый ток, поэтому по закону Ома

$$\frac{U}{R_V} = \frac{U_{\text{э}}}{r_{\text{э}}}, \quad (13)$$

где  $R_V$  - сопротивление исследуемого вольтметра,

$U$  - напряжение на исследуемом вольтметре,

$r_{\text{э}}$  - внутреннее сопротивление эталонного вольтметра,

$U_{\text{э}}$  - напряжение на эталонном вольтметре.

Из (13) следует, что

$$r_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{U} R_V \quad (14)$$

Сопротивление исследуемого вольтметра равно

$$R_V = r + R_{\text{д}},$$

следовательно, сопротивление эталонного вольтметра

✓ 3. 
$$r_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{U} (r + R_{\text{д}}) \quad (15)$$

Порядок выполнения работы

1 Соединить последовательно эталонный и исследуемый вольтметр с добавочным сопротивлением, подключить их к источнику напряжения.

2 С помощью потенциометра  $\Pi_1$  устанавливать последовательно несколько (например 5) значений напряжения. Показания эталонного вольтметра в вольтах и показания исследуемого вольтметра в делениях шкалы записать в таблицу 4.

3 Определить показания исследуемого вольтметра в вольтах с помощью градуировочного графика или цены деления по формуле  $U = \bar{A}_V \alpha$ .

4 Вычислить  $r_{\Sigma}$  по формуле (15), определить среднее значение и погрешность как результат прямых измерений.

Таблица 4

| № изм. | $U_{\Sigma}, В$ | $\alpha, \text{ дел.}$ | $U, В$ | $r_{\Sigma}, \text{ Ом}$ | $\Delta r_{\Sigma}, \text{ Ом}$ | $\Delta r_{\Sigma}^2$ |
|--------|-----------------|------------------------|--------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1      |                 |                        |        |                          |                                 |                       |
| 2      |                 |                        |        |                          |                                 |                       |
| .      |                 |                        |        |                          |                                 |                       |
| .      |                 |                        |        |                          |                                 |                       |

Среднее:

$\Sigma=$

#### Контрольные вопросы

1. Какой закон физики положен в основу работы прибора МЭС?
2. При каком классе точности прибора 0,1 или 2,0 выше точность измерений?
3. Что значит градуировка прибора?
4. Как увеличить предел измерения амперметра?
5. Как увеличить предел измерения вольтметра?

# РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Методические указания

Составитель доцент Р. А. Романова

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Н. БОДУНОВ,  
канд. физ.-мат. наук, доц. А. М. ПЕТУХОВ

План 2004 г., № 151

Отпечатано в авторской редакции.

Подписано в печать с оригинал-макета 03.12.04.  
Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 0,8. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 300.

Заказ *н/о*. Цена 16 р.

Петербургский государственный университет путей сообщения  
190031, СПб., Московский пр., 9.  
Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.