

## Лабораторная работа № 3

### ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия и области применения магнитоэлектрических измерительных механизмов. Научиться с помощью дополнительных электрических схем конструировать на базе магнитоэлектрического механизма амперметры и вольтметры.

#### 2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

В данной лабораторной работе рассматриваются методы измерения напряжений и токов с помощью приборов, основу которых составляют магнитоэлектрические измерительные механизмы. Исследуются способы расширения пределов измерения по току и напряжению.

**2.1. Общие сведения.** Токи и напряжения являются наиболее распространенными электрическими величинами, которые приходится измерять. Наиболее распространенными средствами измерений постоянных токов и напряжений являются амперметры, вольтметры, а также универсальные и комбинированные приборы различных конструкций.

Определение значений напряжений осуществляют, как правило, прямыми измерениями. Для измерения токов кроме прямых измерений, широко используют косвенные измерения, при которых измеряется падение напряжения  $U$  на резисторе с известным сопротивлением  $R$ , включенным в цепь измеряемого тока  $I_x$ . Значение тока находят по закону Ома:  $I_x = U / R$ . В этом случае погрешность результата измерений  $\Delta I_x$  определяется погрешностью измерения напряжения  $\Delta U$  и погрешностью изготовления сопротивления  $\Delta R$ .

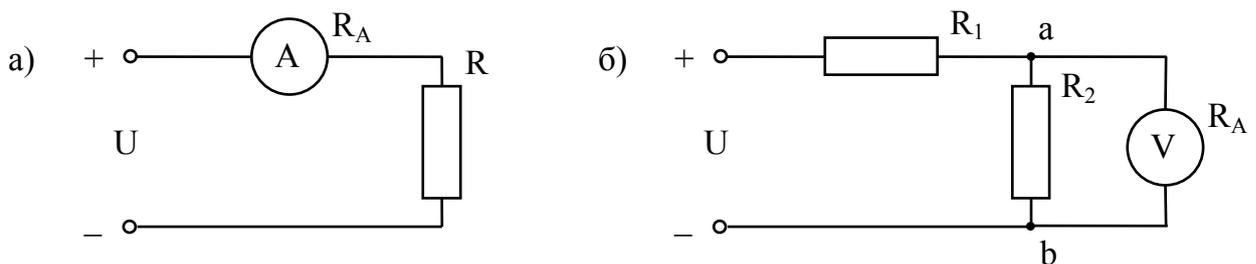


Рис. 1. Схемы измерения тока амперметром (а) и напряжения вольтметром (б).

Наличие внутреннего сопротивления у средств измерений вызывает *методическую погрешность* при измерении токов и напряжений. Включение в исследуемую цепь средства измерений искажает режим этой цепи. Так, например, включение амперметра, имеющего сопротивление  $R_A$ , в цепь, изображенную на рис.1, а, приведет к тому, что вместо тока  $I = U / R$ , который протекал в этой цепи до включения амперметра, после включения амперметра пойдет ток  $I_1 = U / (R + R_A)$ . Погрешность  $\Delta I = I_1 - I$  тем больше, чем больше сопротивление амперметра.

Аналогичная погрешность возникает при измерении напряжений. Например, в цепи, представленной на рис. 1, б, при включении вольтметра, имеющего сопротивление  $R_V$ , режим цепи тоже нарушается, так как вместо напряжения  $U_{ab} = U R_2 / (R_1 + R_2)$ , которое было в схеме между точками а и б до включения вольтметра, после его включения напряжение

$$U_{ab1} = \frac{U R_2 R_V / (R_2 + R_V)}{R_1 + R_2 R_V / (R_2 + R_V)}.$$

Погрешность  $\Delta U = U_{ab1} - U_{ab}$  тем больше, чем меньше сопротивление вольтметра.

Из средств измерений, используемых для измерения напряжений, наименьшую методическую погрешность обеспечивают компенсаторы, электронные и цифровые приборы. Среди электромеханических приборов наименьшую погрешность из измерительной цепи потребляют магнитоэлектрические приборы.

**2.2. Магнитоэлектрическими приборами** измеряют токи и напряжения (амперметры и вольтметры), сопротивления (омметры). Магнитоэлектрические приборы применяют в качестве нульиндикаторов, приборов с высокой чувствительностью к току или напряжению, для оценки наличия или отсутствия тока или напряжения на определённом участке электрической цепи. Кроме того, их используют в самопишущих приборах для регистрации электрических величин.

Магнитоэлектрические приборы в основе своей состоят из магнитоэлектрического измерительного механизма, измерительной цепи и отсчетного устройства.

Измерительный механизм преобразует электрическую величину в угол поворота подвижной части.

Измерительная цепь служит для преобразования измеряемой электрической величины в другую электрическую величину, непосредственно воздействующую на измерительный механизм.

Отсчетное устройство состоит из шкалы и указателя. Шкала прибора представляет собой пластину, на которой нанесены отметки, соответствующие определенным значениям измеряемой величины. Указатель представляет собой перемещающуюся вдоль шкалы стрелку, жестко скрепленную с подвижной частью измерительного механизма.

Для установки указателя на нулевую отметку в магнитоэлектрических приборах применяют устройство, называемое корректором. Корректор содержит винт, укрепленный на корпусе прибора, поворачивая который можно перемещать подвижную часть прибора

Амперметры, вольтметры или омметры принципиально отличаются друг от друга только измерительной цепью. Измерительный механизм при этом может быть одним и тем же. Всё это является важной предпосылкой для создания универсальных приборов.

Работа магнитоэлектрических механизмов основана на взаимодействии магнитного потока постоянного магнита и тока, проходящего по катушке (рамке). Возникающий при этом вращающий момент отклоняет подвижную часть механизма относительно неподвижной.

На рис. 2 показано устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с подвижной катушкой, где 1 - постоянный магнит, 2 - магнитопровод, 3 -

полюсные наконечники, 4 - неподвижный сердечник, 5 - спиральная пружинка, 6 - подвижная катушка, 7 - магнитный шунт, 8 - указатель. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружинки.

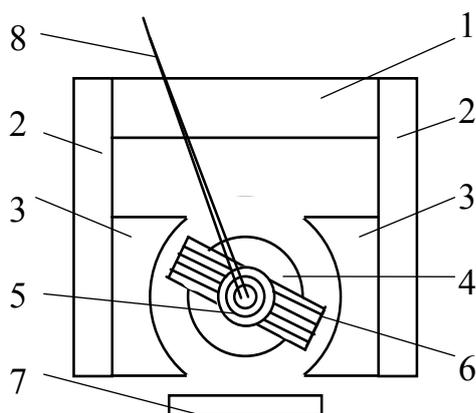


Рис. 2. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма

Угол отклонения  $\alpha$  подвижной части измерительного механизма определяется его конструктивными и электромагнитными параметрами и током  $I$ , протекающим по рамке

$$\alpha = \frac{BSw}{W} I, \quad (1)$$

где  $\alpha$ - угол отклонения подвижной части,  $B$ - индукция радиального магнитного поля в зазоре между полюсными наконечниками и сердечником,

$w$ - число витков катушки (рамки),

$W$ - удельный противодействующий момент упругого элемента (спиральной пружинки) измерительного механизма,

$S$ - площадь рамки.

Из выражения (1) следует, что при постоянной индукции  $B$  в зазоре угол отклонения подвижной катушки пропорционален току в катушке, а знак угла отклонения меняется при изменении направления тока.

Магнитный шунт 7 в виде пластины из ферромагнитного материала (см. рис. 2) используют для регулировки индукции в воздушном зазоре механизма путем перемещения шунта. При этом происходит перераспределение магнитных потоков через воздушный зазор и шунт. Это необходимо для изменения чувствительности измерительного механизма при его калибровке.

Рамка наматывается, как правило, тонким медным проводом с большим числом витков и имеет собственное сопротивление от нескольких десятков Ом до нескольких десятков кОм. Чтобы создать номинальный ток  $I_n$  (ток максимального отклонения), необходимо к рамке приложить напряжение

$$U_n = I_n R_{ум}, \quad \text{где}$$

$R_{ум}$  - сопротивление рамки измерительного механизма.

Таким образом, собственно измерительный механизм может использоваться как для измерения токов, так и напряжений. Например, микроамперметр с пределами измерения по току 0-100 мкА и внутренним сопротивлением 1 кОм может использоваться и как вольтметр с пределами измерений 0-100 мВ.

В магнитоэлектрических амперметрах рамка измерительного механизма включается либо в цепь измеряемого тока непосредственно, либо с помощью шунта. Непосредственное включение механизма в токовую цепь допустимо при измерении относительно небольших токов (не более 20 мА) ввиду малой перегрузочной способности токопроводов и рамки измерительного механизма.

При измерениях больших токов применяют шунты (резисторы, включаемые параллельно рамке измерительного механизма), которые позволяют снизить ток через рамку измерительного механизма, по сравнению с измеряемым током, в требуемое

число раз. Схема включения измерительного механизма в сочетании с шунтом показана на рис. 3.

Шунты изготавливают из материала с высоким удельным сопротивлением - *манганина*, что позволяет существенно уменьшить их габаритные размеры. В амперметрах на небольшие токи (до 30 А) шунты размещены непосредственно в корпусе прибора (встроенные шунты). Для измерения больших токов (до 10000 А) применяют наружные шунты.

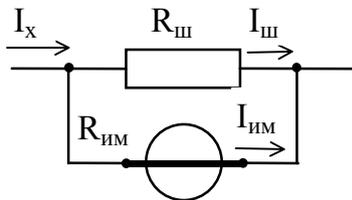


Рис. 3

При расширении предела измерения сопротивление шунта выбирают из соотношения

$$R_{ш} = \frac{R_{им}}{n - 1}, \text{ где}$$

$n = I_x / I_{им}$  - коэффициент шунтирования,

$I_x$  и  $I_{им}$  - соответственно измеряемый ток и ток через рамку измерительного механизма.

В магнитоэлектрических вольтметрах, для расширения их пределов измерения по напряжению, измерительный механизм включается в цепь вместе с добавочным резистором. Подбором соотношения их сопротивлений можно расширить предел измерения в требуемое количество раз.

Схема включения измерительного механизма с добавочным резистором показана на рис. 4.

Добавочные резисторы  $R_D$ , как и шунты изготавливаются из манганина.

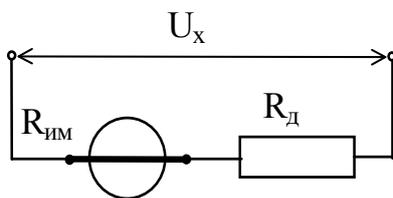


Рис. 4

Сопротивление добавочного резистора рассчитывается по формуле:

$$R_D = R_{им}(m - 1), \text{ где}$$

$R_D$  - сопротивление добавочного резистора,

$m = U_x / U_{им}$  - коэффициент расширения предела измерения по напряжению,

$U_x$  - измеряемое напряжение,

$U_{им}$  - падение напряжения на сопротивлении

рамки измерительного механизма.

Магнитоэлектрические приборы относятся к числу наиболее чувствительных и точных. Равномерная шкала и малое потребление энергии являются достоинствами этих приборов.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Пояснить принцип действия магнитоэлектрического измерительного механизма.

3.2. В каких приборах используются магнитоэлектрические измерительные механизмы, их достоинства и недостатки?

3.3. Чем вызвана методическая погрешность при измерении токов и напряжений магнитоэлектрическими приборами?

3.4. Каким образом микроамперметр преобразовать в амперметр ?

3.5. Записать выражение и дать пояснение к нему для расчета шунта.

3.6. Каким образом микроамперметр преобразовать в вольтметр ?

- 3.7. Как преобразовать милливольтметр в амперметр ?
- 3.8. Записать выражение для расчета сопротивления добавочного резистора.
- 3.9. Из каких материалов изготавливают шунты и добавочные резисторы и почему ?

#### 4. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 4.1 Универсальный стабилизатор тока и напряжения Б5-44 (Б5-45).
- 4.2. Магнитоэлектрический микроамперметр М2001.
- 4.3. Ампервольтметр М2017.
- 4.4. Вольтметр универсальный цифровой В7-35.
- 4.5. Лабораторный макет.

#### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ

5.1. Изучить принцип действия магнитоэлектрического механизма, способы расширения пределов измерения по току и напряжению.

5.2. Изучить устройство лабораторного макета, назначение и параметры находящихся в нем компонентов.

5.3. Определить основные параметры предложенного магнитоэлектрического микроамперметра.

5.4. Рассчитать и собрать схему миллиамперметра с верхним пределом измерения 2.0 мА или на другой предел измерения, предложенный преподавателем.

5.5. Измерить пять различных значений тока на новом пределе измерения. Оценить погрешности измерения.

5.6. Оценить влияние внутреннего сопротивления микроамперметра на результат измерения (методическая погрешность).

5.7. Рассчитать и собрать схему вольтметра с пределами измерения 1.0 В или на другой предел измерения, предложенный преподавателем.

5.8. Измерить пять значений напряжений на новом пределе измерения. Оценить погрешность измерения.

5.9. Оценить влияние внутреннего сопротивления вольтметра на результат измерения.

#### 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Для определения параметров магнитоэлектрического измерительного механизма необходимо собрать схему, показанную на рис. 5.

Питание схемы осуществляется от источника Б5-44. В качестве образцового резистора  $R_N$  использован резистор С2-13 - 0,5 - 10 кОм  $\pm$  0,1%. Исследуемый микроамперметр М2001 и резистор  $R_N$  расположены на макете.

Значение  $R_{им}$  определяется для двух значений тока через измерительный механизм:  $0.5I_n$  и  $I_n$ , где  $I_n$  - значение тока, соответствующее максимальному (номинальному) показанию исследуемого микроамперметра. Ток устанавливается изменением напряжения источника Б5-44.

Перед включением источника Б5-44 переключатель "НАПРЯЖЕНИЕ" установите в положение 0,1 В, а переключатель "ТОК" - в положение 5 мА. Затем

включите источник Б5-44 и, увеличивая напряжение, установите необходимый ток по показанию стрелки исследуемого микроамперметра.

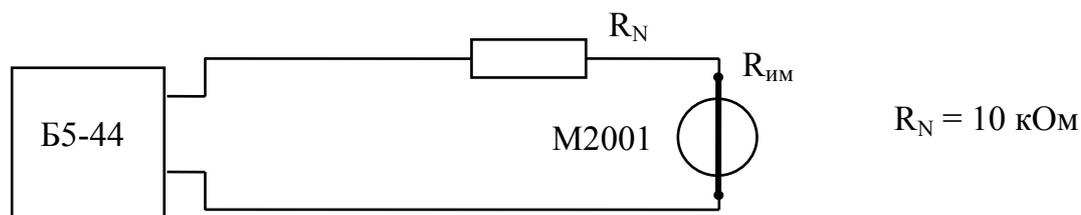


Рис. 5. Схема эксперимента для определения параметров магнитоэлектрического измерительного механизма

Если при включении источник Б5-44 переходит в режим стабилизации тока, то схема собрана не правильно.

Ток через измерительный механизм определяется косвенно, путем измерения падения напряжения на образцовом резисторе  $R_N$  с помощью вольтметра В7-35. При этом  $I = U_N / R_N$ . Внутреннее сопротивление микроамперметра (сопротивление рамки измерительного механизма) определяется как

$$R_{им} = U_{им} / I = U_{им} R_N / U_N, \text{ где}$$

$U_{им}$  - падение напряжения на сопротивлении рамки исследуемого микроамперметра.

$U_N$  - падение напряжения на образцовом резисторе.

Полученные результаты внести в таблицу 1.

По результатам двух измерений определить усредненное значение внутреннего сопротивления рамки измерительного механизма.

Таблица 1.

	$R_N$	$U_N$	$I$	$U_{им}$	$R_{им}$
$0.5 I_H$					
$I_H$					

6.2. Рассчитать сопротивление шунта, необходимое для расширения предела измерения микроамперметра в 10 раз. В качестве шунта использовать имеющийся в комплекте лабораторной работы магазин сопротивлений Р33. Определить новую цену деления преобразованного прибора. Для эксперимента собрать электрическую схему, изображенную на рис. 6. с учетом полярности образцового и исследуемого приборов.

В качестве образцового миллиамперметра необходимо использовать прибор более высокого класса точности, например М2017. Регулировка тока осуществляется изменением напряжения источника Б5-44.

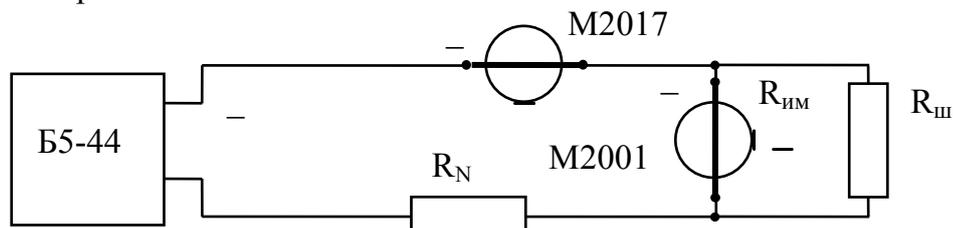


Рис. 6. Схема эксперимента для измерения тока.

Устанавливая значения тока через исследуемый прибор, соответствующие оцифрованным делениям его шкалы и измеряя действительные значения этого тока с помощью образцового микроамперметра, определить приведенные погрешности, в соответствии с которыми установить его класс точности.

Приведенная погрешность определяется из следующего выражения.

$$\gamma = \frac{I_{II} - I_o}{I_H} 100\%, \text{ где}$$

$I_o$  - действительное значение тока (показание образцового прибора);  $I_{II}$  - показания испытуемого прибора;  $I_H$  - номинальное значение тока испытуемого прибора.

Согласно ГОСТ 8.401-80 “Классы точности средств измерений. Общие требования” по точности приборы делятся на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0. Класс точности прибора означает, что основная приведенная погрешность прибора (положительная или отрицательная) в рабочем диапазоне шкалы, выраженная в процентах, не превышает значения, соответствующего класса прибора.

Результаты измерений и расчетов свести в табл. 2.

Таблица 2

	$I_n, \text{ mA}$	$I_o, \text{ mA}$	$I_n - I_o$	$\gamma$
1 (0,2 $I_n$ )				
2 (0,4 $I_n$ )				
3 (0,6 $I_n$ )				
4 (0,8 $I_n$ )				
5 (1,0 $I_n$ )				

При оценке методической погрешности измерения тока микроамперметром необходимо измерить токи через нагрузку с включенным в схему микроамперметром М2001 и без него. Относительная методическая погрешность измерения тока определяется как

$$\delta_M = \frac{I_{o2} - I_{o1}}{I_{o1}} 100\%, \text{ где}$$

$I_{o1}$  - значение тока через нагрузку с включенным прибором М2001,

$I_{o2}$  - значение тока через нагрузку с отключенным прибором М2001.

В последнем случае клеммы исследуемого прибора должны быть закорочены проводником.

6.3. Рассчитать для заданного (преподавателем) предела измерения сопротивление добавочного резистора, используя данные, полученные в пункте 6.1.

Собрать схему, показанную на рис. 7. Делитель напряжения R1, R2 подключить непосредственно к выходным клеммам прибора Б5-44.

В этой схеме измерительный механизм (М2001), с подключенным последовательно добавочным резистором  $R_d$ , представлен в качестве исследуемого вольтметра. Параллельно ему подключен, в качестве образцового, цифровой вольтметр В7-35. В качестве добавочного резистора может быть использован магазин сопротивлений Р33.

Устанавливая значения напряжений на исследуемом приборе, соответствующие оцифрованным делениям его шкалы и измеряя действительные значения этих напряжений с помощью образцового вольтметра, определить приведенные погрешности, в соответствии с которыми установить его класс точности.

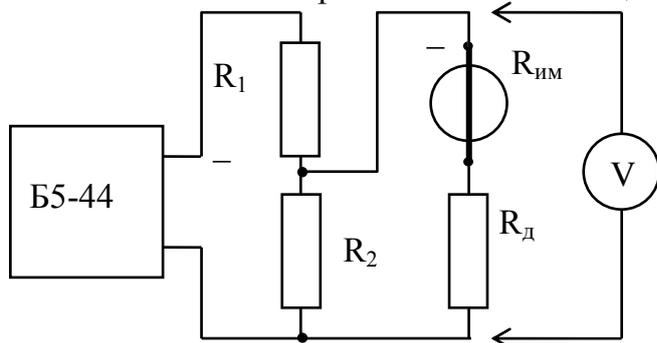


Рис. 7. Схема эксперимента для измерения напряжения.

Приведенная погрешность определяется из следующего выражения.

$$\gamma = \frac{U_n - U_o}{U_H} 100\%,$$

где  $U_n$  - показания испытуемого прибора (вольтметра);  $U_o$  - показания образцового вольтметра;  $U_H$  -

номинальное значение напряжения для испытуемого прибора.

Результаты измерений и вычислений свести в табл. 3.

Таблица 3

	$U_n$	$U_o$	$U_n - U_o$	$\gamma$
1 ( $0,2U_H$ )				
2 ( $0,4U_H$ )				
3 ( $0,6U_H$ )				
4 ( $0,8U_H$ )				
5 ( $1,0U_H$ )				

Определить методическую погрешность при измерении падения напряжения на резисторе  $R_2$  и на выходе источника Б5-44. При этом значения измеряемых напряжений должны быть близки к номинальным.

Методическая погрешность определяется через разность показаний образцового вольтметра соответственно при подключенном и отключенном испытуемом вольтметре как

$$\delta_m = \frac{U_{o2} - U_{o1}}{U_{o1}} 100\% , \text{ где}$$

$U_{o1}$  - показания образцового вольтметра при подключенном испытуемом вольтметре,  $U_{o2}$  - показания образцового вольтметра при отключенном испытуемом вольтметре.

Сравнить методическую погрешность при измерении падения напряжения на резисторе  $R_2$  и на выходе источника Б5-44. Объяснить полученные результаты.

6.4. Составить отчет о проделанной работе, который должен содержать: название и цель работы; программу работы; электрические схемы экспериментов; расчеты погрешностей; результаты экспериментов в виде таблиц; выводы.