

**Специализированный учебно-научный центр -
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова
Кафедра физики**

Общий физический практикум

Лабораторная работа №3.1

**Изучение приборов
магнитоэлектрической системы**

Составитель Т.П. Корнеева

2011 г.

Изучение приборов магнитоэлектрической системы

Цель работы:

1. Изучение устройства приборов магнитоэлектрической системы.
2. Увеличение пределов измерения амперметра и вольтметра.


Приборы и оборудование

Источник постоянного напряжения, потенциометр, магазин сопротивлений, прибор магнитоэлектрической системы с малым пределом измерения, контрольный амперметр, контрольный вольтметр.

Введение.

По принципу действия электроизмерительные приборы подразделяются на следующие системы: *магнитоэлектрические, электромагнитные, тепловые, электродинамические, электростатические* и другие.

Условные обозначения систем приборов

Система прибора	Условное обозначение
Магнитоэлектрическая	
Электромагнитная	
Электродинамическая	
Электростатическая	

Измеряемая величина		Измеряемый ток	
Сила тока	A	Постоянный	—
Напряжение	V	Переменный	~
Электрическое сопротивление	Ω	Постоянный и переменный	⊓
Мощность	W		

Чувствительность и цена деления электроизмерительного прибора.

Чувствительностью s электроизмерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения стрелки Δn к изменению измеряемой величины Δx , вызвавшему это перемещение: $s = \Delta n / \Delta x$

Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора: $c = 1/s$

Цена деления определяет значение измеряемой величины, вызывающей отклонение на одно деление. В общем случае цена деления представляет собой разность значений измеряемой величины для двух соседних меток.

Погрешности приборов. Класс точности.

В большинстве случаев для характеристики точности электроизмерительных приборов пользуются *приведенной погрешностью* - так называется отношение абсолютной погрешности к максимальному значению измеряемой величины по шкале прибора

$$\varepsilon_{пр} = \Delta x / x_{max}$$

Точность электроизмерительных приборов является важнейшей их характеристикой и лежит в основе деления приборов на классы. Показатель класса определяется приведенной погрешностью измерения, выраженной в

процентах. Абсолютная погрешность определяется следующим образом:

$$\Delta x = \varepsilon_{\text{пр}} X_{\text{max}}$$

Например, миллиамперметр класса 1,5 со шкалой 300 мА дает в любом месте шкалы абсолютную погрешность

$$\Delta I = \pm 300 \cdot 0,015 = \pm 4,5 \text{ (мА)}$$

Поскольку относительная погрешность измерений сильно возрастает при малых значениях измеряемой величины, рекомендуется выбирать приборы для измерений так, чтобы диапазон измеряемой величины попадал во вторую половину шкалы.

Всего различают семь классов точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 применяются для точных лабораторных измерений. В технике используют менее точные приборы. Приборы с погрешностью более 4% считаются внеклассными.

Шкала электроизмерительного прибора.

Шкала электроизмерительного прибора содержит исчерпывающую информацию о назначении прибора, его характеристиках и способе применения. Помимо делений для отсчета измеряемой величины, на шкалу наносятся условные обозначения различных характеристик прибора.

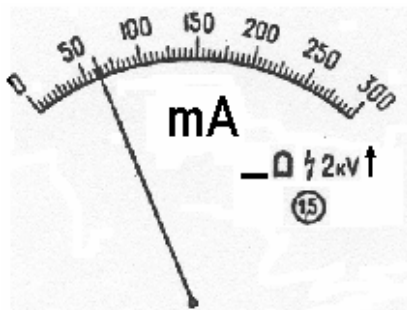


Рис.1

На рис.1 приведен вид шкалы прибора для измерения силы тока в пределах 0 – 300 мА.

Шкала имеет 60 равномерных делений, цена деления равна 5 мА/дел, чувствительность - 0,2 дел/мА. Число делений на шкале прибора обычно выбирают так, чтобы абсолютная погрешность измерения была примерно равна половине деления шкалы.

Условные значки имеют следующий смысл: прибор предназначен для измерений постоянного тока; прибор принадлежит к магнитоэлектрической системе; изоляция прибора между электрической цепью и корпусом может выдержать напряжение не более 2 кВ; рабочее положение прибора вертикальное; класс точности прибора 1,5.

Устройство приборов магнитоэлектрической системы.

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока.

Работа приборов магнитоэлектрической системы основана на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с измеряемым током.

Схема устройства такого прибора показана на рис.2.

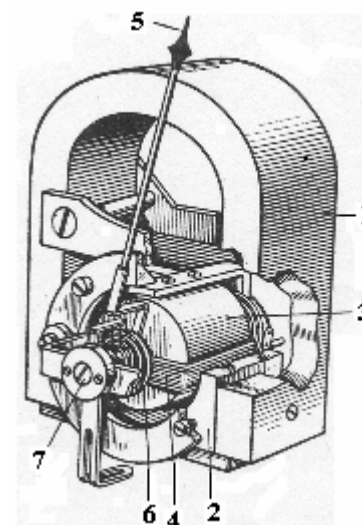


Рис.2

Магнитное поле создается сильным постоянным магнитом (1) подковообразной формы, к ножкам которого прикреплены полюсные наконечники (2), обращенные друг к другу вогнутыми цилиндрическими поверхностями. Между ними неподвижно укреплен железный сердечник из мягкого ферромагнетика (3) в виде цилиндра. В небольшом зазоре между цилиндром и наконечниками может свободно поворачиваться на оси (7) катушка (4). Катушка состоит из алюминиевого каркаса прямоугольной формы с намотанной на нем тонкой проволокой. На той же оси укреплена стрелка (5), конец которой перемещается по шкале.

Существенной особенностью магнитного поля этой системы является то, что вектор магнитной индукции \mathbf{B} всюду в кольцевом зазоре между магнитом и сердечником перпендикулярен поверхности сердечника и одинаков по величине. (Рис.3)

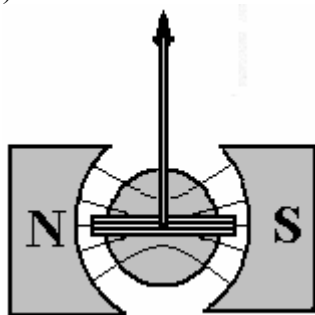


Рис.3

Примерный вид линий магнитного поля в зазоре между полюсными наконечниками магнита и сердечником.

Благодаря этому, момент сил, действующих на рамку со стороны магнитного поля при пропускании через нее измеряемого тока, не зависит от положения рамки в зазоре и равен

$$M_1 = I \cdot S \cdot N \cdot B,$$

где I - сила тока в рамке, S - площадь витка, N - число витков, B - магнитная индукция.

При повороте рамки под действием магнитного поля на нее действует в обратную сторону момент сил упругости M_2 со стороны двух спиральных пружин (6). Момент упругих сил прямо пропорционален углу поворота рамки α :

$$M_2 = \gamma \alpha$$

При некотором значении угла α моменты M_1 и M_2 сравниваются. Это и будет положение равновесия рамки с током. При этом между значением угла α и силой тока I существует соотношение

$$\alpha = I S N B / \gamma,$$

из которого следует, что угол отклонения рамки α прямо пропорционален силе тока I , а следовательно, шкала измерительного прибора магнитоэлектрической системы является линейной.

Чтобы устранить влияние силы тяжести на стрелку при повороте, к стрелке прикрепляют противовесы, так что общий центр тяжести находится на оси, вокруг которой поворачивается стрелка. Кроме того, в конструкциях приборов данной системы предусмотрено устройство, обеспечивающее плавный подход рамки к положению равновесия.

При протекании через прибор тока I напряжение на клеммах прибора будет, очевидно, равно

$$U = I r,$$

где r - внутреннее сопротивление прибора, так что прибор может использоваться в качестве вольтметра при соответствующей градуировке шкалы.

Достоинствами магнитоэлектрических приборов являются: высокая чувствительность и точность показаний; равномерность шкалы; нечувствительность к внешним магнитным полям; малое потребление энергии. К недостаткам данной системы относятся возможность измерений только в цепях постоянного тока и чувствительность к перегрузкам (прибор легко перегорает).

Увеличение пределов измерения приборов магнитоэлектрической системы

Из-за высокой чувствительности пределы измерения приборов данной системы, как правило, невелики. Для того чтобы их можно было использовать для измерения токов и напряжений, превышающих предельные значения данного прибора, применяют простой прием, при котором прибор фиксирует только часть измеряемой величины.

Если к амперметру, имеющему сопротивление r , подключить параллельно резистор (он называется шунт) с сопротивлением $R_{ш}$, и включить прибор в цепь с током I_0 , то через амперметр пойдет ток I_A , составляющий только часть от общего тока:

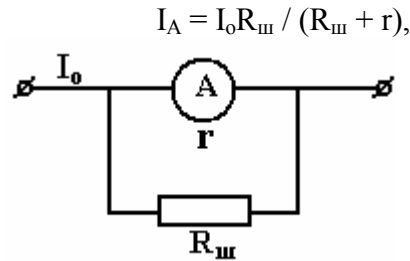


Рис. 4

Тогда амперметр может быть использован и в тех случаях, когда измеряемые токи превышают предельное значение для данного прибора.

Если мы хотим увеличить предел измерения амперметра до значения I_2 , следует подобрать величину шунтирующего сопротивления так, чтобы часть тока, идущего через амперметр, не превышала его предельного значения I_1 :

$$R_{ш} = r / (n - 1), \text{ где } n = I_2 / I_1.$$

При этом наряду с изменившимся пределом измерения, прибор будет иметь измененные цену деления и чувствительность.

Пусть теперь необходимо измерить напряжение в цепи между точками А и В, причем заранее известно, что величина U_{AB} больше предельного значения напряжения, измеряемого вольтметром. Если включить последовательно с вольтметром, имеющим сопротивление r , добавочное сопротивление $R_{доб}$, то падение напряжения на приборе U_V будет составлять только часть от общего напряжения:

$$U_V = U_{AB} r / (r + R_{доб}).$$

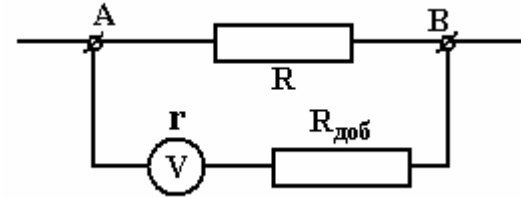


Рис.5

Тогда вольтметр может быть использован и в тех случаях, когда измеряемые напряжения превышают предельное значение для данного прибора.

Для увеличения предела измерения вольтметра до значения U_2 необходимо подобрать добавочное сопротивление так, чтобы на вольтметр приходилась только часть напряжения U_2 , равная U_1 :

$$R_{доб} = (m - 1) r_v, \text{ где } m = U_2 / U_1.$$

После этого необходимо заново пересчитать цену деления.

Измерение токов и напряжений с помощью амперметра и вольтметра.

Включение измерительного прибора в электрическую цепь вносит искажения в распределение токов и напряжений, которое было в этой цепи до включения прибора.

Измерение токов. Пусть в некоторой электрической цепи есть участок АВ, имеющий сопротивление R_{AB} . Чтобы узнать протекающий по нему ток, необходимо включить амперметр в разъем цепи последовательно с элементами этого участка.

Если сопротивление амперметра равно r , то после его включения в цепь сопротивление участка АВ станет равным $R = R_{AB} + r$. Чтобы включение амперметра не сильно изменило картину распределения токов, необходимо, чтобы сопротивление участка АВ не изменилось слишком сильно, т.е. должно выполняться соотношение $R \approx R_{AB} + r$. Это означает, что сопротивление амперметра должно быть мало по сравнению с сопротивлениями в исследуемой цепи. «Идеальный» амперметр должен обладать пренебрежимо малым сопротивлением.

Заметим, что использование шунта с малым сопротивлением как раз и приводит к уменьшению общего сопротивления амперметра.

Измерение напряжений При измерении напряжения на участке АВ вольтметр с сопротивлением r подключается параллельно участку, что приводит к изменению сопротивления участка:

$$1/R = 1/R_{AB} + 1/r$$

Чтобы не вносить заметных искажений, вольтметр должен обладать сопротивлением $r \gg R_{AB}$. «Идеальный» вольтметр должен обладать бесконечно большим сопротивлением – таким прибором является электростатический вольтметр.

Использование добавочного сопротивления увеличивает сопротивление вольтметра.

Совместное применение измерительных приборов.

В тех случаях, когда приборы, измеряющие токи и напряжения, сами являются частью электрической цепи, для их грамотного применения необходимо знать величину внутреннего сопротивления приборов.

Рассмотрим ситуацию, когда необходимо снять вольтамперную характеристику некоторого устройства, для чего используется схема, представленная на рис.6

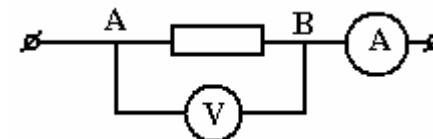


Рис.6

Снятие вольтамперной характеристики участка АВ с помощью амперметра и вольтметра.

Из рис.6 видно, что напряжение на участке АВ равно тому значению, которое показывает вольтметр. Показание же амперметра отличается от величины тока, текущего через исследуемое устройство, на величину

$$I_V = U/r, \text{ где } r \text{ – сопротивление вольтметра.}$$

При снятии показаний амперметра, следует делать поправку на величину I_V . Заметим, что величина поправки тем меньше, чем больше сопротивление вольтметра.

Таким образом, знание внутреннего сопротивления электроизмерительного прибора необходимо для его грамотного применения.

Экспериментальная часть

Внимание! Подключение собранной схемы к источнику тока производится только после проверки схемы преподавателем.

Задание 1. Ознакомьтесь с внутренним устройством прибора магнитоэлектрической системы на примере демонстрационного гальванометра.

Зарисуйте условные обозначения, нанесенные на шкале каждого из приборов, используемых в данной работе, и объясните их смысл.

Задание 2.

Увеличить предел измерения микроамперметра до величины тока I_2 . (Значение I_2 задается преподавателем).

Порядок выполнения:

1. Определите характеристики исследуемого прибора:

Предел измерения $I_1 =$
 Цена деления $s_1 =$
 Чувствительность $c_1 =$
 Сопротивление $r =$

Сопротивление прибора не указано на панели, и его необходимо измерить с использованием контрольного вольтметра, для чего соберите схему по рис.7, не замыкая контакт в точке К на клемме исследуемого прибора.

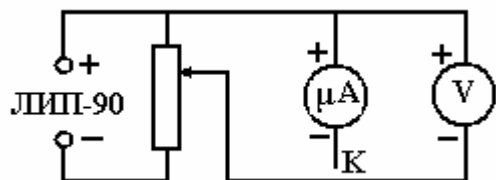


Рис. 7

Внимание! Перед началом измерения *напряжение, снимаемое с потенциометра, должно быть равно нулю*. Перемещайте движок только на очень малое расстояние. Для большей точности измерения установите силу тока, близкую к предельной.

2. По показаниям вольтметра и амперметра рассчитайте сопротивление амперметра. Измерения проведите не менее трех раз.

3. Рассчитайте n из отношения I_2 / I_1 и определите новые характеристики прибора.

4. Рассчитайте величину шунтирующего сопротивления $R_{ш}$ и установите ее на магазине сопротивлений.

5. Соберите схему по рис.8, не замыкая контакт в точке К на клемме исследуемого прибора.

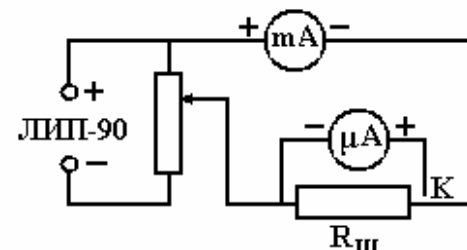


Рис.8

6. После проверки схемы преподавателем установите по контрольному прибору значение тока, меньшее I_2 , и, коснувшись проводом контакта в точке К, убедитесь, что стрелка прибора не отклоняется за пределы шкалы. Закрепите контакт К

7. Перемещая движок потенциометра, зафиксируйте значения силы тока на контрольном и исследуемом приборах не менее трех раз. Результаты запишите в виде таблицы:

	Показание контрольного прибора		Показание исследуемого прибора		Отношение показаний приборов
	мА		дел	мА	
1					
2					
3					

8. Полагая показания контрольного прибора абсолютно верными, оцените класс точности исследуемого прибора и найдите абсолютную погрешность его показаний.

Задание 3. Увеличить предел измерения милливольтметра до величины напряжения U_2 . (Значение U_2 задается преподавателем).

В качестве милливольтметра служит микроамперметр, используемый в предыдущем задании.

Порядок выполнения:

1. Зная внутреннее сопротивление прибора, определите его характеристики в качестве вольтметра:

Предел измерения $U_1 =$
 Цена деления $s_1 =$
 Чувствительность $c_1 =$

2. Рассчитайте m из отношения U_2 / U_1 и определите новые характеристики прибора.

3. Рассчитайте величину добавочного сопротивления $R_{доб}$ и установите ее на магазине сопротивлений.

4. Соберите схему по рис.9, не замыкая контакт в точке К на клемме исследуемого прибора.

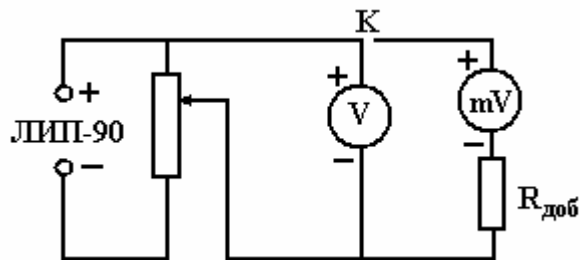


Рис. 9

5. После проверки схемы преподавателем установите по контрольному прибору значение напряжения, меньше U_2 , и, коснувшись проводом контакта в точке К, убедитесь, что стрелка прибора не отклоняется за пределы шкалы. Закрепите контакт К.

6. Перемещая движок потенциометра, зафиксируйте значения напряжения на контрольном и исследуемом приборах не менее трех раз. Результаты запишите в виде таблицы

	Показание контрольного прибора	Показание исследуемого прибора		Отношение показаний приборов
	мВ	дел	мВ	
1				
2				
3				

7. Полагая показания контрольного прибора абсолютно верными, оцените класс точности исследуемого прибора и найдите абсолютную ошибку его показаний.

Сделайте выводы о проделанной работе.

Вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе, в какой последовательности, и какие приборы будут Вами использованы для выполнения каждого из этих заданий?
3. Какие физические величины Вы будете измерять в данной работе непосредственно?
4. В какой форме Вы будете представлять результаты Вашей работы?

Вопросы к защите результатов лабораторной работы.

1. Какие физические законы лежат в основе принципа действия приборов магнитоэлектрической (МЭ) системы?
2. Каковы основные конструктивные особенности приборов МЭ системы?
3. Перечислите основные достоинства и недостатки приборов МЭ системы.
4. Нарисуйте примерный вид линий магнитного поля в зазоре между магнитом и сердечником.
5. Выведите выражение для момента сил, действующих на рамку с постоянным током, в однородном магнитном поле и в поле, существующем в приборах МЭ системы.
6. Как меняются цена деления и чувствительность прибора при увеличении предела измерения?
7. Опишите кратко принцип действия приборов электромагнитной и электродинамической систем.

Рекомендуемая литература:

1. **Мякишев Г.Я.** ФИЗИКА: Электродинамика. 10-11 кл. Дрофа, 2002 г.
2. **ФИЗИКА - 10** под ред. А.А.Пинского. Москва, 1995 г.
3. **Соболев А.Д.** Введение в технику физического эксперимента. Изд-во МГУ, 1993 г.