

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”

ФИЗИКА.
ВВЕДЕНИЕ В ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

для студентов всех специальностей по дисциплине «Физика»

Днепр
НГУ
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”



ФАКУЛЬТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА
Кафедра физики

Л.И. Барташевская, А.С. Зайцев

ФИЗИКА.
ВВЕДЕНИЕ В ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

для студентов всех специальностей по дисциплине «Физика»

Днепр
НГУ
2016

Физика. Введение в практикум по разделу «Электричество и магнетизм».
Методические указания для студентов всех специальностей./ Л.И. Барташевская, А.С.
Зайцев. – Д.: Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», 2016. – 8 с.

Авторы:

Л.И.Барташевская, А.С. Зайцев., кандидаты физ.-мат. наук.

Утверждено методической комиссией для специальности 184. «Горное дело»
(протокол № от) по представлению кафедры физики (протокол № от).

Методические указания предназначены для самостоятельной подготовки студентов
всех инженерных специальностей по разделу «Электричество и магнетизм».

Рассмотрены системы электроизмерительных приборов, правила их подключения в
схемы и расширение диапазона измеряемых величин.

Рекомендации ориентированы на активацию учебной деятельности студентов.

Ответственный за выпуск заведующий кафедрой физики канд. физ.-мат. наук,
проф. И.П. Гаркуша.

Целью данных методических указаний является ознакомление студентов, изучающих раздел «Электродинамика» и выполняющих лабораторные работы в соответствующих лабораториях с используемыми в лабораторных работах приборами, принципами их работы, правилами их подключения и способами расширения диапазона соответствующих измеряемых величин.

Понятие о принципах работы электроизмерительных приборов.

В практикуме по электричеству необходимо измерять электрические величины – ток, напряжение, электрический заряд, сопротивление резисторов и т.д. Для определения численных значений этих величин используют электроизмерительные приборы. С помощью этих приборов можно измерять и неэлектрические величины – интенсивность света, давление, температуру и т.д.

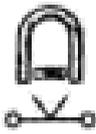
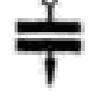
Поэтому в любом электроизмерительном приборе выделяют две основные части: 1) измерительную электрическую цепь, которая преобразует измеряемую величину в электрический ток или напряжение; 2) измерительный механизм, преобразующий подводенную к нему электрическую энергию в механическую (тепловую, магнитную...) и вызывающий перемещение подвижной части механизма относительно его неподвижной части.

По назначению основные электроизмерительные приборы делятся на:

1. Приборы, используемые для измерения очень малых токов, напряжений и как указатели отсутствия тока при измерениях в мостовых схемах – гальванометры.
2. Приборы для измерения силы тока – миллиамперметры и амперметры.
3. Приборы для измерения напряжения – вольтметры.
4. Приборы для измерения электрических сопротивлений резисторов – омметры и т.д.

По принципу работы электроизмерительные приборы делятся на: приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и т.д. систем. Символ, указывающий принцип действия прибора наносят на шкалу. Условные обозначения систем приборов, используемых в лабораторных работах, приводятся в таблице 1.

Таблица 1.

	Магнитоэлектрическая		Тепловая
	Электромагнитная		Термоэлектрическая
	Электродинамическая		Электростатическая

Например, на рис. 1. показана шкала прибора, рассчитанного на измерения постоянного тока от 0 до 250 мА.



Рис.1.

Этот прибор магнитоэлектрической системы предназначен для измерения постоянных токов, класс точности 1,5 (указан в кружочке). Приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 применяют для точных измерений. В технике (в лабораторных работах) используют менее точные приборы классов 1; 1,5; 2,5; 4.

Показатель класса показывает абсолютную погрешность в процентах от шкалы измерения прибора.

Например, миллиамперметр класса 1,5 со шкалой 250 mA даст в любом месте шкалы абсолютную погрешность не превышающую

$$\Delta I = \pm 250 \cdot 0,015 = \pm 3,75 \text{ mA}$$

Рассмотрим подробнее принцип действия приборов различных систем.

1. Приборы магнитоэлектрической системы

Принципиальная схема измерительного механизма прибора этой системы показана на рис.2.

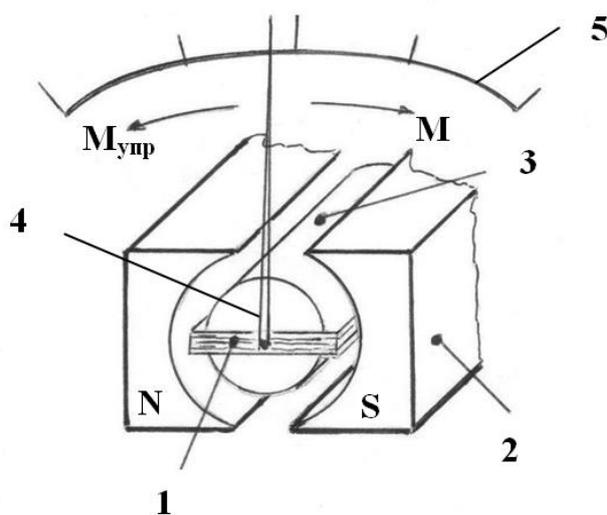


Рис. 2.

Основные части этого механизма: 1 – подвижная катушка, состоящая из алюминиевого каркаса прямоугольной формы с намотанной тонкой медной проволокой; 2 – сильный постоянный магнит с полюсными наконечниками, обращенными друг к другу

вогнутыми цилиндрическими поверхностями; 3 – неподвижный ферромагнитный цилиндр; 4 – стрелка, жестко связанная с рамкой; 5 – шкала прибора.

Благодаря ферромагнитному сердечнику 2 в кольцевом зазоре между ним и полосами магнита создается сильное радиальное магнитное поле. Магнитная индукция этого поля не изменяется в направлении образующих цилиндра. Поэтому боковые стороны рамки находятся в постоянном магнитном поле независимо от их положения. Силовые линии магнитного поля перпендикулярны к её боковым сторонам.

При прохождении тока через катушку возникает магнитный момент

$$\vec{P}_m = N \cdot I \cdot S \cdot \vec{n} \quad (1)$$

где N - число витков в катушке, I - сила тока в ней, S - площадь поперечного сечения катушки, \vec{n} - единичный вектор нормали к сечению катушки.

На рамку с током, находящуюся в магнитном поле, действует момент пары сил $\vec{M} = [\vec{P}_m \cdot \vec{B}]$. Этот момент создают силы Ампера, приложенные к боковым сторонам рамки. Модуль момента пары сил равен

$$M = P_m \cdot B \cdot \sin 90^\circ = I \cdot S \cdot N \cdot B \quad (2)$$

Видно, что численное значение вращательного момента не зависит от угла поворота рамки и пропорционально току, текущему через катушку (измеряемому току).

Рамка подвешена в магнитном поле на двух растяжках (на рис. не показаны). Растяжка – металлическая лента, одним концом прикреплена к рамке, а другим – к неподвижной части измерительного механизма. Растяжки поддерживают в нужном положении рамку в поле и подводят ток к рамке, создают противодействующий момент, возникающий при их закручивании.

При повороте катушки под действием вращательного момента \vec{M} закручивается и растяжка. В ней возникает противодействующий момент $\vec{M}_{упр}$. Модуль момента упругих сил $M_{упр} = D \cdot \varphi$, где D - постоянная кручения, φ - угол закручивания (поворота).

В положении равновесия $M = M_{упр}$.

$$I \cdot S \cdot N \cdot B = D \cdot \varphi; \quad \varphi = \frac{S \cdot N \cdot B}{D} I \quad (3)$$

$$\text{где } \frac{S \cdot N \cdot B}{D} = C \text{ постоянная прибора.} \quad (4)$$

Величина $\gamma = \frac{1}{C}$ называется чувствительностью прибора.

Из (2) следует, что шкала прибора равномерная.

Т.к. рамка выполнена из алюминия, то возникающие в самом корпусе рамки индукционные токи создают тормозящий момент. Это приводит к быстрому затуханию колебаний рамки (её успокоению).

Период колебаний рамки зависит от её момента инерции относительно оси вращения и обычно равен секундам. Поэтому такой измерительный механизм нельзя непосредственно применять для измерения тока в цепях переменного тока.

Если использовать выпрямитель – устройство для преобразования переменного тока (напряжения) в постоянный, то приборы магнитоэлектрической системы можно использовать в широкой области частот.

Достоинства магнитоэлектрических приборов: высокая чувствительность и точность измерений, малое потребление энергии, равномерность шкалы,

нечувствительность к внешним магнитным полям, аperiodичность колебаний рамки со стрелкой (быстрое установление показаний).

Приборы магнитоэлектрической системы (гальванометры) можно использовать для измерения заряда q , проходящего через поперечное сечение цепи при импульсе тока. Такой гальванометр является основной частью веберметра, который используют для измерения магнитных потоков и индукции магнитного поля. Принципиальная схема для измерения магнитной индукции с помощью веберметра показана на рис. 3.

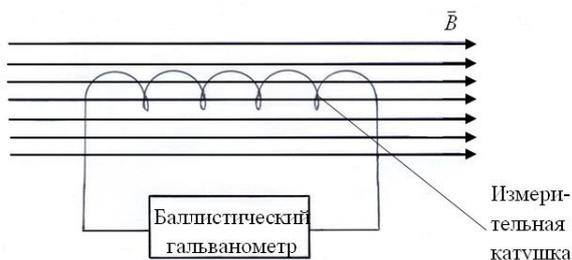


Рис. 3.

Пусть измерительная катушка веберметра, имеющая N витков подключена к баллистическому гальванометру и находится внутри длинного соленоида, ток через который не идёт. Оси катушки и соленоида совпадают. Если включить ток, создающий магнитное поле в соленоиде, то полный магнитный поток (потокосцепление) сквозь катушку станет равным

$$\Psi = NBS$$

В цепи веберметра возникнет кратковременный индукционный ток, а баллистический гальванометр зафиксирует заряд q , прошедший через него.

$$q = C\Delta n, \quad (5)$$

где C – постоянная баллистического гальванометра, Δn - число делений по шкале прибора при отклонении стрелки прибора.

Из закона Фарадея для электромагнитной индукции следует:

$$\text{ЭДС индукции } \xi = -\frac{d\Psi}{dt},$$

Из закона Ома для однородного участка цепи

$$\xi = IR = \frac{dq}{dt} R,$$

где R - сопротивление измерительной цепи.

Сравнивая эти два уравнения получим:

$$-\frac{d\Psi}{dt} = \frac{dq}{dt} R$$

Отсюда следует:

$$q = -\frac{1}{R} \int_0^\Psi d\Psi$$

Проинтегрировав данное выражение получим:

$$q = \frac{\Psi}{R} = \frac{NBS}{R} \quad (6)$$

Сравнивая (5) и (6) и учитывая (4), получим:

$$C\Delta n = \frac{NBS}{R}$$

Введя обозначение $K=CR$, полученное выражение можно записать:

$$K\Delta n = NBS \rightarrow B = \frac{K\Delta n}{NS}$$

Величина K – это цена деления веберметра.

2. Приборы электромагнитной системы

Приборы электромагнитной системы применяют для измерений в цепях постоянного и переменного токов.

Измерительный механизм содержит неподвижную катушку 1, плоский ферромагнитный сердечник 2. Под действием магнитного поля, создаваемого катушкой, ферромагнитный сердечник намагничивается и втягивается внутрь катушки. При этом поворачивается и связанная с сердечником стрелка 4 измерительного прибора. Противодействующий момент создаётся спиральной пружиной 3. Шкала прибора 5 нелинейная (квадратичная) (рис.4).

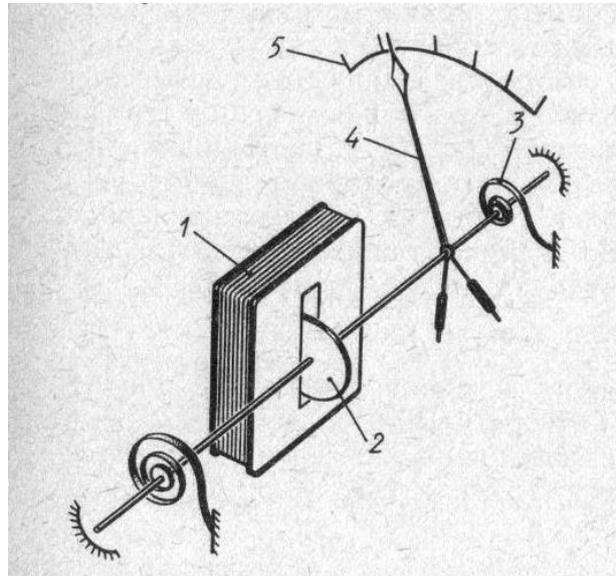


Рис. 4.

Подбором формы сердечника добиваются того, что шкала прибора оказывается практически равномерной, начиная со значений, составляющих $0,15 \div 0,2$ предельного измеряемого тока. Приборами электромагнитной системы в цепи переменного тока измеряют действующее (эффективное) значение тока.

$$I_{дейст} = \frac{I_{ампл}}{\sqrt{2}}$$

Достоинствами приборов электромагнитной системы являются возможность измерять как постоянные, так и переменные токи, простота конструкции, устойчивость к перегрузкам.

К недостаткам электромагнитных измерительных приборов можно отнести неравномерность шкалы, меньшую точность, чем в магнитоэлектрических приборах, зависимость показаний от внешних магнитных полей.

3. Реостаты, магазины сопротивлений.

Реостат – переменное сопротивление, которое включают в электрическую цепь последовательно (в разрыв цепи) для изменения тока в этой цепи. Схема включения реостата показана на рис.5 а.

Для изменения напряжения переменное сопротивление включают по схеме потенциометра (рис. 5 б). Перемещая ползунок, можно получить разность потенциалов от 0 до U_B .

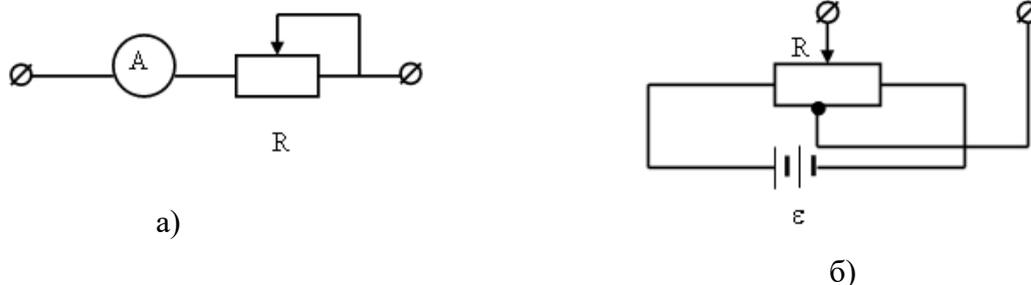


Рис. 5.

Для подбора сопротивлений в широком диапазоне применяют магазины сопротивлений.

Набор сопротивлений в магазине – это катушки, на которые наматывают изолированный манганиновый провод.

При наматывании высокоомных сопротивлений используют бифилярную намотку. В этом случае индуктивность катушки будет минимальной ($L \sim 0$).

Измерение больших постоянных токов непосредственно приборами затруднительно, а часто и невозможно. Для расширения пределов измерения, например миллиамперметра, служат шунты. Шунт – сопротивление, которое включается параллельно тому участку цепи, на котором нужно изменить (уменьшить) ток.

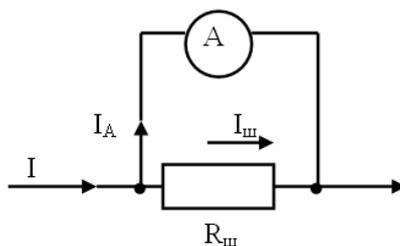


Рис. 6.

$$I = I_A + I_w \quad I_A \cdot R_A = I_w R$$

$$R_w = \frac{I_A \cdot R_A}{I_w} = \frac{I_A \cdot R_A}{I - I_A} = \frac{R_A}{n - 1};$$

$$n = \frac{I}{I_A}; \quad R_w = \frac{R_A}{n - 1}$$

В многопредельных миллиамперметрах (амперметрах) имеется набор шунтов, переключая которые можно изменять пределы измерения тока. На рис. 7. R_0 – внутреннее сопротивление прибора.

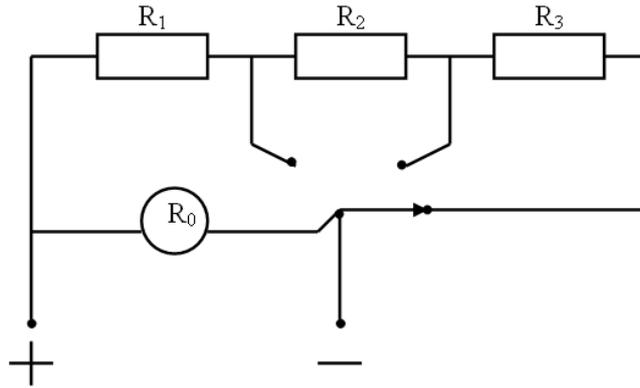


Рис. 7.

Миллиамперметр (амперметр) можно использовать как вольтметр, если включить последовательно добавочное сопротивление $R_{доб}$.

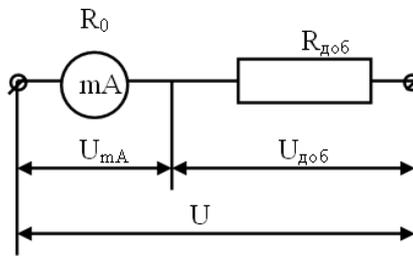


Рис. 8.

R_0 – сопротивление рамки прибора.

$$U = U_{mA} + U_{доб}; \quad R_{доб} = \frac{U_{доб}}{I}; \quad I = \frac{U_{mA}}{R_0}$$

$$R_{доб} = \frac{(U - U_{mA}) \cdot R_0}{U_{mA}} = \left(\frac{U}{U_{mA}} - 1 \right) R_0 = (n - 1) R_0$$

$$R_{доб} = (n - 1) R_0 \quad n = \frac{U}{U_{mA}}$$

Литература

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. У 3 т. Т. 2 Електрика та магнетизм – К.: «Техніка», 2006. – 452 с.
2. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф.: Курс фізики. У 2 кн.: Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. К.: «Либідь», 2001. – 448 с.
3. Трофімова Т.І. Курс фізики. – М., «Академия», 2005. – 560 с.

Баргашевская Людмила Ивановна
Зайцев Анатолий Семёнович

ФИЗИКА.
ВВЕДЕНИЕ В ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ
для студентов всех специальностей по дисциплине «Физика»