

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н.Э. Баумана**

Специализированный учебно-научный центр
Лицей № 1580 при МГТУ имени Н.Э. Баумана

Кафедра "Основы физики"

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

10 класс

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

2008

Лабораторный практикум по физике.
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.– МГТУ им. Н.Э.Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители сборника:

Н.С.Кулеба, Г.Б.Носов, А.Е.Иванов, Н.А. Бардадымов.

Под редакцией А.В.Кравцова И.Н. Грачевой

©Лицей № 1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-1

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра. Изучение схем включения реостата в цепь

1.1. Цель работы

Целью работы является изучение метода вольтметра - амперметра, применяемого для измерения сопротивления резистора, и схем включения реостата в электрическую цепь в качестве регулятора силы тока и напряжения.

1.2. Основные теоретические сведения

Под электрическим сопротивлением понимают свойство электрического проводника оказывать препятствование движению электрических зарядов, вызываемому электрической цепью, к которой подключен проводник.

Электрическое сопротивление (сопротивление) проводника R , как следует из закона Ома, может быть рассчитано как отношение приложенного к проводнику напряжения U к силе протекающего в цепи тока I :

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.1)$$

Единицами напряжения, силы тока и сопротивления являются соответственно вольт (1 В), ампер (1 А), ом (1 Ом).

Электрический проводник, предназначенный для оказания заданного сопротивления электрическому току, называется резистором (от латинского *resisto*). Резисторы используются для установления определенных, как говорят, номинальных значений силы тока и напряжения.

Выпускаемые промышленностью резисторы различаются по величине сопротивления (от 1 Ом до 10 МОм, а в специальных случаях и в более широком диапазоне) и рассеиваемой мощности (от 0,01 до 150 Вт).

Для регулирования в определенных пределах тока и напряжения в электрической цепи используются реостаты. Основная часть реостата - проводящий элемент с переменным сопротивлением, значение которого может меняться плавно или ступенчато.

Реостаты подразделяются на проволочные (ползунковые) и непроволочные.

Проволочные реостаты изготавливаются из константановой или никелиновой проволоки, плотно навитой на жаростойкую трубку.

Такие реостаты имеют линейную зависимость сопротивления от длины включенной части X

$$R = R_0 \frac{X}{L}, \quad (1.2)$$

где R_0 и L - полное сопротивление и полная длина реостата.

Непроволочные реостаты состоят из высокоомного проводящего слоя, нанесенного на изоляционный материал. Такие реостаты компактны, но обладают, как правило, меньшей мощностью.

1.3. Методика проведения эксперимента

1.3.1. Измерение сопротивления резистора обычно производят с помощью омметра, а если омметра нет, то используется одна из схем, изображенных на рисунках 1.1 и 1.2 (метод вольтметра и амперметра).

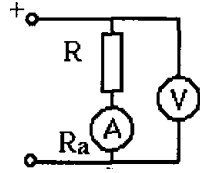


Рис.1.1.

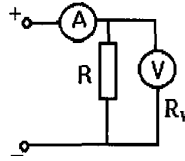


Рис.1.2.

В этом случае оценка величины измеряемого сопротивления R^* определяется по формуле

$$R^* = \frac{U_v}{I_a}, \quad (1.3)$$

где U_v - напряжение, измеренное вольтметром; I_a - сила тока, измеренная амперметром.

Истинное значение сопротивления

$$R = \frac{U_R}{I_R}. \quad (1.4)$$

Таким образом данный метод измерения имеет систематическую погрешность.

В схеме на рис.1.1 вольтметр измеряет суммарное напряжение на резисторе и амперметре

$$U_v = U_R + U_a. \quad (1.5)$$

В схеме на рис.1.2 амперметр измеряет силу суммарного тока через сопротивление и вольтметр

$$I_a = I_R + I_v \quad (1.6)$$

Схема, приведенная на рис.1.1, может быть использована, если $I_R \gg I_v$ и, как следует из (1.3), (1.4), (1.5), для этого случая выполняется соотношение:

$$R = R^* - R_a \quad (1.7)$$

где $R_a = \frac{U_a}{I_a}$ - внутреннее сопротивление амперметра.

Ясно, что если $R \gg R_a$, то $R \approx R^*$, и систематическая погрешность будет небольшой.

Схема измерения рис.1.2 может быть использована, если $R \ll R_v$. В этом случае, как следует из (1.3), (1.4), (1.6), истинное значение сопротивления R связано с его оценкой R^* посредством соотношения:

$$R = \frac{R^* R_v}{R^* + R_v} \approx R^*, \quad (1.8)$$

где R_v - внутреннее сопротивление вольтметра.

1.3.2. Схема, позволяющая использовать реостат как регулятор силы тока, показана на рисунке 1.3.

Согласно закону Ома сила тока в цепи, если пренебречь сопротивлением амперметра, выражается соотношением:

$$I = \frac{U_0}{R_H + R}, \quad (1.9)$$

где U_0 - напряжение на клеммах источника тока;

R - сопротивление включенной части реостата

R_H - сопротивление нагрузки.

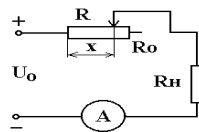


Рис. 1.3.

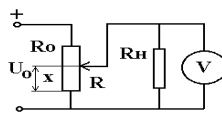


Рис.

1.4.

При неизменном напряжении U_0 характер зависимости силы тока от полного сопротивления внешнего участка цепи $R + R_H$ определяется соотношением R и R_H . Реостат может изменять силу тока в ши-

роких пределах, если сопротивление нагрузки относительно мало ($R_H \ll R$).

Чтобы охарактеризовать относительное изменение силы тока в цепи, не зависящее от напряжения U_0 , строят зависимость I/I_{\max} от R , где: I_{\max} - максимальная сила тока при $R=0$.

1.3.3. Для плавной регулировки напряжения используется потенциометрическая схема включения реостата (рис. 1.4). Здесь реостат является регулируемым делителем напряжения - потенциометром.

Напряжение U снимается со скользящего контакта и одного из зажимов потенциометра, к которому присоединяется источник напряжения U_0 .

Если $R_H \gg R_0$, то напряжение U можно определить по формуле

$$U = U_0 \frac{X}{L}, \quad (1.10)$$

где X , L - соответственно длина введенной части и длина полной обмотки реостата. Разумеется, должно быть $R_H \gg R_H$.

Чтобы охарактеризовать относительное изменение напряжения U , строят зависимость U/U_{\max} от X , где U_{\max} - напряжение на потенциометре при $R = R_0$ (при этом $X = L$).

1.4. Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

Подготовьте протокол эксперимента, в котором должны быть приведены схемы, основные расчетные формулы и таблицы для результатов измерений.

Задание 1. Измерение сопротивления методом вольтметра и амперметра

1. Ознакомьтесь с основными характеристиками источника питания и измерительных приборов.

Запишите в протокол эксперимента диапазон величин, измеряемых этими приборами.

2. Соберите электрическую цепь по схеме рис.1.1. Проверьте ее.

Один из приборов РВ7-22А используйте как амперметр (нажата кнопка "А"), другой - как вольтметр постоянного тока (нажата кнопка "V"). Используйте гнезда приборов "*", "I,R" и "*", "0-2V". Если измеряемое напряжение больше 2 В - гнездо "0 - 300V". Гнезда приборов "*" соедините общим проводом.

ВНИМАНИЕ!

При выполнении работы напряжение источника питания не должно превышать 2,5 В, рекомендуется напряжение $U_0 = 2$ В.

3. Включив источник питания в сеть (с разрешения преподавателя), установите напряжение чуть меньше 2 В (например, 1,995 В) и измерьте силу тока в цепи. Измерения проведите на наиболее чувствительном, но не перегруженном пределе. При этом на индикаторе высвечивается наибольшее количество значащих цифр. Выбор предела надо начинать с наименее чувствительного, допускающего измерение большего напряжения. Результаты измерений запишите в таблицу 1.1. Повторите измерения для трех резисторов R1, R2, R3. Они смонтированы на панельке из оргстекла, лежащей на столе.

Таблица 1.1.

Резистор	Показания вольтметра, В	Показания амперметра, А	R^* , Ом	R_A , Ом	R , Ом
R1					
R2					
R3					

4. Внутреннее сопротивление амперметра R_a рассчитайте по формуле

$$R_a = \frac{U'_a}{I_{np}}, \quad (1.11)$$

где U'_a - напряжение на клеммах амперметра при предельном токе I_{np} выбранного диапазона. На пределах 0,2 - 20 мА для универсального прибора РВ7-22А $U'_a \approx 200$ мВ.

Внутреннее сопротивление прибора РВ7-22А при измерении напряжения не менее 10 МОм.

5. Рассчитайте сопротивление резисторов без учета внутреннего сопротивления амперметра и с учетом его по формулам (1.3) и (1.7). Занесите результаты в таблицу 1.1.

6. Сравните полученные значения R^* и R . Оцените систематическую погрешность, обусловленную методом измерения, по формуле $\Delta R/R \approx R_a/R^*$. Сделайте выводы.

Задание 2. Изучение последовательного включения реостата в цепь в качестве регулятора силы тока

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 1.3. Используйте реостат со шкалой и те же приборы, что в задании 1.

Сопротивление нагрузки $R_l = 100 \text{ Ом}$ установите с помощью магазина сопротивлений Р32 .

2. Включив источник питания в сеть (с разрешения преподавателя) и подав на выходные клеммы напряжение $U_0 = 2 \text{ В}$, убедитесь в том, что при перемещении ползунка реостата вдоль линейки с увеличением X сила тока в цепи уменьшается.

3. Исследуйте зависимость силы тока в цепи I от длины введенной части реостата X , снимая показания амперметра через каждые 4-5 см. Результаты занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

$U_0 =$ $R_n =$

Длина введенной части реостата X , см							
Сила тока в цепи I , А							
Отношение токов I/I_{\max}							

В таблице 1.2 I_{\max} - значение силы тока в цепи при $R=0$.

4. Постройте график зависимости I/I_{\max} от X .

Задание 3. Изучение схемы включения реостата в цепь в качестве регулятора напряжения (потенциометра)

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 1.4. Используйте те же приборы, что и в задании 2. Напряжение $U_0 = 2 \text{ В}$, сопротивление нагрузки $R_n = 100 \text{ Ом}$.

2. Включив источник питания в сеть (с разрешения преподавателя) и подав на выходные клеммы напряжение U_0 , убедитесь, что при перемещении движка потенциометра с ростом X показания вольтметра увеличиваются.

3. Исследуйте зависимость напряжения U , снимаемого с подвижного контакта, от введенной длины X потенциометра, отмечая показания вольтметра при каждом изменении X на 4-5 см. Результаты измерений занесите в таблицу 1.3.

Таблица 1.3.

$U_0 =$	$R_n =$					
Длина введенной части реостата $X, \text{см}$						
Показания вольтметра $U, \text{В}$						
Отношение напряжений U/U_{max}						

4. По данным таблицы 1.3 постройте график зависимости U/U_{max} от X . Здесь U_{max} - значение максимального напряжения на потенциометре.

5. Напишите заключение к работе.

1.5. Контрольные вопросы

1. Что такое резистор? Что такое реостат? Что такое потенциометр?
2. Каков недостаток метода вольтметра и амперметра при измерении сопротивления?
3. При каких условиях систематические погрешности при измерении сопротивления минимальны?
4. Какую из схем (см. рис. 1.1 и 1.2) для измерения сопротивления R нужно выбрать, если известно, что это сопротивление велико (порядка или больше R_v)? Мало (меньше R_a)?

1.6. Задачи для самостоятельного решения

Гольдфарб Н.И. Сб. вопросов и задач по физике: 18.11-18.13, 19.9-19.10.

1.7. Литература

1. Физика. Учебное пособие для 10 кл. школ и классов с углубленным изучением физики. Ю.Н. Дик, О.Ф. Кабардин и др. Под редакцией А.А. Пинского.-М.: Просвещение, 1993. - 416 с. ил. - ISBN-5-06-004011-7.
2. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учеб. пособие. 6-е изд. стер. - М.: Высш. школа, 1993 - 352 с. ил. - ISBN 5-06-002686-8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-2

Измерение удельного сопротивления проводника

2.1. Цель работы

Целью работы является изучение и освоение методики измерения удельного сопротивления проводника.

2.2. Основные теоретические сведения

Основная электрическая характеристика проводника - его сопротивление R . От этой величины зависит сила тока I , проходящего через проводник при заданном напряжении U

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.1)$$

Соотношение (2.1) выражает закон Ома для однородного участка цепи.

Согласно классической теории электронной проводимости плотность тока в металле j определяется соотношением

$$j = en\langle v \rangle, \quad (2.2)$$

где e - элементарный заряд, n - концентрация электронов проводимости металла, $\langle v \rangle$ - средняя скорость упорядоченного движения электронов под действием электрического поля.

Средняя скорость упорядоченного движения электронов

$$\langle v \rangle = \frac{a\tau}{2} = \frac{eE\tau}{2m}, \quad (2.3)$$

где a - ускорение, τ - длительность промежутка времени между двумя последовательными столкновениями с ионами кристаллической решетки, m - масса электрона проводимости, E - напряженность электрического поля.

Из (2.2) и (2.3) следует закон Ома в дифференциальной форме

$$j = gE, \quad (2.4)$$

где $g = e^2 n \tau / 2m$ называется удельной проводимостью металла. Она зависит от рода металла и температуры.

Величина $\rho = \frac{1}{g}$ называется удельным сопротивлением проводника. Учитывая, что для однородного проводника сечением S и длиной L $j = \frac{I}{S}$ и $E = \frac{U}{L}$, из (2.1) и (2.4) получим

$$R = \frac{\rho L}{S}. \quad (2.5)$$

Итак, сопротивление однородного проводника прямо пропорционально длине и обратно пропорционально сечению проводника. Эта зависимость установлена опытным путем немецким физиком Г. Омом в 1826 г.

Единицей удельного сопротивления является 1 Ом · м.

2.3. Методика проведения эксперимента

В данной работе измеряется удельное сопротивление проволоки реостата. При известных диаметре d и длине проволоки L удельное сопротивление ρ определяется по формуле

$$\rho = \frac{R \pi d^2}{4L}, \quad (2.6)$$

где R - сопротивление проволоки.

В нашем случае величины d и L неизвестны. Проволока намотана на трубку диаметром D , так что витки плотно прилегают друг к другу (см. рис. 2.1). Поэтому длина проволоки при $D \gg d$

$$L = \pi D N, \quad (2.7)$$

диаметр проволоки

$$d = \frac{1}{N}, \quad (2.8)$$

где l - длина навитой части реостата, N - полное число витков. Учитывая (2.7) и (2.8), получим из (2.6) расчетную формулу

$$\rho = \frac{R d^3}{4lD}. \quad (2.9)$$

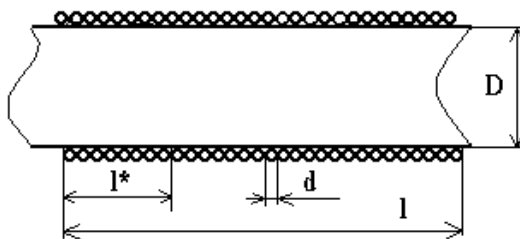


Рис. 2.1

Поскольку полное число витков N подсчитать весьма затруднительно, диаметр проволоки определим по формуле:

$$d = \frac{l^*}{N^*}, \quad (2.10)$$

и в соответствии с этим, удельное сопротивление определяется из соотношения:

$$\rho = \frac{Rl^{*3}}{4lDN^{*3}}, \quad (2.11)$$

где: l^* - длина участка реостата, на котором укладывается приемлемое число витков N^* . Для уменьшения погрешности измерения d и, соответственно, ρ длину l^* нужно выбрать по возможности наибольшей.

В работе используются: реостат, универсальный цифровой вольтметр РВ7-22А, штангенциркуль, линейка, соединительные провода.

2.4. Порядок проведения работы и обработки результатов эксперимента

Подготовьте протокол эксперимента, в котором должны быть приведены основные расчетные формулы и таблицу 2.1 для занесения результатов измерений.

1. Измерьте сопротивление реостата R прибором РВ7-22А, установив у него режим измерения сопротивления. Для этого нажмите кнопку “ $k\Omega$ ”. Реостат подключите к гнездам прибора “ж” и “I,R”. Измерение проведите на том пределе, который обеспечивает максимальное

количество значащих цифр при том, что первая цифра показаний прибора не равна 2.

Все результаты измерений записывайте в таблицу 2.1.

2. Измерьте диаметр трубки D реостата с помощью штангенциркуля. Измерения сделайте шесть раз в середине и на концах трубки при двух ортогональных положениях штангенциркуля вокруг оси трубки. В таблицу запишите максимальное, минимальное и промежуточные значения диаметра. Вычислите среднее арифметическое значение $\langle D \rangle$.

3. Измерьте длину навитой части реостата l с помощью линейки.

4. На однородном участке катушки проволоки реостата измерьте линейкой длину l^* , на которой укладывается целое число N^* витков проволоки. Для уменьшения погрешности желательно, чтобы длина l^* была не менее 15 мм. Число витков N^* подсчитайте очень тщательно. При сомнениях повторите измерение.

Таблица 2.1.

R, Ом	D, см	$\langle D \rangle$, см	l , см	l^* , см	N^*	d, см	ρ , Ом·м	$\Delta \rho$, Ом·м

5. По формуле (2.10) определите диаметр проволоки.

6. Рассчитайте по формуле (2.11) удельное сопротивление материала проволоки.

7. Найдите абсолютную и относительную погрешности измерения удельного сопротивления проводника по формулам

$$\Delta \rho = \rho E_{\rho},$$

$$E_{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + 3\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2}, \quad (2.11)$$

где $\Delta R/R = \pm (0,3 + 0,25R_{\text{пр}}/R) \cdot 10^{-2}$ - относительная погрешность измерения сопротивления прибором РВ7-22А, $R_{\text{пр}}$ - предел измерений на

данном диапазоне; $\Delta d/d = \sqrt{\left(\frac{\Delta N^*}{N^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l^*}{l^*}\right)^2}$ - относительная

погрешность измерения диаметра проволоки. Здесь ΔN^* - погрешность

подсчета числа витков. Если Вы были аккуратны, то она равна нулю. Если число витков N^* не очень велико, то вряд ли она превышает единицу.

8. С помощью справочных таблиц установите материал, из которого изготовлена проволока реостата. Напишите заключение к работе.

2.5. Контрольные вопросы

1. Что называется удельным сопротивлением проводника?
2. Как изменится сопротивление проводника круглого сечения, если его диаметр увеличить в 3 раза?
3. Как изменится сопротивление проволоки, если ее сложить пополам?
4. Зависит ли удельное сопротивление проводника от силы тока, протекающего по нему? Рассмотрите случаи умеренных и больших токов.

2.6. Задачи для самостоятельного решения

Гольдфарб Н.И. Сб. вопросов и задач по физике: 18.5, 18.7-9.

2.7. Литература

1. Физика. Учебное пособие для 10 кл. школ и классов с углубленным изучением физики. Ю.Н. Дик, О.Ф. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. -М.: Просвещение, 1993.- 416 с.: ил. - ISBN 5-06-004011-7.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-2а

Экспериментальные методы определения сопротивления проводника

2а.1. Цель работы

Целью работы является изучения закона Ома для однородного участка цепи и освоение экспериментальных методов определения сопротивления металлического проводника.

2а.2. Основные теоретические сведения

Немецкий физик Георг Ом экспериментально установил, что сила тока I , текущего по однородному участку электрической цепи, прямо пропорциональна напряжению U , приложенному к концам этого участка

$$I = \frac{U}{R} \quad (2a.1)$$

Величина R называется электрическим сопротивлением участка цепи.

Сопротивление зависит от формы, размеров и свойств материала проводников, составляющих участок цепи.

Для однородного цилиндрического проводника его сопротивление

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2a.2)$$

где l - длина проводника;

S - площадь его поперечного сечения;

ρ - коэффициент, зависящий от электрических свойств материала проводника, называемый удельным электрическим сопротивлением.

Наиболее простым методом измерения сопротивления проводников является метод амперметра и вольтметра, который подробно рассматривается в лабораторной работе №1. В этом методе с помощью амперметра измеряют силу тока I в цепи (рис.1) и с помощью вольтметра - напряжение U на концах проводника. Неизвестное сопротивление вычисляют по формуле (2a.1).

Однако этот простой и удобный способ не является точным, так как измерение величин, входящих в формулу (2a.1), всегда производится с систематической ошибкой, зависящей от внутренних сопротивлений применяемых приборов, влияющих на измеряемые напряжение и силу тока. Поэтому такой способ для точного измерения сопротивления на практике применяется довольно редко.

Самым точным и распространенным методом определения сопротивления является метод сравнения измеряемого сопротивления с эталоном. При таком способе применяются мостовые схемы различных конструкций. Одним из них является метод мостика постоянного тока (мостик Уитстона). Принципиальная схема такого мостика представлена на рисунке 2a.2.

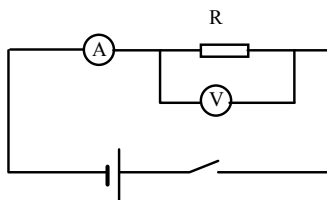


Рис.2а.1. Схема измерений методом амперметра и вольтметра

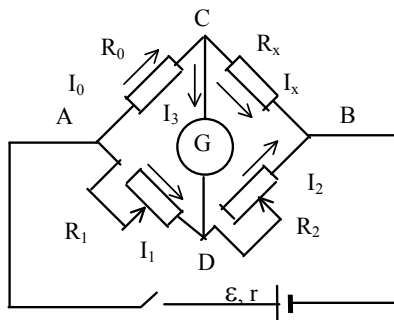


Рис.2а.2. Принципиальная схема мостика постоянного тока

Измеряемое сопротивление R_x и три других сопротивления R_0 , R_1 , R_2 соединяют в схему так, что они образуют замкнутый четырехугольник ABCD. В одну диагональ четырехугольника включен гальванометр G, а в другую через ключ К - источник постоянного тока.

При замыкании ключа гальванометр обнаружит наличие тока. Но можно так подобрать R_0 , R_1 , R_2 , что потенциалы точек С и D станут равными, т.е. в цепи гальванометра ток будет отсутствовать. Зависимость между четырьмя сопротивлениями в этом случае может быть определена на основании двух правил Кирхгофа.

Применим эти правила для нашей цепи. Припишем токам направления, обозначенные на рис.2а.2 стрелками. Первая система уравнений Кирхгофа:

$$\begin{aligned} \text{для узла C } I_0 - I_3 - I_x &= 0, \\ \text{для узла D } I_1 + I_3 - I_2 &= 0. \end{aligned} \quad (2а.3)$$

Вторую систему уравнений Кирхгофа составим, выделив замкнутые контуры ACDA и CBDC. Обходя каждый контур по часовой стрелке, получим:

$$\begin{aligned} I_0 R_0 + I_3 R_3 - I_1 R_1 &= 0, \\ I_x R_x - I_2 R_2 - I_3 R_3 &= 0, \end{aligned} \quad (2a.4)$$

При условии, что ток в цепи гальванометра равен нулю, первое и второе уравнения системы (2a.3) дают:

$$\begin{aligned} I_0 &= I_x, \\ I_1 &= I_2. \end{aligned} \quad (2a.5)$$

Первое и второе уравнения системы (2a.4) запишутся в виде:

$$\begin{aligned} I_0 R_0 &= I_1 R_1, \\ I_x R_x &= I_2 R_2. \end{aligned} \quad (2a.6)$$

Из равенств (2a.5) и (2a.6) получим:

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1}. \quad (2a.7)$$

Таким образом при отсутствии тока в гальванометре можно по формуле (2a.7) вычислить неизвестное сопротивление R_x , если известны сопротивление R_0 и отношение R_1/R_2 . Точность измерения сопротивления R_x мостовым методом максимальна тогда, когда отношение R_1/R_2 близко к единице.

2a.3. Методика проведения эксперимента

Применяемый в работе прибор FPM-1 предназначен для определения удельного сопротивления резистивного провода из хромоникеля по техническому методу с точным измерением тока и напряжения (метод амперметра и вольтметра). Прибор может работать с внешним мостиком постоянного тока (мостиком Уитстона).

Общий вид прибора представлен на рис. 2a.3. Основание 1 оснащено регулируемыми ножками, позволяющими выравнять положение прибора. К основанию прикреплен колонна 2 с нанесенной метрической шкалой 3. На колонне смонтированы два неподвижных кронштейна 4 и один подвижный кронштейн 5, который может передвигаться вдоль колонны и фиксироваться в любом положении. Между верхним и нижним кронштейнами натянут резистивный провод 6, который прикреплен к кубикам 7 при помощи винтов. На подвижной части кронштейна нанесена черта, облегчающая определение по шкале длины резистивного провода.

Нижний, верхний и центральный подвижные контакты резистивного провода подведены при помощи проводов низкого сопротивления к измерительной части прибора 8, прикрепленной к основанию.

Измерительный блок имеет следующие основные переключатели:

W1 – (сеть), нажатие клавиши вызывает включение напряжения питания, при этом загорается неоновая лампочка;

W2 – нажатая клавиша соответствует режиму точного измерения напряжения в техническом методе, отжатая – режиму точного измерения тока в техническом методе;

W3 – (мостик), отжатая клавиша обеспечивает работу прибора с мостиком постоянного тока, нажатая клавиша позволяет произвести измерение активного сопротивления резистивного провода по техническому методу;

P1 – потенциометр регулировки тока.

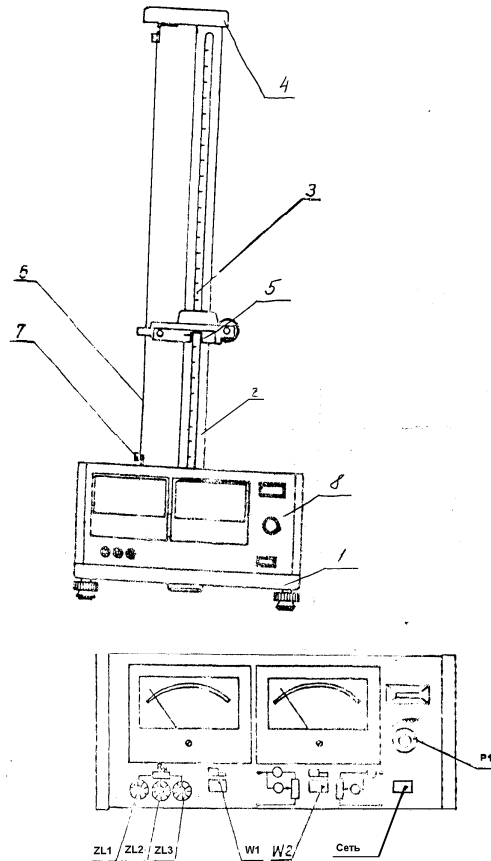


Рис. 2а.3. Схема экспериментальной установки

На передней панели измерительной части прибора имеются также лабораторные зажимы ZL1, ZL2, ZL3 для подключения мостика постоянного тока.

Для определения электрического сопротивления резистивного провода в работе используются электрические схемы, реализованные с помощью экспериментальной установки FPM-1.

Схема с точным измерением тока в техническом методе (рис.2а.4)

В этой схеме измеряется точное значение силы тока, текущего через измеряемое сопротивление. Согласно закону Ома можно записать соотношение, связывающее показание вольтметра и амперметра:

$$U = (R_x + R_A)I, \quad (2a.8)$$

где: R_A - сопротивление амперметра; R_x - измеряемое сопротивление.

Из соотношения (2а.8) может быть получена формула для нахождения величины неизвестного сопротивления:

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A. \quad (2a.9)$$

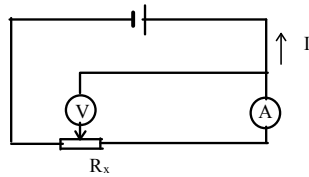


Рис.2а.4. Схема с точным измерением тока

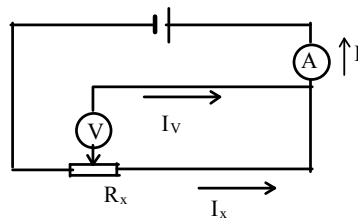


Рис.2а.5. Схема с точным измерением напряжения

Схема с точным измерением напряжения в техническом методе (рис.2а.5)

В этом случае точно измеряется напряжение на измеряемом сопротивлении. Используя первое правило Кирхгофа для узла “а”, второе правило Кирхгофа для контура, содержащего вольтметр и измеряемое сопротивление, а также закон Ома, можно записать:

$$\begin{aligned} I &= I_V + I_X \\ I_X R_X - I_V R_V &= 0 \\ U &= I_V R_V, \end{aligned} \quad (2a.10)$$

где: I , I_X , I_V - токи, текущие через амперметр, измеряемое сопротивление и вольтметр соответственно, R_V - внутреннее сопротивление вольтметра.

Система (2а.10) позволяет определить соотношение, связывающее показания вольтметра U и амперметра I с измеряемой величиной сопротивления:

$$R_x = \frac{U}{I} \frac{1}{1 - \frac{U}{IR_V}}. \quad (2a.11)$$

Выбор схемы зависит от величины неизвестного сопротивления и необходимой точности измерения.

Схема измерения сопротивления с помощью моста постоянного тока

Схема смонтирована на панели изоляционного материала (рис.2а.6). На панели расположены сопротивления R_1 и R_2 . Магазин сопротивлений R_M подключается в схеме в точках “в” и “б”. Измеряемое сопротивление R_X (резистивный провод) подключается к точкам “б” и “г”. Источник постоянного тока, находящийся внутри установки, включается через балластное сопротивление R_0 в диагональ “вг”.

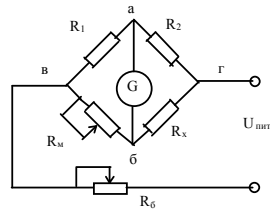


Рис. 2а.6. Схема измерений с помощью мостика постоянного тока

Этот метод измерения предполагает использования условия баланса, т.е. отсутствия тока через гальванометр, включенный в диагональ “аб”. Мост сбалансирован, когда выполняется условие

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_M}{R_x}. \quad (2a.12)$$

Из этого соотношения получаем

$$R_x = R_M \frac{R_2}{R_1}. \quad (2a.13)$$

Для удобства измерений выбираем $R_1=R_2$, тогда $R_x=R_M$.

2а.4. Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

Задание 1. Измерение сопротивления проводника по техническому методу (точное измерение тока и напряжения)

1. Включите прибор FPM-1 нажатием кнопки “сеть”.
2. Установите длину резистивного провода $L=10$ см.
3. При помощи переключателя W2 выберите режим точного измерения тока.
4. Вращая ручку регулятора тока проведите измерение напряжения для значений тока 100 мА, 150 мА, 200 мА. Результаты измерений занесите в третью графу таблицы 2а.1.
5. При помощи переключателя W2 выберите режим точного измерения напряжения. Проведите измерения для токов по п. 4. Результаты измерений занесите в четвертую графу таблицы 2а.1.
6. Устанавливая последовательно значения длин резистивного провода $L=20, 30, 40, 50$ см, проведите измерения по п.п. 3-5. Результаты занесите в таблицу 2а.1.
7. Для каждого значения R определите среднее значение по формуле:

$$\rho = \frac{Rl^{*3}}{4IDN^{*3}}. \quad (2a.14)$$

8. Используя формулы:

$$R_{xi} = R_i - R_A,$$

$$R_{xi} = R_i \left(1 + \frac{R_i}{R_V} \right), \quad (2a.15)$$

где $R_A=0,16$ Ом, $R_V=2500$ Ом, заполните девятую и десятую графы таблицы 2а.1.

9. Для каждого значения L определите среднее сопротивление провода по формуле:

$$\bar{R}_x = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 R_{xi} \quad (2a.16)$$

10. Определите систематическую погрешность по формуле:

$$\Delta R = \bar{R} - \bar{R}_x \quad (2a.17)$$

и занесите результаты в тринадцатую и четырнадцатую графы таблицы 2а.1.

Таблица 2а.1.

Lм	I, А	U, В		$R_i = \frac{U}{I}$, Ом		\bar{R} , Ом		R_{xi} , Ом		\bar{R}_x , Ом		ΔR , Ом		ρ , Ом·м		$\bar{\rho}$, Ом·м
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
0,1	0,1															
	0,15															
	0,2															
0,2	0,1															
	0,15															
	0,2															
0,5	0,1															
	0,15															
	0,2															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

11. Определите удельное сопротивление по формуле:

$$\rho = \frac{\bar{R}_x S}{L}, \quad (2a.18)$$

где $S=0,1$ мм². Результаты занесите в пятнадцатую и шестнадцатую графы таблицы 2а.1.

12. Определите среднюю величину значений удельного сопротивления для каждой длины провода.

13. Постройте графики зависимости сопротивления резистивного провода \overline{R}_x от длины L для обоих методов измерения.

14. Укажите, какие из рассмотренных методов измерения предпочтительней, если измеряются сопротивления 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом? Обоснуйте выбранную Вами схему.

Задание 2. Измерение сопротивления проводника методом мостика постоянного тока

1. При помощи переключателя W3 выберите вид работы “мостик”.
2. Подключите измеряемое сопротивление R_x к клеммам ZL1 и ZL2, соответствующим точкам “б” и “г” схемы.
3. Два провода, обозначенные на схеме $U_{пит}$, подключите к гнездам установки, расположенным на ее левой боковой панели.
4. Подключите магазин сопротивлений к клеммам, соответствующим точкам “в” и “б”.
5. Установите длину резистивного провода $L=50$ см.
6. Регулятор тока выведите против хода часовой стрелки.
7. Включите установку нажатием кнопки “сеть”.
8. Подберите такое значение R_M , при котором показания гальванометра приближаются к нулю.

Для того, чтобы при проведении измерений не вывести из строя гальванометр, необходимо сбалансировать мост, т. е. подобрать величину R_M . Балансировку проводите при максимальном значении балластного сопротивления R_b , для этого регулятор тока на передней панели установки выведите до упора против хода часовой стрелки.

По мере уменьшения тока через диагональ “аб” ось переменного резистора R_b поворачивайте по часовой стрелке.

Так как магазин сопротивлений имеет дискретный набор величин R_M , то точный баланс может не выполняться. В этом случае в качестве значения R_M , соответствующего балансу моста, возьмите среднее значение из двух соседних величин сопротивлений, при которых стрелка гальванометра отклоняется примерно на одинаковый угол в обе стороны от нуля.

9. Измеренное значение сопротивления запишите в тетрадь. Измерения по п. 8 проведите три раза. Найдите среднее значение сопротивления.

10. Определите удельное сопротивление провода по формуле:

$$\rho = \frac{\overline{R} S}{l}. \quad (2a.19)$$

11. Результат сравните со значением удельного сопротивления, измеренным в задании 1.

12. Сравните полученные значения с табличным и сделайте выводы о точности всех трех видов измерений.

2а.5. Контрольные вопросы

1. Что называется удельным электрическим сопротивлением?
2. Почему измерение сопротивления методом мостика постоянного тока является более точным, чем измерение при помощи амперметра и вольтметра?
3. Сформулируйте первое и второе правила Кирхгофа.

2а.6. Задачи для самостоятельного решения

Гольдфарб Н.И. Сб. вопросов и задач по физике: 18.5, 18.7-9.

2а7. Литература

Физика. Учебное пособие для 10 классов школ и классов с углубленным изучением физики. Ю.Н. Дик, О.Ф. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. - М.: Просвещение. 1993.-416 с. ил. - ISBN-5-06-004011-7.

Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учебное пособие. – 6-е изд. стер. – М.: Высшая школа. 1993 – 352 с. ил. – ISBN 5-06-002686-8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-3а

Изучение замкнутой электрической цепи

3.1а. Цель работы

Целью работы является исследование основных характеристик источника тока и замкнутой цепи.

3.2а. Основные теоретические сведения

Замкнутая цепь состоит из источника тока и подключенной к нему внешней цепи (внешней нагрузки).

Источник тока преобразовывает энергию неэлектрических процессов в электрическую энергию, которая расходуется (потребляется) в цепи.

Важнейшими характеристиками источника тока являются электродвижущая сила ε и внутреннее сопротивление r .

Электродвижущая сила (э.д.с.) представляет собой отношение работы сторонних сил по перемещению заряда в цепи к величине этого заряда.

В генераторах электростанций сторонняя сила - это сила, действующая со стороны магнитного поля на электроны в движущемся проводнике. В гальваническом элементе используется энергия химических связей.

Внутреннее сопротивление в генераторе равно сопротивлению обмоток, а в гальваническом элементе - сопротивлению раствора электролита и электродов. Источники тока с малым внутренним сопротивлением, например, свинцовые аккумуляторы, боятся короткого замыкания из-за большого значения тока короткого замыкания и, соответственно, значительного тепловыделения с последующим разрушением пластин аккумулятора.

Основными характеристиками цепи являются ток в цепи, напряжение на полезной нагрузке, мощность и полезная мощность цепи, коэффициент полезного действия цепи.

Полезной нагрузкой называется элемент цепи, который преобразует электрическую энергию в другую требуемую форму энергии (механическую, тепловую, химическую, световую и т.п.). В простейшем случае, когда в нагрузке не возникает сторонних сил, электрическая энергия превращается в тепловую. Такая нагрузка называется активной или омической.

Мощность замкнутой цепи рассчитывается как произведение силы тока I , проходящего через источник, на э.д.с. источника тока ε

$$N = I\varepsilon. \quad (3.1a)$$

Полезной мощностью цепи рассчитывают как произведение силы тока I_n , проходящего через полезную нагрузку, на соответствующее напряжение U_n

$$N_n = I_n U_n. \quad (3.2a)$$

Коэффициентом полезного действия замкнутой цепи называют отношение полезной мощности к мощности всей цепи

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (3.3a)$$

3.3а. Методика проведения эксперимента

Для измерения основных характеристик замкнутой цепи и источника тока в работе используется вольтметр и амперметр, включенные в схему, изображенную на рисунке 3.1а.

Внешней нагрузкой в цепи является магазин сопротивлений МС, вольтметр V и амперметр А, полезной нагрузкой - МС.

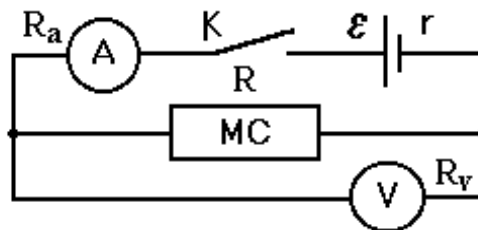


Рис. 3.1а. Схема экспериментальной установки

В данной работе сопротивление вольтметра достаточно велико, по сравнению с сопротивлениями других элементов, поэтому сила тока в цепи согласно закону Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_a + r}, \quad (3.4a)$$

где: r - сопротивление источника тока;

R_a - сопротивление амперметра;

R - сопротивление магазина сопротивлений.

Напряжение на магазине сопротивлений

$$U = \frac{\varepsilon R}{R + r + R_a}. \quad (3.5a)$$

Полезная мощность, выделяемая на омической нагрузке R , при этом в соответствии с выражением (3.2а)

$$N_n = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + R_a + r)^2}. \quad (3.6a)$$

Максимальная полезная мощность достигается при $R=R_a+r$. В этом можно убедиться, найдя максимум функции $f(R) = R/(R+R_a+r)^2$.

Коэффициент полезного действия замкнутой цепи в данном случае, согласно (3.3а), (3.2а), (3.1а)

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} \quad (3.7a)$$

или с учетом (3.5а)

$$\eta = \frac{R}{R + R_a + r}. \quad (3.8a)$$

При $R=R_a+r$ коэффициент полезного действия цепи равен 0,5. Следовательно, по зависимости $\eta(R)$ при $\eta=0,5$ можно найти суммарное сопротивление источника тока и амперметра.

Другой способ следует из закона Ома (3.4а). При $R = 0$

$$R_a + r = \frac{\varepsilon}{I_{max}}. \quad (3.9a)$$

Э.д.с. источника тока можно измерить вольтметром. Для нашей схемы, если $R_v \gg R$, $R \gg r \gg R_a$, то:

$$U = \varepsilon. \quad (3.10a)$$

В работе используются: универсальный цифровой вольтметр РВ7 - 22А (2 шт.), источник постоянного тока - батарея “Бакен”, магазин сопротивлений, ключ, соединительные провода.

3.4а. Порядок выполнения работы и обработки результатов эксперимента

Подготовьте протокол эксперимента, в котором должны быть приведены схема, основные формулы и таблица для результатов измерений.

Задание 1. Определение основных характеристик источника тока

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 3.1а.

В качестве амперметра используйте прибор РВ7-22А в режиме измерения постоянного тока на пределах 20 - 200 мА (нажаты кнопки “mA” и “20” или “200”. Сначала выполните сборку части схемы, не содержащей вольтметр. При этом провод, соединяющий магазин сопротивлений с амперметром, должен быть подключен к гнезду с символом “*” (земля).

В качестве вольтметра возьмите другой прибор РВ7 - 22А (нажмите у него кнопки “ - V” и “2”). Используйте гнезда “0 - 2 V” и “* “. Последнее соедините с гнездом “*” амперметра. Проверьте схему с преподавателем или лаборантом.

2. Измерьте э.д.с. источника “Бакен” вольтметром.

Для этого ручками магазина сопротивлений установите большое сопротивление полезной нагрузки, например, $R = 5000 \text{ Ом}$. У амперметра выберите предел 20 или 200 мА (не менее), нажав кнопку “20” или “200”. С помощью ключа замкните цепь. Значение измеренного напряжения запишите в протокол.

ВНИМАНИЕ!

Для уменьшения разрядки источника тока цепь замыкайте только на короткое время измерений (примерно до 10 с).

Внутреннее сопротивление амперметра на выбранных пределах мало. Внутреннее сопротивление вольтметра не менее 10 МОм. Относительная погрешность измерения э.д.с. в данном случае около 1%.

3. Измерьте внутреннее сопротивление источника тока \mathcal{E} .

Для этого измерьте силу тока в цепи при нулевом сопротивлении магазина на пределе, который обеспечивает максимальную точность измерения (нажмите одну из кнопок 0,2 – 2000). При этом на индикаторе прибора высвечивается максимальное количество значащих цифр. По формуле (3.9а) определите сопротивление источника тока и амперметра.

Внутреннее сопротивление амперметра рассчитайте по формуле:

$$R_a = \frac{U'_a}{I_{np}}, \quad (3.11a)$$

где U'_a – напряжение на клеммах амперметра при предельном токе I_{np} .

Для прибора РВ7-22А на использованных диапазонах $U'_a \approx 200 \text{ мВ}$ (паспортные данные).

Определите внутреннее сопротивление источника тока как разность соответствующих сопротивлений.

Относительная погрешность измерения внутреннего сопротивления источника в данном случае около 2 %.

Задание 2. Исследование зависимости силы тока и напряжения в цепи от внешнего сопротивления

1. Ручками магазина сопротивлений установите сопротивление полезной нагрузки 500 Ом. Включите питание в цепи.

Произведите измерение силы тока и напряжения. Работайте с теми пределами измерений, которые дают наибольшее количество значащих цифр. Для этого нажмите соответствующие кнопки приборов. Запишите значения R , I и U в таблицу 3.1а.

Таблица 3.1а.

R , Ом	500	150	100	75	50	25	10	5	0
I , мА									
U , В									
$N_{\text{п}}$, мВт									
η									

2. Уменьшая сопротивление магазина до 0, произведите измерение силы тока и напряжения в цепи. Результаты запишите в таблицу.

3. Постройте график зависимости силы тока $I(R)$ и график зависимости напряжения $U(R)$ от сопротивления полезной нагрузки. Значения при $R = 500$ Ом можно не наносить на графики.

4. Сравните полученные зависимости с формулами (3.4а) и (3.5а).

Задание 3. Исследование зависимости полезной мощности и к.п.д. цепи от сопротивления нагрузки

1. Для каждого значения сопротивления R по формуле (3.2а) рассчитайте полезную мощность. Полученные значения запишите в таблицу 3.1.

2. Постройте график зависимости полезной мощности от сопротивления нагрузки $N_{\text{п}}(R)$. Сделайте это в соответствующем масштабе. Значения при $R=500$ Ом на график можно не наносить.

3. Сравните полученную зависимость $N_{\text{п}}(R)$ с формулой (3.6а).

4. Рассчитайте коэффициент полезного действия цепи η по формуле (3.7а) для каждого значения сопротивления R . Используйте значение э.д.с., полученное в первом задании. Результаты запишите в таблицу 3.1а.

5. Постройте зависимость $\eta(R)$ и сравните ее с формулой (3.8а).

6. По графику $\eta(R)$ при $\eta=0,5$ определите суммарное сопротивление источника тока и амперметра. Сравните полученное значение со значением этого сопротивления, определенного в первом задании.

5. Сделайте выводы, напишите заключение к работе.

3.5. Контрольные вопросы

1. Как меняется сила тока в цепи при увеличении внешнего сопротивления? Нарисуйте график $I(R)$.

2. Как изменяется напряжение на внешнем участке цепи (нагрузке) при увеличении его сопротивления? Нарисуйте график $U(R)$.

3. Нарисуйте график зависимости полезной мощности цепи от сопротивления нагрузки. Почему эта зависимость немонотонна?

4. При каком сопротивлении нагрузки полезная мощность максимальна? Чему она равна? Каков коэффициент полезного действия цепи при этом?

5. Зависят ли показания амперметра и вольтметра в данной работе от выбора (переключения) предела измерения амперметра, если известно, что сопротивление амперметра при этом меняется?

3.6. Задачи для самостоятельного решения

Гольдфарб Н.И. Сб. вопросов и задач по физике: 20.3; 20.6; 20.12; 21.13; 21.17; 21.19; 21.24.

3.7. Литература

Физика. Учебное пособие для 10 кл. школ и классов с углубленным изучением физики. Ю.Н. Дик, О.Ф. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. - М.: Просвещение, 1993. - 416 с.: ил. - ISBN 5 - 06 - 00401 - 7.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-3в

Изучение замкнутой электрической цепи на переменном токе

3.1в. Цель работы

Целью работы является исследование основных характеристик источника тока и замкнутой цепи.

3.2в. Основные теоретические сведения

Замкнутая цепь состоит из источника тока и подключенной к нему внешней цепи (внешней нагрузки).

Источник тока преобразовывает энергию неэлектрических процессов в электрическую энергию, которая расходуется (потребляется) в цепи. Важнейшими характеристиками источника тока являются электродвижущая сила \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r .

Электродвижущая сила (э.д.с.) представляет собой отношение работы сторонних сил по перемещению заряда в цепи к величине этого заряда.

В генераторах электростанций сторонняя сила - это сила, действующая со стороны магнитного поля на электроны в движущемся проводнике. В гальваническом элементе используется энергия химических связей.

Внутреннее сопротивление в генераторе равно сопротивлению обмоток, а в гальваническом элементе - сопротивлению раствора электролита и электродов. Источники тока с малым внутренним сопротивлением, например, свинцовые аккумуляторы, боятся короткого замыкания из-за большого значения тока короткого замыкания и, соответственно, значительного тепловыделения с последующим разрушением пластин аккумулятора.

Основными характеристиками цепи являются ток в цепи, напряжение на полезной нагрузке, мощность и полезная мощность цепи, коэффициент полезного действия цепи.

Полезной нагрузкой называется элемент цепи, который преобразует электрическую энергию в другую требуемую форму энергии (механическую, тепловую, химическую, световую и т.д.). В простейшем случае, когда в нагрузке не возникает сторонних сил, электрическая энергия превращается в тепловую. Такая нагрузка называется активной или омической.

Мощность замкнутой цепи рассчитывается как произведение силы тока I , проходящего через источник, на э.д.с. источника тока ε

$$N = I \cdot \varepsilon. \quad (3.1в)$$

Полезную мощность цепи рассчитывают как произведение силы тока I_n , проходящего через полезную нагрузку, на соответствующее напряжение U_n

$$N_n = I_n \cdot U_n. \quad (3.2в)$$

Коэффициентом полезного действия замкнутой цепи называют отношение полезной мощности к мощности всей цепи:

$$\eta = N_n / N \quad (3.3в)$$

3.3в. Методика проведения эксперимента

Для измерения основных характеристик замкнутой цепи и источника тока в работе используется вольтметр и амперметр, включенные в схему, изображенную на рисунке 3.1в.

Внешней нагрузкой в цепи источника ε является магазин сопротивлений (МС), а также активные сопротивления вольтметра V и ам

перметра А. Полезной нагрузкой цепи считают только магазин сопротивлений МС.

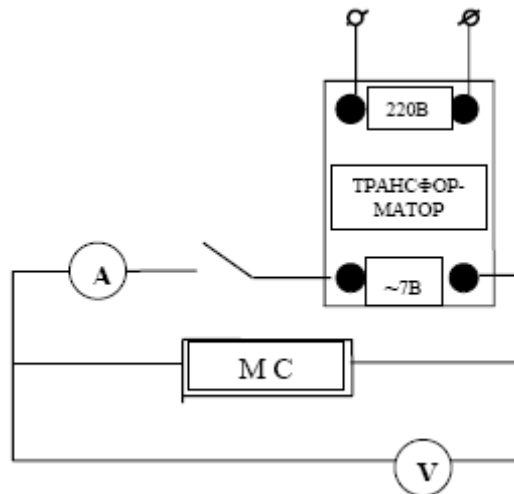


Рис. 3.1в. Схема экспериментальной установки

В данной работе сопротивление вольтметра достаточно велико, по сравнению с сопротивлениями других элементов, поэтому сила тока в цепи согласно закону Ома для замкнутой цепи:

$$I = \varepsilon / (R + R_a + r), \quad (3.4в)$$

где: r – сопротивление источника тока; R_a – сопротивление амперметра;

R – сопротивление магазина сопротивлений

Напряжение на магазине сопротивлений равно:

$$U = \varepsilon \cdot R / (R + R_a + r). \quad (3.5в)$$

Полезная мощность, выделяемая на омической нагрузке R , при этом в соответствии с выражением (3.2в) определяется по формуле:

$$N_{\text{п}} = \varepsilon^2 \cdot R / (R + R_a + r)^2. \quad (3.6в)$$

Максимальная полезная мощность достигается при $R = R_a + r$. В этом можно убедиться, найдя максимум функции $f(R) = R / (R + R_a + r)^2$.

Коэффициент полезного действия замкнутой цепи в данном случае, согласно (3.3в), (3.2в), (3.1в)

$$\eta = U / \varepsilon. \quad (3.7в)$$

или с учетом (3.5в):

$$\eta = R / (R + R_a + r) \quad (3.8в)$$

При $R=R_a+r$ коэффициент полезного действия цепи равен 0,5. Следовательно, по зависимости $f(R)$ при $\eta = 0,5$ можно найти суммарное сопротивление источника тока и амперметра.

Другой способ следует из закона Ома (3.4в). При $R = 0$ (режим короткого замыкания, когда электрический ток в замкнутой цепи достигает своего максимального значения I_{max} .)

$$R_a + r = \varepsilon / I_{max} \quad (3.9в)$$

Э.д.с. источника тока можно измерить вольтметром. Для нашей схемы, если $R_V \gg R$, $R \gg r \gg R_a$, то:

$$U = \varepsilon \quad (3.10в)$$

В работе используются: универсальный цифровой вольтметр РВ7 - 22А (2 шт.), *источник переменного тока*, магазин сопротивлений, ключ, соединительные провода.

3.4. Порядок выполнения работы и обработки результатов эксперимента

Подготовьте протокол эксперимента, в котором должны быть приведены электрическая схема, основные формулы и таблица для записи результатов измерений.

Задание 1. Определение основных характеристик источника тока

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 3.1в.

В данной работе используется *источник переменного тока*, изготовленный на базе понижающего напряжение трансформатора 220 В/ 7 В. В качестве амперметра используйте прибор РВ7-22А в режиме измерения переменного тока на пределах 20 - 2000 мА (нажать одновременно кнопки "mA" и "~" а затем нажать кнопку диапазона "2000"). Сначала выполните сборку части схемы, не содержащей вольтметр.

В качестве вольтметра возьмите другой прибор РВ7 - 22А (нажмите у него кнопки "~" "V" и "20"). Вольтметр подсоедините к входной и выходной клеммам магазина сопротивлений.

Проверьте схему с преподавателем или инженером лаборатории.

2. Измерьте э.д.с. источника переменного тока вольтметром.

Для этого ручками магазина сопротивлений установите большое сопротивление полезной нагрузки, например, $R = 3000 \text{ Ом}$. У амперметра выберите предел 20 мА (не менее), нажав кнопку "20". С помощью ключа замкните цепь. Значение измеренного напряжения запишите в протокол.

Внутреннее сопротивление амперметра на выбранных пределах мало. Внутреннее сопротивление вольтметра не менее 10 МОм. Относительная погрешность измерения э.д.с. в данном случае около 1%.

3. Измерьте внутреннее сопротивление источника тока г.

Для этого измерьте силу тока в цепи при нулевом сопротивлении магазина на пределе 2000. При этом на индикаторе прибора высвечивается максимальное количество значащих цифр. По формуле (3.9в) определите сопротивление источника тока и амперметра.

Внутреннее сопротивление амперметра рассчитайте из выражения:

$$R_a = U'_a / I_{пр}. \quad (3.11в)$$

Где: U'_a - напряжение на клеммах амперметра при предельном токе, соответствующему каждому диапазону $I_{пр}$

Для прибора РВ7-22А величина U'_a равна (согласно паспортным данным)

$U'_a = 200 \text{ мВ}$ для $I_{пр} = 200 \text{ мА}$ и $U'_a = 500 \text{ мВ}$ для предельного тока

$$I_{пр} = 2000 \text{ мА}$$

Используя формулу (3.9в), определите внутреннее сопротивление источника тока г как разность соответствующих сопротивлений.

Относительная погрешность измерения внутреннего сопротивления источника в данном случае около 2 %.

Задание 2. Исследование зависимости силы тока и напряжения в цепи от внешнего сопротивления

1. Ручками магазина сопротивлений установите сопротивление полезной нагрузки 100 Ом. Включите питание в цепи.

Произведите измерение силы тока и напряжения. Работайте с теми пределами измерений, которые дают наибольшее количество значащих цифр. Для этого нажмите соответствующие кнопки приборов. Запишите значения R , I и U в таблицу 3.1в.

Таблица 3.1в.

$R, \text{Ом}$	100	50	20	10	6	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0
$I, \text{мА}$															
$U, \text{В}$															
$N, \text{Вт}$															
η															

2. Уменьшая сопротивление магазина до 0, произведите измерение силы тока и напряжения в цепи. Результаты запишите в таблицу.

3. Постройте график зависимости силы тока $I(R)$ и график зависимости напряжения $U(R)$ от сопротивления полезной нагрузки.

4. Сравните полученные зависимости с формулами (3.4в) и (3.5в).

Задание 3 Исследование зависимости полезной, мощности и к.п.д. цепи от сопротивления нагрузки R

1. Для каждого значения сопротивления R по формуле (3.2в) рассчитайте полезную мощность. Полученные значения запишите в таблицу 3.1в

2. Постройте график зависимости полезной мощности от сопротивления нагрузки $N_p(R)$. Сделайте это в соответствующем масштабе.

Сравните полученную зависимость $N_p(R)$ с формулой (3.6в).

3. Рассчитайте коэффициент полезного действия цепи η по формуле (3.7в) для каждого значения сопротивления R . Используйте значение э.д.с, полученное в первом задании. Результаты запишите в таблицу 3.1в.

4. Постройте зависимость $\eta(R)$ и сравните ее с формулой (3.8в). По графику $\eta(R)$ при $\eta = 0,5$ определите суммарное сопротивление источника тока и амперметра. Сравните полученное значение со значением этого сопротивления, определенного в первом задании.

5, Сделайте выводы, напишите заключение к работе.

3.5 Контрольные вопросы

1. Как меняется сила тока в цепи при увеличении внешнего сопротивления? Нарисуйте график $I(R)$.
2. Как изменяется напряжение на внешнем участке цепи (нагрузке) при увеличении его сопротивления? Нарисуйте график $U(R)$.
3. Нарисуйте график зависимости полезной мощности цепи от сопротивления нагрузки. Почему эта зависимость немонотонна?
4. При каком сопротивлении нагрузки полезная мощность максимальна? Чему она равна? Каков коэффициент полезного действия цепи при этом?
5. Зависят ли показания амперметра и вольтметра в данной работе от выбора (переключения) предела измерения амперметра, если известно, что сопротивление амперметра при этом меняется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-4

Повышение предела измерений вольтметра

4.1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с работой многопредельного вольтметра и повышение предела измерения однопредельного вольтметра.

4.2. Основные теоретические сведения

Вольтметр - прибор, измеряющий напряжение. Для измерения напряжения на участке цепи вольтметр подключают к этому участку параллельно. Чтобы вольтметр не вносил заметных искажений в величину измеряемого напряжения, его внутренне сопротивление R_v должно быть достаточно большим по сравнению с сопротивлением данного участка цепи.

Каждый вольтметр рассчитан на определенное предельное напряжение $U_{пр}$. Некоторые приборы рассчитаны на несколько различных пределов. Такие вольтметры называются многопредельными.

На практике нередко возникает необходимость измерять напряжение U , превышающее предел, на который рассчитан прибор. Если нет возможности подобрать вольтметр с нужным пределом, подобная задача решается повышением предела измерений вольтметра.

Изучим принцип повышения предела измерений вольтметра. Если в цепь последовательно с вольтметром включить добавочное сопротивление R_d соответствующей величины (рис. 4.1), то вольтметр будет

измерять напряжение в пределе, превышающий тот, на который он был рассчитан.

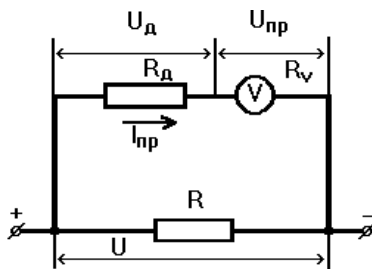


Рис. 4.1. К расчету дополнительного сопротивления

Величина добавочного сопротивления R_d рассчитывается следующим образом. Пусть необходимо увеличить предел измерений вольтметра в n раз,

$$n = \frac{U}{U_{np}}. \quad (4.1)$$

Из закона Ома и второго правила Кирхгофа следует

$$I_{np} = \frac{U_d}{R_d} = \frac{U_{np}}{R_v}, \quad (4.2)$$

$$U = U_d + U_{np},$$

где I_{np} - предельная сила тока вольтметра. Из этих трех уравнений получается

$$R_d = (n - 1)R_v. \quad (4.3)$$

4.3. Методика выполнения работы

Ознакомление с работой многопредельного вольтметра V_k проводится с помощью электрической цепи, схема которой изображена на рис. 4.2. Для регулировки измеряемого напряжения используется реостат R (потенциометрическое включение).

При измерении некоторого напряжения, например, 3 В, погрешность измерений ΔU будет различной в зависимости от выбранного предела измерения напряжения. Действительно, напряжение, измеряемое вольтметром, определяется по формуле

$$U = U_0 \cdot N, \quad (4.4)$$

где U_0 - цена деления вольтметра, на данном диапазоне, В/дел;

N - число делений, на которое отклонилась стрелка вольтметра.

$$U_0 = \frac{U_{np}}{N_{max}}, \quad (4.5)$$

где U_{np} - используемый предел измерений, В;
 N_{max} - максимальное число делений прибора.

Погрешность измерений в данном случае равна приборной погрешности, которая возрастает с ростом предела диапазона

$$\Delta U = \gamma \cdot U_{np} / 100, \quad (4.6)$$

где γ - класс точности прибора, U_{np} - предел измерений прибора на данном диапазоне.

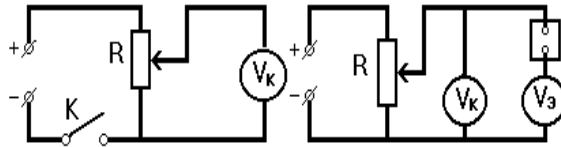


Рис. 4.2

Рис. 4.3

На рис. 4.3 приведена схема цепи, позволяющая изучить основные параметры однопредельного вольтметра V_3 , снабженного добавочным сопротивлением R_d . В качестве добавочного сопротивления используется магазин сопротивлений МС, многопредельный вольтметр V_k предназначен для точного измерения напряжения на включенной части реостата.

Необходимое добавочное сопротивление R_d рассчитывается при заданном n по формуле (4.4). Цена деления вольтметра, снабженного добавочным сопротивлением,

$$U_{03} = \frac{U_{np}^*}{N_{max}}, \quad (4.7)$$

где U_{np}^* - новый предел измерений вольтметра V_3 ;
 N_{max} - число делений его шкалы.

Для удобства работы с вольтметром, снабженным добавочным сопротивлением, строят градуированный график - зависимость измеряемого напряжения от числа делений $U=f(N)$.

В работе используются: многопредельный зеркальный вольтметр типа М2004, предназначенный для точных измерений - V_k ; однопредельный зеркальный вольтметр типа ЛМ-1, предел измерения которого - 3 В следует повысить, - V_3 ; магазин сопротивлений - МС, универсальный источник питания "Электроника", реостат ползунковый с роликовыми контактами РШ-100 Ом, комплект соединительных проводов.

4.4. Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

Задание 1. Измерение напряжения с помощью многопредельного вольтметра

1. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.2, в которой V_k - многопредельный вольтметр. Установите предел измерений 3 В.

Примечание. Источником тока в работе является выпрямитель “Электроника”. В качестве выходных клемм используйте крайние левые клеммы “+,-”, стабилизированное. Регулировать напряжение следует крайней левой ручкой “рег. напр.”. “Электроника” снабжена собственным вольтметром, позволяющим контролировать выходное напряжение от 0 до 15 В.

2. При полностью выведенном потенциометре (ползунок реостата стоит в крайнем левом, а на рис. 4.2 - нижнем положении) подайте в цепь напряжение около 3 В. Для этого крайнюю левую ручку выпрямителя “Электроника” “рег. напр.” поворачивайте медленно по часовой стрелке до тех пор, пока на вольтметре не установится напряжение примерно 3 В.

3. Подвиньте ползунок реостата в крайнее правое (верхнее на рис. 4.2) положение, при этом стрелка вольтметра V_k , включенного в электрическую цепь, отклонится на всю шкалу. Заполните первую колонку таблицы 4.1, используя формулы (4.5), (4.6), (4.7). Класс точности прибора прочитайте на его лицевой части.

4. Не меняя положения ползунка реостата и не меняя значения напряжения, подаваемого от источника тока, произведите последовательное переключение пределов измерений вольтметра: 7,5 В, 30 В, 75 В. Проведите соответствующие измерения и расчеты. Заполните таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

Предел измерений вольтметра, В	3	7,5	30	75
Цена деления шкалы $U_{ок}$, В/дел				
Абсолютная погрешность прибора ΔU , В				
Показания прибора в делениях N , дел				
Показания вольтметра $(U \pm \Delta U)$, В				

5. Проанализируйте полученные результаты. Убедитесь в том, что на любом пределе измерений вольтметра измеряемое напряжение одно

и то же (в нашем случае примерно 3 В), однако погрешность измерений тем больше, чем больше предел измерений прибора по сравнению с измеряемым напряжением. Вывод запишите в протокол эксперимента.

Задание 2. Повышение предела измерений вольтметра

1. Выберите число n , показывающее во сколько раз необходимо изменить предел измерений прибора V_3 , например, $n = 2$. В этом случае новый предел измерений прибора V_3 будет равен 6 В.

2. Рассчитайте по формуле (4.3) величину добавочного сопротивления. Сопротивление вольтметра V_3 равно 1000 Ом.

3. Для нового предела измерений по формуле (4.5) рассчитайте цену деления прибора. Результаты запишите в протокол.

4. Соберите схему рис. 4.3. Ручками магазина сопротивлений установите рассчитанное значение добавочного сопротивления R_d . На контрольном приборе V_k установите предел измерений 7,5 В. Полностью выведите потенциометр (крайнее левое положение ползунка реостата).

5. Ручкой “рег. напр.” источника тока подайте в цепь напряжение 6 В, контролируя его по вольтметру источника.

6. Перемещая ползунок реостата по всей длине вправо, снимите 5 - 6 показаний приборов V_k и V_3 в делениях шкалы. Данные измерений запишите в таблицу 4.2.

7. Рассчитайте цену деления $U_{ок}$ вольтметра V_k на диапазоне 7,5 В по формуле (4.3) и цену деления $U_{о3}$ вольтметра V_3 по формуле (4.5). Рассчитайте показания приборов V_k и V_3 по формуле (4.2) в вольтах. Заполните таблицу 4.2

Таблица 4.2

$U_{ок} =$	N_k , дел							
	U_k , В							
$U_{о3} =$	N_3 , дел							
	U_3 , В							

8. По данным таблицы 4.2 постройте градуировочный график вольтметра, снабженного добавочным сопротивлением $U_k=f(N_o)$. Напишите заключение к работе.

4.5. Контрольные вопросы

1. Как включают вольтметр в цепь?
2. Что такое относительная и абсолютная погрешность измерительного прибора, например, вольтметра? Как они определяются?
3. Как зависит погрешность измерения вольтметром от выбранного предела измерений?
4. Как повысить предел измерений вольтметра?

4.6. Задачи для самостоятельного решения

Гольдфарб Н.И. Сб. вопросов и задач по физике: 19.22, 19.26, 19.27, 19.28, 19.40.

4.7. Литература

1. Физика. Учебное пособие для 10 кл. школ и классов с углубленным изучением физики. Ю.Н. Дик, О.Ф. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. М. - Просвещение, 1993.- 416 с. ил. - ISBN 5-09-004011-7.

2. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учебное пособие - 6-е изд. стер. -М-: Высшая школа, 1993 - 352 с, ил. - ISBN 5 - 05 - 002686 – 8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-5

Повышение предела измерений амперметра

5.1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с работой многопредельного амперметра и повышение предела измерений однопредельного амперметра.

5.2. Основные теоретические сведения

Амперметр - прибор, измеряющий силу тока. Его включают в разрыв электрической цепи, последовательно с элементами, ток через которые измеряется. Поэтому, чтобы амперметр как можно меньше искажал истинное значение тока, его сопротивление делают малым по сравнению с сопротивлением цепи.

Каждый амперметр рассчитан на определенный предельный ток $I_{пр}$. Для измерения силы тока больше предельного, т.е. для повышения предела измерений амперметра, параллельно ему подключают резистор, называемый шунтом.

Некоторые приборы рассчитаны на несколько разных пределов. Такие амперметры называются многопредельными. В них наборы шунтов встроены непосредственно в корпуса приборов.

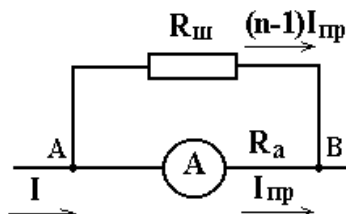


Рис. 5.1. Принципиальная схема шунтирования амперметра

Изучим принцип шунтирования амперметра - повышения предела его измерений (см. рис. 5.1). Пусть необходимо увеличить диапазон измерений амперметра в n раз. Ток, протекающий через амперметр, не должен превышать значения $I_{пр}$. В таком случае через шунт $R_{ш}$ должен протекать ток $(n-1)I_{пр}$. Обозначим напряжение между точками A и B через U . Согласно закону Ома

$$U = I_{пр}R_a = (n-1)I_{пр}R_{ш}, \quad (5.1)$$

откуда

$$R_{ш} = R_a / (n-1). \quad (5.2)$$

Здесь R_a - внутреннее сопротивление амперметра.

5.3. Методика выполнения работы

В работе используется многопредельный амперметр с зеркальной шкалой, используемый для точных измерений тока.

Схема включения амперметра (A_k) изображена на рис.5.2. Для регулирования силы тока в цепи используется магазин сопротивлений (МС).

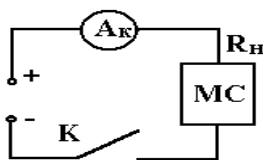


Рис.5.2 .Схема включения амперметра

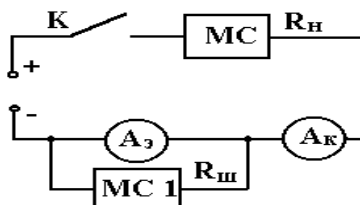


Рис. 5.3.Схема установки

Сила тока, измеренная амперметром, определяется по формуле

$$I = i_0 N, \quad (5.3)$$

где i_0 - цена деления шкалы прибора;

N - число делений, на которое отклонилась стрелка амперметра.

$$i_0 = \frac{I_{np}}{N_{max}}, \quad (5.4)$$

где I_{np} - используемый предел измерений, мА;

N_{max} - число делений шкалы прибора.

В данном случае погрешность измерения равна приборной погрешности

$$\Delta I = \Delta I_{приб}, \quad (5.5)$$

которая возрастает с ростом предела измерений,

$$\Delta I_{приб} = \frac{\gamma I_{приб}}{100} \quad (5.6)$$

где γ - класс точности прибора.

На рис. 5.3 изображена схема, позволяющая изучить основные параметры зашунтированного однопредельного амперметра A_3 . В

качестве шунта используется магазин сопротивлений МС1, многопредельный амперметр A_k предназначен для точного измерения силы тока в цепи.

Сопротивление шунта рассчитывается по формуле (5.2). Цена деления зашунтированного прибора определяется по формуле

$$i_{оэ} = \frac{I_{np}^*}{N_{max}}, \quad (5.7)$$

где I_{np}^* - новый предел измерений амперметра A_3 ;

N_{max} - число делений всей его шкалы.

Часто для удобства работы с зашунтированным амперметром строят градуировочный график - зависимость силы тока, измеряемой амперметром, от числа делений $I=f(N)$.

В работе используются: многопредельный миллиамперметр типа М2018 (A_k), однопредельный миллиамперметр типа ЛМ-1 (A_3), два магазина сопротивлений (МС), универсальный источник питания «Электроника», комплект соединительных проводов.

5.4. Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

Дома подготовьте протокол эксперимента, в котором должны быть приведены: принципиальная схема измерений, основные формулы, таблицы для результатов измерений.

Задание 1. Измерение силы тока в электрической цепи с помощью многопредельного амперметра

1. Соберите схему согласно рис. 5.2. Установите на амперметре предел измерений $7,5 \cdot 1$ мА. На магазине сопротивлений установите сопротивление нагрузки $R_n = 1000$ Ом.

2. С разрешения преподавателя подключите схему к источнику тока «Электроника». В качестве выходных клемм используйте крайние левые клеммы «+, -» «стабилизированное». Крайней левой ручкой «рег. напр.» на передней панели источника питания подайте в схему такой ток, чтобы стрелка амперметра отклонилась на 100 делений шкалы прибора. Используя формулы (5.3-5.6), заполните первую колонку таблицы 5.1.

3. Не изменяя параметров схемы и величины измеряемого тока, последовательно переключите пределы амперметра: $7,5 \cdot 2$ мА, $7,5 \cdot 4$ мА и 75 мА. Заполните таблицу 5.1.

4. Проанализируйте полученные результаты. Убедитесь в том, что на любом пределе амперметра измеряемый ток один и тот же, однако погрешность измерений тем больше, чем больше предел измерений амперметра. Выводы запишите в протокол.

Таблица 5.1.

Предел измерений амперметра A_k , мА	7,5	15	30	75
Цена деления шкалы $i_{ок}$, мА/дел.				
Абсолютная погрешность прибора ΔI , мА				
Показания прибора в делениях N , дел.				
Показания амперметра $(I \pm \Delta I)$, мА				

Задание 2. Повышение предела измерений амперметра

1. Произведите расчет шунта к амперметру. Выберите число n , например, $n=2$, показывающее во сколько раз следует изменить предел измерений прибора A_3 . По формуле (5.2) определите сопротивление соответствующего шунта $R_{ш}$, внутреннее сопротивление амперметра ЛМ-1 $R_a=35 \text{ Ом}$.

2. Рассчитайте для нового предела измерений цену деления шкалы прибора A_3 по формуле (5.7). Расчеты запишите в протокол эксперимента.

3. Соберите схему рис. 5.3. Ручками магазина сопротивлений МС, включенного в цепь в качестве сопротивления нагрузки R_n , установите значение $R_n=1 \text{ кОм}$. На магазине сопротивлений МС1, включенном в цепь в качестве шунта, установите значение сопротивления $R_{ш}$, полученное в результате расчета по п.1. задания 2. На контрольном амперметре установите первый предел измерений $7,5 \cdot 1 \text{ мА}$.

4. С разрешения преподавателя замкните цепь и ручкой «рег. напр.» на передней панели источника питания подайте в схему 6-7В. Подаваемое напряжение контролируйте по вольтметру источника питания. При этом стрелка прибора A_3 должна отклониться практиче

ски на всю шкалу. Заполните первую и третью колонки таблицы 5.2, используя формулу (5.3) и соответствующие величины N_k и $i_{ок}$, N_3 и $i_{о3}$. Последняя величина рассчитана в п.2 данного задания.

5. Постепенно увеличивая нагрузку R_n (ручками магазина МС) так, чтобы измеряемый ток в цепи с 6-7мА уменьшился бы примерно до 1мА, снимите 5-6 показаний приборов A_k и A_3 . Заполните остальные столбцы таблицы 5.2.

Таблица 5.2.

$i_{ок} =$	N_k , дел. I_k , мА						
$i_{о3} =$	N_3 , дел. I_3 , мА						

6. По данным таблицы 5.2 постройте градуировочный график зашунтированного прибора $I_k = f(N_3)$.

7. Сравните расчетные значения силы тока I_3 с экспериментально определенными I_k .

8. Напишите заключение к работе.

5.5. Контрольные вопросы

1. Как включается амперметр в цепь для измерения силы тока?
2. Почему сопротивление амперметра должно быть значительно меньше активного сопротивления цепи?
3. Как рассчитать величину сопротивления шунта к амперметру, чтобы повысить его предел измерений на заданную величину?
4. Как зависит относительная погрешность измерения тока на многопредельном амперметре от выбранного предела измерений?

5.6. Задачи для самостоятельного решения

1. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике: 19.24, 19.27, 19.29.
2. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б. и др. Задачи по физике для поступающих в ВУЗы: №№729-735.

5.7. Литература

1. Физика. Учебное пособие для 10 классов школ и классов с углубленным изучением физики. Ю. И. Дик, О. О. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. М.: Просвещение, 1993.- 416 с. ил.- ISBN 5-09-004011-7.

2. Бендриков Г.А., Буховцев Б. Б. и др. Задачи по физике для поступающих в ВУЗы. Учебное пособие для подготовительных отделений ВУЗов, -7-е изд. М.: Физматлит. 1995- 416 с. ил. -ISBN 5-02-014613-7.

3. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учебное пособие. - 6-е изд. стер. -М-: Высшая школа, 1993 - 352 с, ил. - ISBN 5 - 05 - 002686 - 8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-6

Измерение электроемкости конденсатора и диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика

6.1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с методами измерения электроемкости конденсатора и диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика.

6.2. Основные теоретические сведения

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого, как правило, мала по сравнению с размерами проводника. Эти проводники называются обкладками конденсатора.

Если обкладки конденсатора зарядить противоположными по знаку и равными по модулю зарядами, то возникает электрическое поле, сосредоточенное в объеме диэлектрика. Абсолютное значение (модуль) заряда на каждой обкладке называют зарядом конденсатора Q .

Разность потенциалов между обкладками (напряжение) зависит от заряда на обкладке. Из принципа суперпозиции следует, что напряжение U пропорционально электрическому заряду конденсатора Q .

Электрической емкостью (электроемкостью) конденсатора C называют отношение заряда Q к модулю разности потенциалов (напряжению) между обкладками U

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (6.1)$$

Электроемкость конденсатора C пропорциональна диэлектрической проницаемости диэлектрика ϵ

$$C = \epsilon C_0, \quad (6.2)$$

где C_0 - емкость конденсатора, диэлектриком которого является вакуум.

6.3. Методика выполнения работы

В данной работе измерение электроемкости и диэлектрической проницаемости диэлектрика проводится на переменном токе низкой частоты. При этом измеряемые величины практически не зависят от частоты. Метод измерения основан на свойстве последовательного соединения конденсаторов.

При последовательном соединении двух конденсаторов, заряды на каждом из них одинаковы, что следует из электронейтральности участка цепи, выделенного на рисунке 6.1. пунктирной линией: $-Q_1 + Q_2 = 0$.

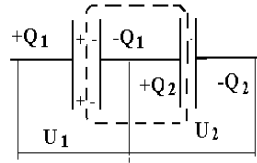


Рис. 6.1. К расчету емкости батареи конденсаторов

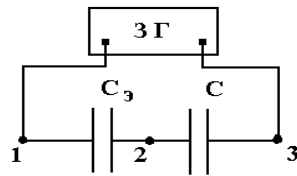


Рис. 6.2. Принципиальная схема установки

Напряжение на каждом из конденсаторов U_1 и U_2 , как следует из (6.1), обратно пропорционально электроемкостям

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1}{C_2}. \quad (6.3)$$

Из этого соотношения можно определить емкость одного из конденсаторов, если известна емкость другого (эталонного) конденсатора и измерены напряжения на них

$$C = C_2 \frac{U_1}{U_2}. \quad (6.4)$$

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 6.2. Пустой конденсатор-кювета неизвестной емкости C и эталонный конденсатор C_2 последовательно подключены к звуковому генератору ЗГ. Напряжения на конденсаторах U_1 и U_2 измеряются с помощью вольтметра.

Для измерения диэлектрической проницаемости в цепь вместо пустого конденсатора-кюветы подключается такой же конденсатор-кювета, заполненный маслом с неизвестной диэлектрической проницаемостью ε . Емкость заполненного маслом конденсатора в ε раз больше, чем пустого. Измеряя новые напряжения на конденсаторах U_1^* и U_2^* , при том же общем напряжении, что и ранее ($U_1^* + U_2^* = U_1 + U_2$), можно определить диэлектрическую проницаемость масла по формуле

$$\varepsilon = \frac{U_1^*}{U_2^*} \cdot \frac{U_2}{U_1}, \quad (6.5)$$

где U_1 и U_2 напряжения на эталонном и пустом конденсаторе-кювете, соответственно, измеренные ранее.

Приборы и принадлежности: конденсатор-кювета, конденсатор-кювета с маслом, эталонный конденсатор с электроемкостью $C_2=270$ пФ, звуковой генератор ГЗ-118, вольтметр типа РВ7-22А, соединительные провода.

6.4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение электроемкости конденсатора-кюветы

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 6.2.
2. Включите звуковой генератор на частоту 20 кГц и подайте с него на конденсаторы напряжение 8-10 В.
3. Измерьте прибором РВ7-22А напряжения на конденсаторах U_1 и U_2 (разность потенциалов между точками 1,2 и 2,3). Повторите измерения еще дважды и занесите результаты в таблицу 6.1.

4. Вычислите емкость C по формуле (6.4), а также среднее значение $\langle C \rangle$ и погрешность ΔC по методике, изложенной в разделе “Введение” сборника лабораторных работ “Механика”.

5. Вычислите относительную и абсолютную погрешности измерений по формулам

$$E_C = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_3}{C_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_2}{U_2}\right)^2}, \quad \Delta C = C \cdot E_C,$$

учитывая, что приборные погрешности $\Delta C_3/C_3=0,05$, $\Delta U/U=0,005$.

Таблица 6.1.

№	U_1 , В	U_2 , В	C , пФ	$\langle C \rangle$, пФ	ΔC , пФ
1					
2					
3					

6. Сравните абсолютные погрешности, полученные разными способами (пункты 4 и 5). Выбрав наибольшую из них, запишите окончательный результат измерений C .

Задание 2. Определение диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика (масла)

1. Замените в схеме рис. 6.2. конденсатор-кювету на такой же, заполненный маслом. Вольтметром измерьте новые разности потенциалов между точками 1,2 и между точками 2,3. Заполните таблицу 6.2.

Таблица 6.2.

№	U_1^* , В	U_2^* , В	ε	$\langle \varepsilon \rangle$	$\Delta \varepsilon$
1					
2					
3					

2. Вычислите диэлектрическую проницаемость масла по формуле (6.5). Вычислите относительную и абсолютную погрешности измерения диэлектрической проницаемости по формулам

$$E_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_1^*}{U_1^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_2}{U_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_2^*}{U_2^*}\right)^2}, \quad \Delta \varepsilon = \varepsilon \cdot E_\varepsilon.$$

Относительные погрешности измерения напряжений рассчитываются также, как и в пункте 5 задания 1.

3. Сравните абсолютные погрешности, полученные разными способами. Выберите наибольшую из них, запишите окончательный результат измерения ϵ .

4. Напишите заключение к работе.

6.5. Контрольные вопросы

1. Что такое емкость конденсатора?
2. Зависит ли емкость конденсатора от его заряда?
3. Как зависит емкость плоского конденсатора от диэлектрической проницаемости среды, заполняющей пространство между обкладками?

6.6. Задачи для самостоятельного решения

1. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике: 17.13, 17.16, 17.17, 17.18, 17.20, 17.34, 17.38.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э-7

Определение емкости конденсатора

7.1. Цель работы

Целью работы является определение емкости конденсаторов, соединенных последовательно и параллельно.

7.2. Основные теоретические сведения

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводника. Эти проводники называются обкладками конденсатора.

Если обкладки конденсатора зарядить противоположными по знаку и равными по модулю зарядами, то возникает электрическое поле, сосредоточенное в основном в объеме диэлектрика. Абсолютное значение (модуль) заряда на каждой обкладке называют зарядом конденсатора Q . Из принципа суперпозиции следует, что разность потенциалов между обкладками (напряжение) U пропорционально электрическому заряду конденсатора Q .

Электрической емкостью (электроемкостью) конденсатора C называют отношение заряда Q к модулю разности потенциалов (напряжению) между обкладками U

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (7.1)$$

В зависимости от назначения конденсаторы имеют различное устройство. Бумажный, например, конденсатор состоит из двух полосок металлической фольги, изолированных друг от друга и от металлического корпуса бумажными лентами, пропитанными парафином. Полоски и ленты туго свернуты в пакет небольшого размера и заключены в цилиндрический или прямоугольный корпус с подпаянными к нему выводами для подключения конденсаторов в электрические схемы. На корпусе конденсатора указаны тип (марка) конденсатора, его емкость (в микрофарадах - «мкФ» или пикофарадах - «пФ»), точность указанной на нем емкости и предельное напряжение. При подаче на конденсатор напряжения, больше указанного, происходит пробой диэлектрика и конденсатор выходит из строя.

При параллельном соединении N конденсаторов их емкости складываются

$$C = \sum_{i=1}^N C_i. \quad (7.2)$$

При последовательном соединении конденсаторов сумма величин, обратных емкостям отдельных конденсаторов, равна обратной величине емкости батареи конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}. \quad (7.3)$$

7.3. Методика выполнения работы

Постоянный ток через конденсатор не проходит, а переменный проходит. Этот ток связан с зарядкой и разрядкой конденсатора. Сила переменного тока, как Вы узнаете чуть позже, прямо пропорциональна емкости конденсатора

$$I = k C. \quad (7.4)$$

Здесь коэффициент k зависит от напряжения и частоты переменного тока. На этой линейной зависимости основано измерение емкости конденсаторов в данной работе.

Принципиальная схема измерительной установки приведена на рисунке 7.1. Последовательно с источником переменного напряжения

включены конденсатор (или батарея конденсаторов) и миллиамперметр. Миллиамперметром измеряется величина переменного тока, прошедшего через конденсатор. Сначала используются конденсаторы с известной емкостью и строится график зависимости силы тока I от емкости C .

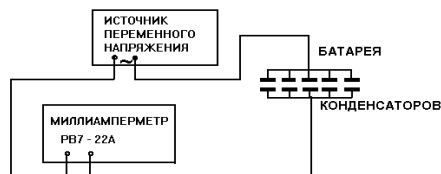


Рис. 7.1. Принципиальная схема установки

По полученной зависимости $I(C)$ может быть определена неизвестная емкость конденсатора, включенного в схему вместо батареи известных конденсаторов, если, конечно, не меняются параметры источника питания (напряжение и частота переменного тока).

Приборы и принадлежности: в работе используются: две батареи конденсаторов с емкостями от 0,5 до 20 мкФ каждая, блок питания, конденсатор неизвестной емкости, миллиамперметр типа РВ7-22А, соединительные провода.

7.4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Знакомство с электрическими конденсаторами.

Рассмотрите панель с конденсаторами различных марок. Прочитайте значения емкостей и допустимых напряжений, указанных на корпусах конденсаторов.

Задание 2. Построение графика зависимости тока от емкости.

1. Соберите схему на рис. 7.1. К источнику питания последовательно с помощью соединительных проводов подключите миллиамперметр и батарею конденсаторов. Напряжение с блока питания возьмите переменное нестабилизированное равное 6,3 В.

2. Включите на батарее конденсаторов одну за другой емкости 1, 2, 5 и 10 мкФ и измерьте текущие при этом в схеме токи с помощью универсального прибора РВ7-22А, поставив его в режим измерения переменного тока. Используйте пределы измерения, обеспечивающие наибольшую точность измерений (наибольшее число значащих цифр).

Следите за надежностью контактов, так как плохие контакты приводят к появлению паразитных емкостей, искажающих результаты измерений.

Результаты измерений занесите в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

№	1	2	3	4	5	6
C, мкФ	1	2	3,5	5	7	10
I, мА						
k=I/C						

3. Замените батарею конденсаторов на другую. Включите одну за другой емкости 3,5 и 7 мкФ. Эти емкости (0,5+1+2 мкФ, 2+5 мкФ) набирайте так, чтобы емкости 2 мкФ относились к разным конденсаторам. Измерьте токи. Результаты занесите в таблицу 7.1.

4. Для каждого опыта рассчитайте коэффициент k. Определите среднее арифметическое значение коэффициента. Используя это значение, постройте на миллиметровой бумаге график зависимости I от C. Построенная прямая должна проходить через начало координат. На этом же графике нанесите экспериментальные точки.

5. Оцените абсолютную погрешность определения коэффициента k.

6. Рассчитайте абсолютную погрешность определения коэффициента k по формулам

$$\Delta k = k E_k$$

$$E_k = E_C (n-1)^{-1/2}, \quad (7.5)$$

где $E_C = \Delta C / C = 0,1$ - относительная погрешность номинального значения емкости используемых конденсаторов, $n = 6$ - число опытов. Здесь предполагается, что погрешность измерения тока мала (класс точности прибора РВ7-22А равен 0,5).

7. Сравните абсолютные погрешности, полученные разными способами (пункты 5 и 6). Выбрав наибольшую из них на графике I от C проведите прямые $I = (k \pm \Delta k)C$, определяющие интервал погрешностей измерения неизвестных емкостей по полученной зависимости.

Задание 3. Измерение неизвестной емкости.

1. Подключите в схему рис. 7.1 вместо батареи конденсаторов конденсатор неизвестной емкости C_x (значение емкости на корпусе конденсатора стерто).

2. Включите источник питания и подайте в схему, как и ранее, переменное напряжение, равное 6,3 В. Измерьте ток I_x , также, как и в задании 2.

3. С помощью графика, построенного Вами в задании 2, найдите по величине тока I_X значение неизвестной емкости C_X и ее погрешности ΔC_X .

Задание 4. Измерение емкости последовательно и параллельно соединенных конденсаторов.

1. Подключите в схему на место батареи конденсаторов две параллельно соединенные батареи конденсаторов. Измерьте текущий при этом в схеме ток $I_{ПАР}$. Включите в схему на место батареи два последовательно соединенных конденсатора из одной батареи или двух батарей, соединенных последовательно. Измерьте ток $I_{ПОС}$.

2. По графику, построенному Вами в задании 2, исходя из значений токов $I_{ПАР}$ и $I_{ПОС}$, найдите экспериментальные значения емкостей последовательно и параллельно соединенных конденсаторов и их погрешности: $\langle C \rangle \pm \Delta C_{ПАР}$ и $\langle C \rangle \pm \Delta C_{ПОС}$.

3. Вычислите по формулам (7.2) и (7.3) теоретические значения емкостей при их последовательном и параллельном соединении, используя номинальные значения емкостей используемых конденсаторов. Сравните расчетные значения емкостей с полученными экспериментально.

4. Напишите заключение к работе.

7.5. Контрольные вопросы

1. Что такое емкость конденсатора?
2. Чему равна емкость C двух параллельно соединенных конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 ?
3. Чему равна емкость C трех последовательно соединенных конденсаторов с емкостями C_1 , C_2 и C_3 ?

7.6. Задачи для самостоятельного решения

1. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике: 17.7, 17.9, 17.11, 17.21, 17.23, 17.25, 17.26.

7.7. Литература

1. Физика. Учебное пособие для 10 классов школ и классов с углубленным изучением физики. Ю. И. Дик, О. О. Кабардин и др.; Под редакцией А.А. Пинского. М.: Просвещение, 1993.- 416 с. ил.- ISBN 5-09-004011-7.

2. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учебное пособие. - 6-е изд. стер. -М-: Высшая школа, 1993 - 352 с, ил. - ISBN 5 - 05 - 002686 -

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Лабораторная работа № Э-1. Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра. Изучение схем включения реостата в цепь.....	3
Лабораторная работа № Э-2. Измерение удельного сопротивления проводника.....	10
Лабораторная работа № Э-2а. Различные методы определения сопротивления проводников.....	14
Лабораторная работа № Э-3а. Изучение замкнутой электрической цепи.....	24
Лабораторная работа № Э-3в. Изучение замкнутой электрической цепи на переменном токе.....	30
Лабораторная работа № Э-4. Повышение предела измерений вольтметра.....	36
Лабораторная работа № Э-5. Повышение предела измерений амперметра	42
Лабораторная работа № Э-6. Измерение емкости конденсатора и диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика.....	47
Лабораторная работа № Э-7. Определение емкости конденсатора.....	50