



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Лабораторный практикум

«ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК» № Э5, Э6, Э7

по дисциплине

«Физика»

Авторы

Т.И.Гребенюк, Т.П.Жданова, В.В. Илясов,
А.П.Кудря, В.С.Кунаков, О.А.Лещева,
Г.Ф.Лемешко, И.Г.Попова,
Н.В.Пруцакова, О.М. Холодова

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Практикум содержит краткое описание рабочих установок и методики определения исследуемых величин. Практикум предназначен для студентов дневной и заочной форм обучения всех специальностей, изучающих физику (раздел «Электричество»).

Авторы

к.ф.-м.н., доцент

к.ф.-м.н., доцент

д.т.н., профессор

ст. преподаватель

д.т.н., профессор

доцент

к.ф.-м.н., профессор

ст. преподаватель

к.ф.-м.н., доцент

доцент

Т.И. Гребенюк

Т.П. Жданова

В.В. Илясов

А.П. Кудря

В.С. Кунаков

О.А. Лещева

Г.Ф. Лемешко

И.Г. Попова

Н.В. Пруцакова

О.М. Холодова



Оглавление

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
Лабораторная работа № Э5	8
Лабораторная работа № Э6	14
Лабораторная работа № Э7	23
Рекомендуемая литература	27

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электрический ток – это направленное упорядоченное движение заряженных частиц. В металлах носителями тока являются электроны. За направление тока принимается направление движения положительных частиц.

$$\text{Сила тока: } I = \frac{dq}{dt}; \quad I = \frac{q}{t} \text{ (если } I = \text{const}).$$

$$\text{Плотность тока: } j = \frac{I}{S}, \quad \bar{j} = \langle \vec{v} \rangle$$

где S – площадь поперечного сечения проводника $\langle \vec{v} \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике, n – концентрация зарядов, e – элементарный заряд.

Физическая сущность электрического сопротивления - противодействие, оказываемое материалом проводника движению электронов.

Согласно классическим представлениям, электрическое сопротивление металлов обусловлено соударениями свободных электронов с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки металла.

Зависимость сопротивления от параметров проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника, $\rho = \frac{l}{\gamma}$ – удельное сопротивление, γ – удельная проводимость.

Зависимость удельного сопротивления от температуры для металлических проводников:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C , t – температура проводника.

Сопротивление системы проводников: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях:

$$\text{а) } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad \text{б) } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

где $\frac{I}{R} = G$ - проводимость, n - число проводников.

Разность потенциалов численно равна работе электрических сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{эл.}}{q}.$$

Электродвижущая сила численно равна работе сторонних (неэлектрических) сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{см.}}{q}.$$

Напряжение численно равно работе сторонних и электрических сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$U = \frac{\pm A_{см.} + A_{эл.}}{q},$$

где знак «-» показывает, что сторонние силы направлены против сил электрических.

Таким образом, напряжение: $U = \pm \mathcal{E} + \varphi_1 - \varphi_2$.

В однородном проводнике отсутствуют сторонние силы, т.е. $\mathcal{E} = 0$, поэтому $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Законы Ома:

для однородного участка цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

для неоднородного участка цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{1,2}}{R},$$

для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

в дифференциальной форме:

$\vec{j} = \gamma \vec{E}$, где U - напряжение на однородном участке цепи, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов на концах участка цепи, \mathcal{E} - ЭДС источника, r - внутреннее сопротивление источника тока, \vec{j} - плотность тока, γ - удельная проводимость, \vec{E} - напряжённость поля.

Сила тока короткого замыкания:

$$I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Работа тока за время t :

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

Закон Джоуля-Ленца (количество теплоты, выделяемой при прохождении тока через проводник):

$$Q = I^2Rt.$$

Полезная мощность тока (выделяемая в нагрузке):

$$P_{\text{полезная}} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Полная мощность, выделяемая в цепи:

$$P = \mathcal{E} \cdot I.$$

Мощность, теряемая в источнике:

$$P_{\text{потерь}} = I^2r.$$

Коэффициент полезного действия источника тока:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{полная}}} = \frac{R}{R+r}.$$

Правила Кирхгофа:

$$1) \sum_i I_i = 0 \text{ или } \sum_j I_j = \sum_k I_k \text{ - для узлов,}$$

$$2) \sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k \text{ - для контуров,}$$

где $\sum_i I_i$ – алгебраическая сумма сил токов в узле, $\sum_j I_j$ – сумма сил токов входящих в узел и $\sum_k I_k$ – сумма сил токов выходящих из узла,

$$\sum_k \mathcal{E}_k \text{ – алгебраическая сумма ЭДС в контуре.}$$

Применяя правила Кирхгофа, следует соблюдать следующие указания:

1. Перед составлением уравнений произвольно выбрать:
 - а) направления токов и указать их стрелками на чертеже (хотя бы один ток должен входить в узел и хотя бы один выходить);
 - б) направления обхода контуров (например, по часовой стрелке).

Физика

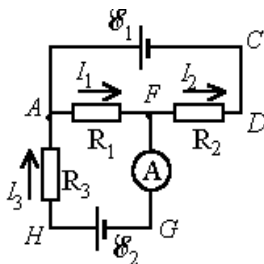
2. При составлении уравнений по первому правилу Кирхгофа считать токи, входящие в узел - положительными, а выходящие - отрицательными.

Число уравнений, составляемых по первому правилу Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

3. При составлении уравнений по второму правилу Кирхгофа надо считать, что:

а) произведение силы тока на сопротивление участка контура $I_k R_k$ входит в уравнение со знаком "плюс", если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае произведение $I_k R_k$ входит в уравнение со знаком "минус",

б) ЭДС входит в уравнение со знаком "плюс", если она повышает потенциал в направлении обхода контура, т.е. если при обходе приходится идти от минуса к плюсу внутри источника тока; в противном случае ЭДС входит в уравнение со знаком "минус". Число уравнений, составленных по второму правилу Кирхгофа должно быть равно числу независимых контуров, имеющих в цепи. Например:



Выберем направления токов, как они показаны на рисунке и условимся обходить контуры по часовой стрелке. По первому правилу Кирхгофа для узла F имеем:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 .$$

По второму правилу Кирхгофа имеем для контура $ACDFA$:

$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 = -\mathcal{E}_1 .$$

Соответственно для контура $AFGHA$ найдем:

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 .$$

Далее, решаем систему уравнений, из которой получаем неизвестные величины по заданным, согласно условию задачи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э5

Определение сопротивлений резисторов с помощью моста Уитстона

Цель работы: определение неизвестных сопротивлений мостовым методом.

Оборудование: источник постоянного тока на 6 В; реохорд (реостат, включённый как потенциометр); магазин эталонных резисторов; измеряемые неизвестные резисторы; индикатор нуля.

Описание экспериментальной установки

В работе используется метод моста Уитстона, схема которого изображена на рисунке 1.

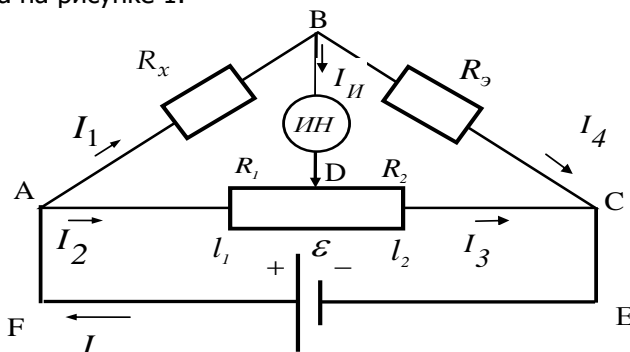


Рисунок 1. Схема моста Уитстона

Схема моста Уитстона состоит из двух параллельных ветвей (ABC и ADC), между которыми переброшен мост (диагональ BD). В плечи моста включены эталонные резисторы R_3 и измеряемые неизвестные R_x . В диагональ, включен индикатор нуля $ИН$ с внутренним сопротивлением $R_{и}$, позволяющий непосредственно измерять электрический ток и судить о сбалансированности моста.

Вывод рабочей формулы.

Вспользуемся правилами Кирхгофа. Согласно первому правилу:

Физика

$$-I_1 - I_3 + I = 0 \quad (\text{узел } A)$$

$$I_1 - I_4 - I_{II} = 0 \quad (\text{узел } B)$$

$$I_{II} + I_2 - I_3 = 0 \quad (\text{узел } D)$$

Применение второго правила Кирхгофа приводит к уравнениям:

$$I_1 R_X + I_{II} R_{II} - I_2 R_1 = 0 \quad (\text{контур } ABDA)$$

$$I_4 R_9 - I_3 R_2 - I_{II} R_{II} = 0 \quad (\text{контур } BCDB)$$

$$I_2 R_1 + I_3 R_2 + I \cdot r = \mathcal{E} \quad (\text{контур } ADCEFA)$$

Измерение неизвестного сопротивления R_X проводят при условии равновесия моста, т.е. ток $I_{II} = 0$. В этом случае потенциалы точек B и D равны между собой, токи $I_1 = I_4$, а $I_2 = I_3$; разности потенциалов $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_A - \varphi_D$ или $I_1 R_X = I_2 R_1$,

$$\text{откуда} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_X} \quad (1)$$

Аналогично $\varphi_B - \varphi_C = \varphi_D - \varphi_C$, или $I_1 R_9 = I_2 R_2$,

$$\text{откуда} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_9} \quad (2)$$

Приравняв уравнение (1) и (2) получим $\frac{R_1}{R_X} = \frac{R_2}{R_9}$ откуда

$$R_X = R_9 \frac{R_1}{R_2}, \text{ с учетом } R = \rho \frac{l}{S} \text{ получим}$$

$$\boxed{R_X = R_9 \frac{l_1}{l - l_1}}, \quad (3)$$

где R_x -сопротивление неизвестного резистора, $R_э$ - сопротивление (эталоны) в виде «магазина сопротивлений», l - длина реохорда, l_1 - длина плеча реохорда.

Выполнение работы

Задание 1. Определение сопротивления резисторов

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис. 1, подсоединив неизвестное сопротивление R_{x1} в плечо AB , а эталонное сопротивление $R_э$ (магазин сопротивлений) – в плечо BC .

2. Установить движок реохорда посередине шкалы.

Таблица 1

$l =$ см					
№	l_1	$R_э$	R_x	ΔR_x	δR_x
[]	см	Ом	Ом	Ом	%
Первое сопротивление R_{x1} :					
1					X
2					
3					
Среднее значение					
Второе сопротивление R_{x2} :					
1					X
2					
3					
Среднее значение					

3. Добиться отсутствия тока через индикатор нуля подбором эталонных сопротивлений на магазине сопротивлений. Значения l , l_1 , $R_э$ занести в табл. 1.

4. Переместить движок реохорда на 1–2 см влево. Повторить пункт 3.

Физика

5. Переместить движок реохорда на 1–2 см вправо. Повторить пункт 3.

6. Вычислить по формуле (3) сопротивление R_{X1} для каждого измерения. Результаты занести в табл. 1.

7. Вычислить средние значения $\langle R \rangle$ по формуле:

$$\langle R \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}.$$

8. Вычислить абсолютные погрешности по формуле:

$$\Delta R_i = |\langle R \rangle - R_i|.$$

9. Вычислить средние значения абсолютной погрешности:

$$\langle \Delta R_{X1} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta R_i}{n}.$$

10. Вычислить относительную погрешность:

$$\delta R_X = \frac{\langle \Delta R_X \rangle}{\langle R_X \rangle}.$$

11. Полученные данные внести в таблицу 1.

12. Окончательный результат представить в виде:

$$R_{X1} = \langle R_{X1} \rangle \pm \langle \Delta R_{X1} \rangle.$$

13. Подсоединить неизвестное сопротивление R_{X2} вместо R_{X1} в плечо AB . Повторить пункты 2–12 для этого сопротивления.

Задание 2. Определение сопротивления при параллельном и последовательном соединении резисторов

1. Включить измеренные резисторы R_{X1} и R_{X2} , соединив **параллельно**, в плечо AB . Повторить пункты 2–11 задания 1. Результаты занести в табл. 2

2. Вычислить сопротивление R_{TEOP} для параллельного соединения, используя средние значения $\langle R_{X1} \rangle$ и $\langle R_{X2} \rangle$

из табл.1, по формуле:

$$R_{ТЕОР} = \frac{\langle R_{X1} \rangle \cdot \langle R_{X2} \rangle}{\langle R_{X1} \rangle + \langle R_{X2} \rangle}.$$

Таблица 2

Параллельное соединение					
$l =$ $см$					
№	l_1	$R_{Э}$	R_X	ΔR_X	δR_X
[]	$см$	$Ом$	$Ом$	$Ом$	%
1					X
2					
3					
Средние значения					
$R_{ТЕОР} =$		$\delta =$			
Последовательное соединение					
1					X
2					
3					
Средние значения					
$R_{ТЕОР} =$		$\delta =$			

3. Оценить относительную погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{|R_{ЭКСП} - R_{ТЕОР}|}{R_{ТЕОР}} \cdot 100\%,$$

где $R_{ЭКСП} = \langle R_X \rangle$ при параллельном соединении из табл. 2.

4. Включить измеренные резисторы R_{X1} и R_{X2} , соединив **последовательно**, в плечо АВ. Повторить пункты 2–11 задания 1. Результаты занести в табл.2.

5. Используя средние значения $\langle R_{X1} \rangle$ и $\langle R_{X2} \rangle$ из табл.1 вычислить сопротивление $R_{ТЕОР}$ для последовательного соединения, по формуле

$$R_{ТЕОР} = \langle R_{X1} \rangle + \langle R_{X2} \rangle.$$

6. Повторить пункт 3 для последовательного соединения резисторов. Результаты занести в табл. 2.

7. По выполненной работе сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется постоянным электрическим током? Какими параметрами он характеризуется?

2. Сформулируйте законы Ома для однородного и неоднородного участка цепи, для полной цепи в интегральной и дифференциальной формах.

4. Сформулируйте основные закономерности для силы тока, напряжения и сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников.

5. В чём заключается метод измерения неизвестного сопротивления с помощью моста Уитстона?

6. В чём заключается физический смысл ЭДС, разности потенциалов и напряжения?

7. Составьте систему уравнений по правилам Кирхгофа.

8. В чём заключается физическая сущность сопротивления по классическим представлениям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э6

Измерение удельного сопротивления проводника методом вольтметра-амперметра

Цель работы: Определить значение удельного сопротивления материала проволоки постоянного сечения с использованием комбинированного метода вольтметра-амперметра.

Оборудование: Заводская установка.

Описание установки

Общий вид рабочей установки представлен на рис. 1. Основными элементами ее являются:

- 1** – неподвижная колонка;
- 2** – миллиметровая шкала, закрепленная на колонке **1**;
- 3** – проволока, сопротивление которой измеряется в данной работе; она закреплена с помощью верхнего и нижнего неподвижных кронштейнов;
- 4** – кронштейн, который может перемещаться вдоль колонки **1**;
- 5** – винт, фиксирующий кронштейн **4** в любом положении.

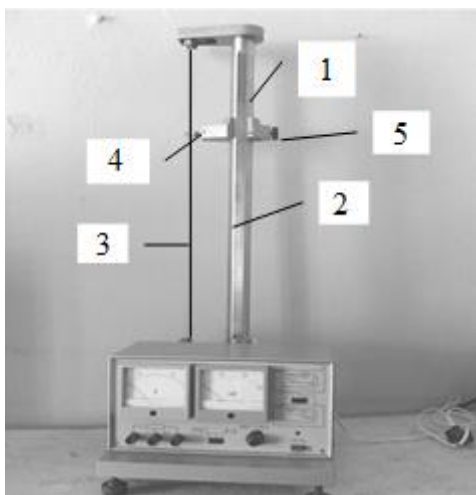


Рисунок 1

Физика

На подвижном кронштейне 4 имеется указатель в виде черты, которая служит для фиксирования необходимой длины проводника. Нижний, верхний и средний (подвижный) контакты проволоки подключены при помощи проводов малого сопротивления к измерительной части прибора, изображенной на рис. 2.

В измерительную часть входят миллиамперметр и вольтметр класса точности 1,5.

Переключатель W1 (рис. 2) служит для включения прибора в сеть. При нажатии W1 начинает светиться индикатор напряжения сети. Переключатель W2 позволяет изменять схему подключения измерительных приборов. Если переключатель W2 отжат, установка работает по методу точного измерения силы тока. Если же W2 утоплен, установка работает по методу измерения напряжения. Переключатель W3 устанавливает режим работы установки: при нажатом W3 включен режим «вольтметра–амперметра», при отжатом W3 включен режим «моста».

В настоящей лабораторной работе переключатель W3 должен быть постоянно нажат.

R – ручка регулятора тока.

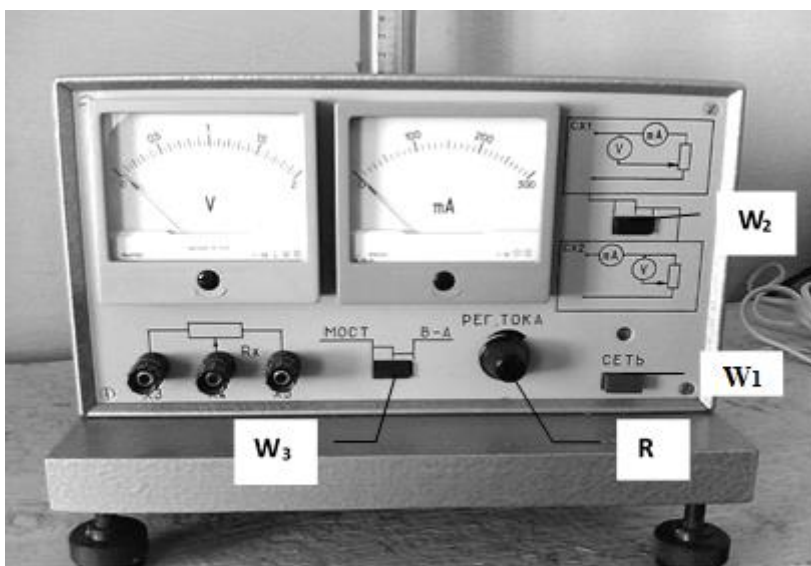


Рисунок 2

Неизвестное сопротивление R_x может быть экспериментально определено из закона Ома для однородного участка цепи:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}. \quad (1)$$

Соответственно удельное сопротивление определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = R_x \frac{\pi d^2}{4l}, \quad (2)$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь поперечного сечения проволоки, d - диаметр проволоки.

По формуле (1) можно было бы получить достаточно точный результат при условии идеальности измерительных приборов – амперметра и вольтметра, а именно: сопротивление амперметра $R_A \rightarrow 0$; сопротивление вольтметра $R_V \rightarrow \infty$. Поскольку на практике R_A и R_V имеют определенные конечные значения, то результат определения сопротивления R_x , и, следовательно, удельного сопротивления ρ зависит от схемы подключения приборов.

Метод вольтметра-амперметра для измерения сопротивления может быть реализован в двух вариантах: метод измерения напряжения и метод измерения тока. Рассмотрим особенности каждого из них.

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

На рис. 3 показана схема включения приборов для этого метода.

Здесь R_x – измеряемое неизвестное сопротивление исследуемого проводника, R – реостат для установки требуемого значения силы тока.

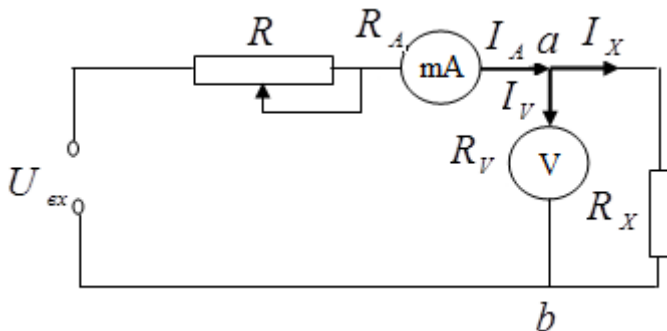


Рисунок 3

При таком включении приборов амперметр показывает ток I_A , равный сумме токов I_X и I_V , текущих соответственно через сопротивление R_X и вольтметр. Тогда сопротивление R_{ab} , вычисленное по формуле (1), будет отличаться от R_X . Учитывая, что

$$I_A = I_X + I_V, \quad I_V = \frac{U}{R_V}, \quad I_X = \frac{U}{R_X}, \text{ получим:}$$

$$R_{ab} = \frac{U}{I_V + I_X} = \frac{U}{\frac{U}{R_V} + \frac{U}{R_X}} = \frac{R_X}{1 + \frac{R_X}{R_V}}. \quad (3)$$

Относительная систематическая погрешность δR для этого варианта подключения амперметра и вольтметра определяется соотношением:

$$\delta R = \frac{|R_{ab} - R_X|}{R_X} = \frac{\frac{R_X}{1 + \frac{R_X}{R_V}} - R_X}{R_X}. \quad (4)$$

Отсюда видно, что при таком подключении измерительных приборов погрешность возникает из-за конечного сопротивления вольтметра R_V . При $R_V \rightarrow \infty$, $\delta R \rightarrow 0$. Для уменьшения погрешности важно, чтобы $R_X \ll R_V$, т.е. с помощью метода непосредственного измерения напряжения целесообразно измерять малые сопротивления.

Если R_V известно, то исключить систематическую погрешность можно, выразив R_X из равенства (3):

$$R_X = \frac{R_I}{I - \frac{R_I}{R_V}}, \quad \text{где } R_I = \frac{U_V}{I_A}. \quad (5)$$

В данной установке $R_V = 2000 \text{ Ом}$, а $R_I < 5 \text{ Ом}$, таким образом, отношение R_I / R_V имеет порядок 10^{-3} . В этом случае путем математических преобразований можно получить приближение:

$$R_X \approx R_I \left(1 + \frac{R_I}{R_V} \right). \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в выражение (2), получаем окончательно рабочую формулу для расчета удельного сопротивления проволоки:

$$\rho_l = \frac{\pi d^2}{4l} \cdot \frac{U_V}{I_A} \left(1 + \frac{U_V}{I_A R_V} \right), \quad (7)$$

где $R_V = 2000 \text{ Ом}$ - сопротивление вольтметра, $d = 0,365 \text{ мм}$ - диаметр проволоки.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА

Принципиальная схема включения измерительных приборов для этого метода представлена на рис. 4.

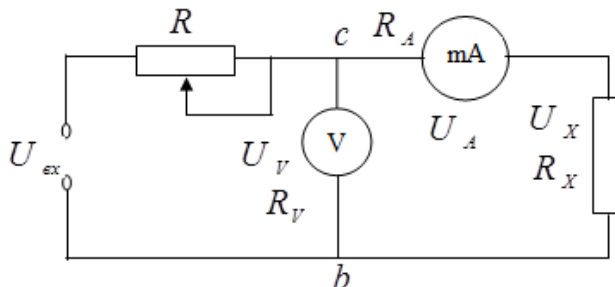


Рисунок 4

Здесь R_x - измеряемое неизвестное сопротивление, а R – реостат для регулировки тока.

При вычислении сопротивления из непосредственного измерения тока по формуле:

$$R_{bc} = \frac{U_V}{I_A}, \quad (8)$$

возникает систематическая погрешность из-за того, что вольтметр показывает сумму падений напряжения на сопротивлениях R_x и R_A , т.е.:

$$U_V = U_x + U_A.$$

В этом случае:

$$R_{bc} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x + U_A}{I_A} = \frac{U_x}{I_A} + \frac{U_A}{I_A} = R_x + R_A. \quad (9)$$

Относительная систематическая погрешность для этого варианта подключения амперметра и вольтметра определяется соотношением:

$$\delta R = \frac{|R_2 - R_x|}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}, \quad (10)$$

откуда следует, что данный метод лучше использовать в случае, когда измеряемое сопротивление много больше сопротивления амперметра, т.е. $R_x \gg R_A$. Если сопротивление R_A известно, то исключить систематическую погрешность можно, выразив R_x из равенства (9):

$$R_x = R_2 - R_A. \quad (11)$$

Подставляя (8) и (11) в выражение (2), получаем рабочую формулу для расчета удельного сопротивления:

$$\rho_2 = \frac{\pi d^2}{4l} \cdot \left(\frac{U_V}{I_A} - R_A \right), \quad (12)$$

где $R_A = 0,3$ Ом - сопротивление миллиамперметра, $d = 0,365$ мм - диаметр проволоки.

Порядок выполнения работы

1. Перемещая кронштейн 4 (рис.1) вдоль колонки 1, установить по шкале 2 первое заданное значение l длины проволоки 3, зафиксировав положение кронштейна винтом 5.

Физика

2. Нажать переключатель W_2 (что соответствует методу точного измерения напряжения). С помощью регулятора R установить первое заданное значение силы тока, снять соответствующее показание вольтметра. Записать в таблицу.

3. Отжать переключатель W_2 (что соответствует методу точного измерения силы тока). Записать показание вольтметра.

(Поскольку $R_A \ll R_V$, показания миллиамперметра при нажатом и отжатом положениях переключателя W_2 практически не отличаются.)

4. Повторить измерения по п.п. 2 – 3 для других значений тока.

5. Повторить действия по п.п. 1 – 4 для других значений длины проволоки.

6. Рассчитать по формуле (7) ρ_1 для всех значений l и I_A , занести в таблицу.

7. Рассчитать по формуле (12) ρ_2 для всех значений l и I_A , занести в таблицу.

8. Найти средние значения: $\langle \rho_1 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^9 \rho_{1i}}{9}$ и $\langle \rho_2 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^9 \rho_{2i}}{9}$.

9. Рассчитать абсолютные погрешности $\Delta \rho_1$ и $\Delta \rho_2$ каждого измерения по формулам: $\Delta \rho_{1i} = |\langle \rho_1 \rangle - \rho_{1i}|$ и $\Delta \rho_{2i} = |\langle \rho_2 \rangle - \rho_{2i}|$, занести в таблицу.

10. Рассчитать среднее значение $\langle \rho \rangle$ по формуле:

$$\langle \rho \rangle = \frac{\langle \rho_1 \rangle + \langle \rho_2 \rangle}{2}.$$

11. Рассчитать среднюю абсолютную $\langle \Delta \rho \rangle$ и относительную $\delta \rho$ погрешности по формулам:

$$\langle \Delta \rho \rangle = \frac{\langle \Delta \rho_1 \rangle + \langle \Delta \rho_2 \rangle}{2}, \quad \delta \rho = \frac{\langle \Delta \rho \rangle}{\langle \rho \rangle}.$$

12. Окончательный результат представить в виде:

$$\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle.$$

Таблица

$l, \text{ м}$	№ пп	$I_A, \text{ mA}$	$U_V, \text{ В}$		$\rho_1, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\Delta \rho_1, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\rho_2, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\Delta \rho_2, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$
			$W_2 \text{ вкл.}$	$W_2 \text{ выкл.}$				
0,2	1	50						
	2	150						
	3	250						
0,25	1	50						
	2	150						
	3	250						
0,3	1	50						
	2	150						
	3	250						
Средние значения		X						
$\langle \rho \rangle =$		$\langle \Delta \rho \rangle =$			$\delta \rho =$			

Контрольные вопросы

1. Дать определение электрического тока.
2. Что называется силой тока?
3. Что называется плотностью тока?
4. Какой проводник называется однородным?
5. Записать закон Ома для однородного участка цепи, для неоднородного участка цепи, для полной цепи, в дифференциальной форме.
6. Что такое сторонние силы?
7. Что такое разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение?
8. Сопротивление при последовательном и параллельном соединениях проводников.
9. Зависимость сопротивления от параметров проводника.
10. Зависимость сопротивления от температуры проводника.
11. Сила тока короткого замыкания.

Физика

12. Работа и мощность тока.
13. Закон Джоуля-Ленца.
14. Каков физический смысл удельного сопротивления материала?
15. В каких случаях при измерениях сопротивлений необходимо применять метод непосредственного измерения напряжений, а в каких – непосредственного измерения тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э7

Исследование работы источника тока в замкнутой цепи

Цель работы: 1) определить внутреннее сопротивление источника тока и его электродвижущую силу;

2) исследовать изменения полезной мощности и коэффициент полезного действия источника тока в зависимости от его нагрузки.

Оборудование: источник тока (выпрямитель напряжением 6 В), амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода.

Краткая теория

Запишем закон Ома для полной цепи для разных значений внешних сопротивлений реостата R_i и R_k , которым соответствуют

силы тока I_i и I_k :
$$I_i = \frac{\mathcal{E}}{R_i + r} \quad \text{и} \quad I_k = \frac{\mathcal{E}}{R_k + r} .$$

Решая эту систему двух уравнений, получаем:

$$r = \frac{I_k R_k - I_i R_i}{I_i - I_k} .$$

Используя закон Ома для однородного участка цепи, получаем:

$$\boxed{r = \frac{U_k - U_i}{I_i - I_k}} \quad \text{и} \quad \boxed{\mathcal{E} = U_i + I_i r} , \quad (1)$$

где i и k - номера измерений силы тока и напряжения.

Полезная мощность определяется формулой:

$$P_{нагр} = I^2 R = IU \quad (2)$$

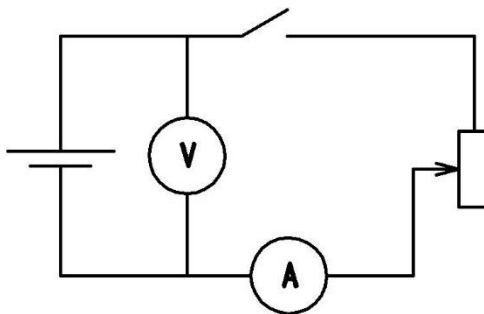
и является функцией внешнего сопротивления. При определенных условиях принимает максимальное значение. Чтобы определить эти условия, необходимо исследовать функцию (2) на экстремум:

$$\frac{dP_{нагр}}{dR} = \mathcal{E}^2 \frac{r^2 - R^2}{(r + R)^4} = 0 \quad \Rightarrow \quad R = r .$$

Таким образом, полезная мощность источника тока становится наибольшей, когда внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока. При этом $\eta = 0,5$.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке.



2. Определить цену деления амперметра c_A и вольтметра c_V ; записать в таблицу.
3. Установить по заданию преподавателя первое значение силы тока, заметить при этом соответствующее значение напряжения.
4. Записать показания амперметра n_A и вольтметра n_V в делениях в таблицу.
5. Увеличивая последовательно силу тока (шаг изменения силы тока задает преподаватель), довести ее до максимального значения, снимая 8-10 значений I и U .
6. Вычислить значения силы тока и напряжения соответственно для всех измерений по формулам:

$$I = c_A \cdot n_A, \quad U = c_V \cdot n_V.$$
7. Вычислить сопротивление нагрузки для каждого измерения по формуле: $R = \frac{U}{I}$.
8. Вычислить мощность, выделяемую в нагрузке (полезная мощность) для каждого измерения по формуле: $P_{нагр} = IU$.

9. Используя пять разных пар значений I и U (напр.: 1-6; 2-7; 3-8; 4-9; 5-10), по формулам (1) вычислить пять значений r и \mathcal{E} .

Пример. Пусть $i = 1$, $k = 6$. Тогда

$$r = \frac{U_6 - U_1}{I_1 - I_6}; \quad \mathcal{E} = U_1 + I_1 r \quad .$$

10. Результаты вычислений записать в таблицу.

11. Вычислить средние значения $\langle r \rangle$ и $\langle \mathcal{E} \rangle$.

12. Используя полученные значения силы тока I и среднее значение электродвижущей силы $\langle \mathcal{E} \rangle$, вычислить для каждого значения силы тока полную мощность, выделяемую в цепи, по формуле:

$$P = \langle \mathcal{E} \rangle I .$$

13. Рассчитать мощность потерь, т.е. мощность, выделяемую внутри источника, для каждого значения силы тока по формуле:

$$P_{\text{потерь}} = P - P_{\text{нагр}} .$$

14. Рассчитать коэффициент полезного действия для каждого значения силы тока по формуле: $\eta = \frac{R}{R + \langle r \rangle}$.

15. Внести все значения в соответствующие столбцы таблицы.

16. Построить графики зависимостей $P = f(R)$, $P_{\text{нагр}} = f(R)$, $\eta = f(R)$. Объяснить ход зависимостей.

Таблица

№	$c_A =$				$c_V =$							
	n_A	I	n_V	U	R	$P_{нагр.}$	r	\mathcal{E}	P	$P_{потерь}$	η	
	-	A	-	B	$Ом$	$Вт$	$Ом$	B	$Вт$	$Вт$	-	
10												
ср												

Контрольные вопросы

1. Дать определение электрического тока.
2. Что называется силой тока?
3. Что называется плотностью тока?
4. Какой проводник называется однородным?
5. Записать закон Ома для однородного участка цепи, для неоднородного участка цепи, для полной цепи, в дифференциальной форме.
6. Что такое сторонние силы?
7. Что такое разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение?
8. Сопротивление при последовательном и параллельном соединениях проводников.
9. Зависимость сопротивления от параметров проводника.
10. Зависимость сопротивления от температуры проводника.
11. Сила тока короткого замыкания.
12. Работа и мощность тока.
13. Закон Джоуля-Ленца.
14. Единицы измерения следующих величин: $I, U, R, j, \rho, \gamma, (\varphi_1 - \varphi_2), \mathcal{E}, r, P_{нагр.}, \eta$.

15. При каком сопротивлении нагрузки наблюдается максимальная мощность? Каков при этом коэффициент полезного действия

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2013.
2. Электростатика. Постоянный электрический ток: учеб. пособие / В.С. Кунаков, И.В. Мардасова, О.М. Холодова и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 66 с.
3. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука, 2006.