

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ИХ
ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ
СОЕДИНЕНИИ**

Методические указания



Волгоград
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

Канд. физ.-мат. наук, доцент Т.А. Сухова

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

А.Л. Суркаев, **Определение удельного сопротивления различных проводников при их параллельном и последовательном соединении** [Электронный ресурс]: методические указания / А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.-Электрон. текстовые дан.(1файл:141Kb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.
Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский
государственный
технический
университет, 2015
© Волжский
политехнический
институт, 2015

Лабораторная работа № 230

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВА- ТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

230.1. Цель работы: определение удельного сопротивления в металлических проводниках, ознакомление с методами измерения сопротивления проводника.

230.2. Содержание работы

Электрический ток, возникающий в проводящих средах под действием электрического поля, называется током проводимости. Ток проводимости в металлах связан с упорядоченным движением электронов проводимости.

Скалярная физическая величина, определяемая как отношение количества зарядов, прошедших за бесконечно малый промежуток времени, к этому промежутку, называется силой тока и выражается соотношением

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (230.1)$$

Для постоянного тока сила тока и направление тока не изменяются со временем, и в этом случае

$$I = \frac{q}{t}, \quad (230.2)$$

где q – заряд, переносимый через рассматриваемую поверхность за конечный промежуток времени t .

Обобщенный закон Ома в дифференциальной форме для неоднородного участка цепи выражает взаимосвязь между плотностью тока j напряженностями стационарного поля $E_{ст}$ и поля сторонних сил E^*

$$j = \sigma(E_{ст} + E^*), \quad (230.3)$$

где $j = \frac{dI}{dS}$ - плотность тока; σ - удельная электрическая проводимость проводника; $E_{ст}$ - напряженность стационарного электрического поля; E^* - напряженность поля сторонних сил.

Из выражения (230.3) путем интегрирования по участку цепи можно получить уравнение обобщенного закона Ома для участка

$$IR_{12} = U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}, \quad (230.4)$$

где I – постоянная во всех сечениях проводника сила тока; R_{12} - электрическое сопротивление участка цепи от сечения 1 до сечения 2;

$U_{12} = \int_1^2 (E_{ст} + E^*) d\ell$ - падение напряжения на участке 1-2, физическая величина, численно равная работе сил стационарного электрического поля и

поля сторонних сил при перемещении положительного единичного заряда на участке: $\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E_{ст} d\ell$ - разность потенциалов между сечениями 1 и

2, физическая величина, численно равная работе сил стационарного электрического поля; $\varepsilon_{12} = \int_1^2 E^* d\ell$ - электродвижущая сила (ЭДС), физическая

величина, численно равная работе сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда на участке 1-2.

Когда на участке цепи не действуют сторонние силы ($\varepsilon_{12} = 0$), он является однородным, а напряжения на концах участка цепи совпадает с разностью потенциалов, и уравнение (230.4) принимает вид

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (230.5)$$

Закон Ома для однородного участка принимает вид

$$I = \frac{U_{12}}{R_{12}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_{12}}. \quad (230.6)$$

Электрическое сопротивление проводника R в уравнении (230.6) зависит от их формы, размеров и свойств материалов, из которых проводники изготовлены. Если проводник имеет форму цилиндра постоянного сечения, то в этом случае

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \quad (230.7)$$

где ρ - удельное сопротивление данного вещества, зависящее от рода вещества и его состояния; ℓ - длина проводника; S - площадь его поперечного сечения.

Единица удельного сопротивления в системе единиц SI имеет размерность Ом·метр (Ом·м).

При движении электронов проводимости в кристаллической решетке из-за наличия примесей и вакансий (отсутствие атомов в узлах), а также тепловых колебаний решетки возникает электросопротивление металлов. Чем чище металл и ниже температура, тем меньше это сопротивление.

Удельное электрическое сопротивление металлов при рассеянии электронов на атомах примеси и на фононах можно представить в виде

$$\rho = \rho_{\text{колеб}} + \rho_{\text{прим}}, \quad (230.8)$$

где $\rho_{\text{колеб}}$ - сопротивление, обусловленное тепловыми колебаниями узлов (атомов) решетки; $\rho_{\text{прим}}$ - сопротивление, обусловленное рассеянием электронов на примесных атомах.

Слагаемое $\rho_{\text{колеб}}$ уменьшается с понижением температуры и обращается в ноль при $T = 0$ К. Слагаемое $\rho_{\text{прим}}$ при небольших концентрациях примесей не зависит от температуры и образует так называемое остаточное сопротивление, т.е. сопротивление, которым обладает металл при 0 К. Величина остаточного сопротивления $\rho_{\text{ост}}$ в сильной степени зависит от чистоты материала и наличия остаточных механических напряжений в об-

разце. У абсолютно чистого металла с идеально правильной кристаллической решеткой при абсолютном нуле $\rho = 0$.

В настоящей работе с использованием закона Ома для однородного участка цепи (230.6) двумя методами экспериментально определяется сопротивление различных проводников при их параллельном и последовательном соединении и рассчитывается их удельное сопротивление при температуре окружающей среды.

230.3. Описание лабораторной установки

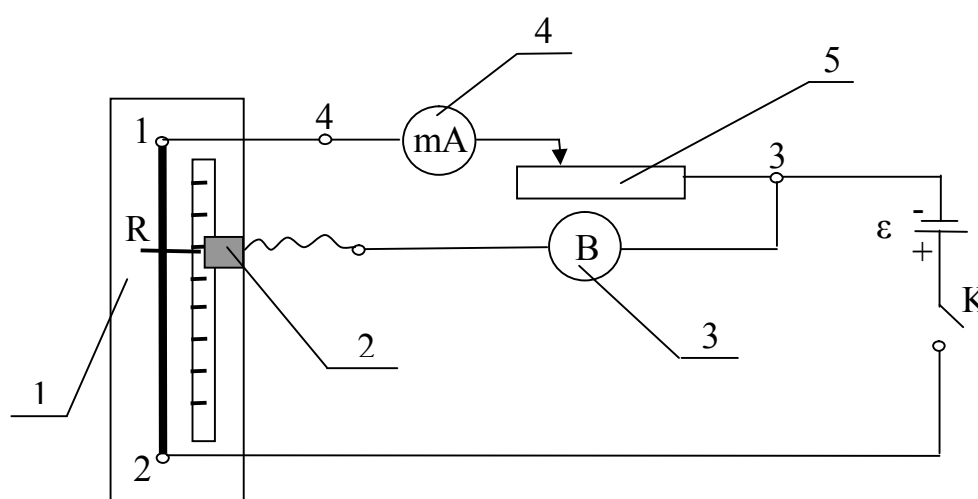


Рис. 1 Электрическая принципиальная схема экспериментальной установки

Электрические цепи, которые включают в себя амперметр и вольтметр, позволяют определить косвенным путем сопротивление проводника. Установка (рис. 1) состоит из реохорда (1) с подвижным кронштейном (2), на который нанесен указатель для определения длины определяемого отрезка проводника, источника постоянного тока, вольтметра со шкалой (0÷1,5 В) (3), амперметра со шкалой (0÷250 мА) (4), потенциометра (5) для регулирования силы тока. Установка позволяет собирать две цепи с разными подключениями вольтметра и амперметра, а также измерять величины то-

ков и падений напряжений, как отдельно взятых проводников, так и при их параллельном и последующем соединениях.

230.4. Методика проведения эксперимента

В лабораторной работе используются два метода измерения сопротивления.

Первый метод использует электрическую схему (рис. 2), в которой миллиамперметр включен последовательно с исследуемым образцом проводника

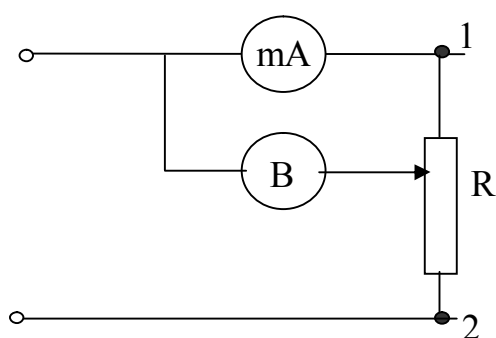


Рис. 2 Первая схема измерений

(или проводников, соединенных параллельно или последовательно) и с достаточной точностью, зависящей от амперметра, измеряет силу тока I в образце.

Вольтметр измеряет напряжение U не только на измеряемом участке образца проводника, но и на амперметре

(сопротивление амперметра $R_A = \dots$).

Сопротивление измеряемого отрезка образца в этом случае определяется выражением

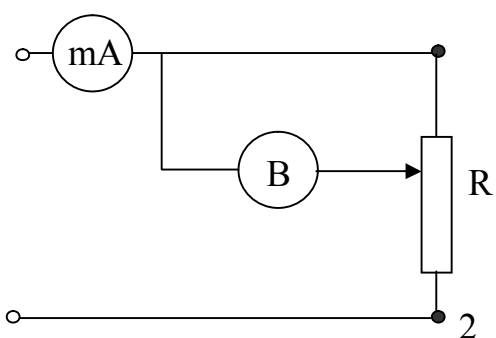


Рис. 3 Вторая схема измерений

$$R = \frac{U}{I} \left(1 - \frac{R_A \cdot I}{U} \right). \quad (230.10)$$

Второй метод использует электрическую цепь (рис. 3), в которой вольтметр включен так, что с достаточной точностью, зависящей от вольтметра, измеряет падение напряжения U на

участке образца проводника, а миллиамперметр при этом измеряет силу тока I , который затем разветвляется в узле на силу тока I_1 , протекающего по образцу проводника и силу тока I_2 , протекающего через вольтметр (сопро-

тивление вольтметра значительно больше, чем у образца проводника $R_V = \dots$).

Сопротивление измеряемого отрезка в этом случае определяется выра-

жением

$$R = \frac{U}{I} \left(1 + \frac{U}{R_V I} \right). \quad (230.11)$$

230.5. Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по первой схеме измерений (см. рис.2), присоединяя к клеммам 1-2 один из образцов проводника.

2. Характеристики вольтметра и миллиамперметра, указанные на шкале, занесите в протокол работы. Определите цену деления шкалы вольтметра и миллиамперметра.

3. Установите подвижный кронштейн (2) (рис. 1) на деление шкалы реохорда (1), соответствующее примерно 0,6 длины образца проводника, и замкните ключ К.

4. При помощи потенциометра (5) (регулятора тока) установите значение силы тока (по указанию преподавателя).

5. Измерение по первому методу проведите для 10 значений длины образца проводника от $0,3 \ell_{\text{пр}}$ до $\ell_{\text{пр}}$ ($\ell_{\text{пр}}$ - полная длина проводника), перемещая подвижный кронштейн (2).

6. Запишите в табл. 2.1 показания вольтметра и амперметра.

7. К клеммам 1-2 присоедините другой образец проводника с сопротивлением R_2 и проделайте измерения по пунктам 3÷5. Результаты запишите в табл. 2.1.

8. Соберите электрическую цепь по второй схеме измерения (см. рис.3), присоединяя к клеммам 1.2 один из образцов проводника, клемму 3 вольтметра (3) (см. рис.1), перенеся в клемму 4.

9. Выполните все измерения, указанные в пп.3÷5. Запишите в табл. 2.2 показания вольтметра и амперметра.

10. Соедините оба образца проводников с сопротивлениями R_1 и R_2 параллельно, затем последовательно, подключите измерения по первой схеме измерения, а затем по второй схеме, указанные в пп. 3÷5. Результаты измерений занесите в табл. 2.3 и 2.4.

230.6. Обработка результатов измерений

1. Для табл. 2.1 вычислите R по формуле (230.10).

2. Вычислите удельное сопротивление ρ по формуле

$$\rho = R \frac{\pi d^2}{\ell_{\text{пр}}}, \quad (230.12)$$

где d – диаметр проводника.

3. Найдите среднее значение удельного сопротивления $\langle \rho \rangle$.

4. Рассчитайте абсолютную погрешность определения ρ по формуле

$$\Delta \rho = \langle \rho \rangle \cdot \delta \rho, \quad (230.13)$$

где $\delta \rho$ - относительная погрешность, определяемая выражением

$$\delta \rho = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + 2 \frac{\Delta d}{\langle d \rangle} + \frac{\Delta \ell_{\text{пр}}}{\langle \ell_{\text{пр}} \rangle}. \quad (230.14)$$

Расчет $\delta \rho$ проведите для одной любой строчки табл.230.1.

Принять $\Delta \ell = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta d = 4 \cdot 10^{-5}$ м, ΔU и ΔI определить по классу точности вольтметра и амперметра.

5. Для табл. 230.2 вычислите R по формуле (230.11). Проведите расчеты, аналогичные указанным в пунктах 2÷4.

6. Для табл. 230.3 и 230.4 вычислите R по формулам (230.10) и (230.11) соответственно. Проведите расчеты, аналогичные указанным в пунктах 2÷4.

7. Запишите параметры установки в табл. 230.5.

Таблица 230.1

Результаты измерений и вычислений по первой схеме

l , м	U, В		I, мА		R, Ом		ρ , Ом·м		$\langle \rho \rangle$		$\Delta \rho$	
	U_1	U_2	I_1	I_2	R_1	R_2	ρ_1	ρ_2	$\langle \rho \rangle_1$	$\langle \rho \rangle_2$	$\Delta \rho_1$	$\Delta \rho_2$
10 измерений												

Таблица 230.2

Результаты измерений и вычислений по второй схеме

l , м	U, В		I, мА		R, Ом		ρ , Ом·м		$\langle \rho \rangle$		$\Delta \rho$	
	U_1	U_2	I_1	I_2	R_1	R_2	ρ_1	ρ_2	$\langle \rho \rangle_1$	$\langle \rho \rangle_2$	$\Delta \rho_1$	$\Delta \rho_2$
10 измерений												

Таблица 230.3

Результаты измерений и вычислений по первой схеме при параллельном соединении и последовательном соединении проводников

l , м	U, В		I, мА		R, Ом		ρ , Ом·м		$\langle \rho \rangle$		$\Delta \rho$	
	U_1	U_2	I_1	I_2	R_1	R_2	ρ_1	ρ_2	$\langle \rho \rangle_1$	$\langle \rho \rangle_2$	$\Delta \rho_1$	$\Delta \rho_2$
10 измерений												

Таблица 230.4

Результаты измерений и вычислений по второй схеме при параллельном соединении и последовательном соединении проводников

l , м	U, В		I, мА		R, Ом		ρ , Ом·м		$\langle \rho \rangle$		$\Delta \rho$	
	U_1	U_2	I_1	I_2	R_1	R_2	ρ_1	ρ_2	$\langle \rho \rangle_1$	$\langle \rho \rangle_2$	$\Delta \rho_1$	$\Delta \rho_2$
10 измерений												

Параметры экспериментальной установки

R_A Ом	R_V Ом	Класс точности		ΔU В	ΔI А	d м	Δd м	$\Delta \ell$ м
		γ_A	γ_V					

230.7. Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим током? Что такое сила тока и плотность тока? Назовите их единицы в системе единиц СИ?
2. Запишите закон Ома в дифференциальной и интегральной формах. Дайте соответствующие формулировки законно.
3. Какие физические величины называются напряжением, разностью потенциалов, электродвижущей силой?
4. Что такое электрическое сопротивление проводника и от чего оно зависит? Назовите единицы сопротивления и удельного сопротивления в системе единиц СИ?
5. Запишите и поясните формулу для сопротивления однородного проводника цилиндрической формы.
6. С помощью электрических схем поясните 2 метода экспериментального определения сопротивления с использованием вольтметра и амперметра.

Литература, рекомендуемая для обязательной проработки: [1], §§5.1,..., 5.5; [2], §§67,..., 70; [3], §§31,..., 36; [4], §§40,..., 45; [5], §§96,..., 101.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 9-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 319 с.
2. Калашников С.Г. Электричество. – 6-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т.3. – 656 с.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.

Учебное издание

Анатолий Леонидович Суркаев
Михаил Маркович Кумыш

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ИХ
ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ**

Методические указания

в авторской редакции
Темплан 2007 г., поз.№ 27. В_
Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать _____. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 1,16____.
Уч.-изд. л. 1,2 на магнитоносителе
Волгоградский государственный технический университет.
400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного
технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.