



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № Э 5
Определение сопротивления резисторов с помощью мостика Уитстона
по дисциплине

«Физика»

Авторы

Жданова Т.П.,

Лемешко Г.Ф.,

Пруцакова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2025

Аннотация

В практикуме кратко изложены теоретические вопросы, необходимые для успешного выполнения лабораторной работы, рабочее задание и контрольные вопросы. Предназначен для организации самостоятельной работы студентов всех специальностей, изучающих физику.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Жданова Т.П.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Лемешко Г.Ф.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Пруцакова Н.В.

Оглавление

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Краткая теория..... | 4 |
| Вывод рабочей формулы..... | 9 |
| Порядок выполнения..... | 12 |
| Контрольные вопросы..... | 15 |
| Список литературы..... | 16 |

Лабораторная работа № Э 5

Определение сопротивления резисторов с помощью моста Уитстона

Цель работы: Изучить принцип работы моста Уитстона и научиться определять сопротивление резисторов с его помощью.

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

Краткая теория

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

Сила тока – скалярная физическая величина, определяемая зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени:

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

Плотность тока – векторная физическая величина, численно равная отношению силы тока сквозь поверхность, перпендикулярную направлению тока, к площади этой поверхности

$$\vec{j} = \frac{I}{S}, \quad \vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника, $\langle\vec{v}\rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения положительных зарядов в проводнике,

n – концентрация зарядов, e – элементарный заряд. Вектор плотности тока совпадает с направлением электрического тока.

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, $\rho = \frac{1}{\gamma}$ – 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:

$$\text{а) } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

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

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 суммарной работе сторонних и электрических сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$U = \frac{A_{эл} \pm A_{см}}{q},$$

где знак «-» соответствует случаю, когда сторонние силы направлены против сил электрических.

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

На **однородном** участке цепи отсутствуют сторонние силы, т.е. $\mathcal{E} = 0$, поэтому $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Участок цепи, где на носители действуют сторонние силы, называют **неоднородным**.

Закон 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 (для однородного участка цепи):

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

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

Сила тока короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Работа тока за время t :

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

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

$$Q = I^2 R t .$$

Полезная мощность тока (выделяемая в нагрузке):

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

Полная мощность, выделяемая в цепи:

$$P_{\text{полная}} = I \cdot \mathcal{E} .$$

Мощность, теряемая в источнике:

$$P_{\text{потерь}} = I^2 r .$$

Коэффициент полезного действия источника тока:

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

Правила Кирхгофа:

1) Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

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

2) В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС \mathcal{E}_k , встречающихся в этом контуре

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k .$$

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).

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 $I_i R_i$ входит в уравнение со знаком "плюс", если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае произведение $I_i R_i$ 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 придется 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.

Вывод рабочей формулы

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

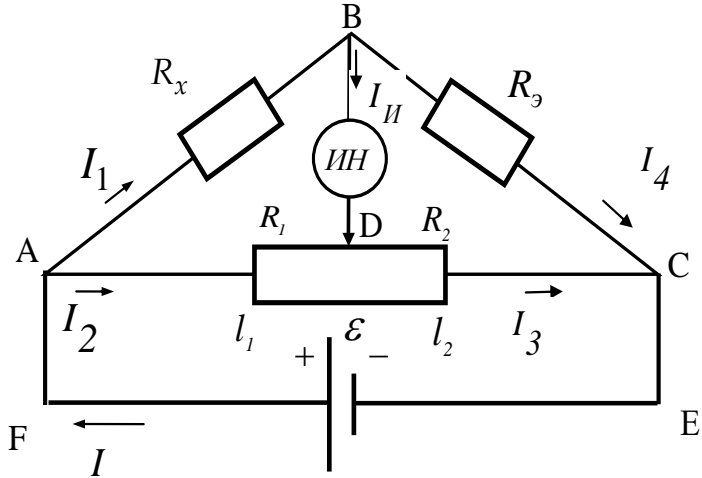


Рисунок -1- Схема моста Уитстона

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

Воспользуемся правилами Кирхгофа. Согласно первому правилу (рисунок 2):

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

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

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

Применение второго правила Кирхгофа приводит к уравнениям:

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

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

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

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 $I_1 R_X = I_2 R_1$,

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

Аналогично $\varphi_B - \varphi_C = \varphi_D - \varphi_C$, или $I_1 R_{\mathcal{E}} = I_2 R_2$, откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_{\mathcal{E}}} \quad (2)$$

Приравняв уравнение (1) и (2) получим $\frac{R_1}{R_X} = \frac{R_2}{R_{\mathcal{E}}}$, откуда

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

$$\boxed{R_X = R_{\mathcal{E}} \frac{l_1}{l - l_1}} \quad (3)$$

где R_X - сопротивление неизвестного резистора, $R_{\mathcal{E}}$ - сопротивление эталона (в виде «магазина сопротивлений»), l - длина реохорда, l_1 - длина плеча реохорда.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение сопротивления резисторов

- Собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке 2, подсоединив неизвестное сопротивление R_{X1} в плечо AB , а эталонное сопротивление $R_{\mathcal{O}}$ (магазин сопротивлений) – в плечо BC .
- Установить движок реохорда посередине шкалы.
- Добиться отсутствия тока через индикатор нуля подбором эталонных сопротивлений на магазине сопротивлений. Значения $l, l_1, R_{\mathcal{O}}$ занести в таблицу 1.
- Переместить движок реохорда на 1–2 см влево. Повторить пункт 3.
- Переместить движок реохорда на 1–2 см вправо. Повторить пункт 3.
- Вычислить по формуле (3) сопротивление R_x для каждого измерения. Результаты занести в таблицу 1.
- Вычислить среднее значение $\langle R_x \rangle$ по формуле:

$$\langle R_x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n R_{xi}}{n}.$$

- Вычислить абсолютные погрешности по формуле:

$$\Delta R_{xi} = \left| \langle R_x \rangle - R_{xi} \right|.$$

- Вычислить среднее значение абсолютной погрешности:

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

Таблица 1

| $l =$ $см$ | | | | | |
|--|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| № | l_1 | R_3 | R_x | ΔR_x | δR_x |
| [] | $см$ | $Ом$ | $Ом$ | $Ом$ | % |
| Первое сопротивление R_{X1}: | | | | | |
| 1 | | | | | X |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| Средние значения | | | | | |
| Второе сопротивление R_{X2}: | | | | | |
| 1 | | | | | X |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| Средние значения | | | | | |

10. Вычислить относительную погрешность:

$$\delta R_x = \frac{\langle \Delta R_x \rangle}{\langle R_x \rangle} \cdot 100 \%$$

11. Полученные данные внести в таблицу 1.

12. Окончательный результат представить в виде:

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

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 АВ. Повторить пункты 2–11 задания 1. Результаты занести в табл.2

2. Вычислить сопротивление $R_{ТЕОР}$ для параллельного соединения, используя **средние значения** $\langle R_{X1} \rangle$ и $\langle R_{X2} \rangle$ из таблицы 1, по формуле:

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

3. Оценить относительную погрешность по формуле:

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

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

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

7. По выполненной работе сделать вывод.

Таблица 2

| Параллельное соединение | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
| $l = \quad \quad \quad \text{см}$ | | | | | |
| № | l_I | $R_э$ | R_X | ΔR_X | δR_X |
| [] | см | Ом | Ом | Ом | % |
| 1 | | | | | X |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| Средние значения | | | | | |
| $R_{ТЕОР} =$ | | | $\delta R =$ | | |
| Последовательное соединение | | | | | |
| 1 | | | | | X |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| Средние значения | | | | | |
| $R_{ТЕОР} =$ | | | $\delta R =$ | | |

Контрольные вопросы

1. Описать ход работы, объясняя смысл всех операций. Знать все обозначения, используемые в таблицах.
2. Что называется постоянным электрическим током? Что такое сила тока и плотность тока?
3. Сформулируйте закон Ома для однородного и неоднородного участка цепи, для полной цепи и в дифференциальной форме.
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 чем заключается физический смысл ЭДС, разности потенциалов и напряжения?
7. Составьте систему уравнений по правилам Кирхгофа.
8. В чем заключается физическая сущность сопротивления по классическим представлениям?

Список литературы

1. Благин А.В. Физика для инженеров / А.В. Благин, Т.С. Беликова, Т.П. Жданова и др. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2022. –601с.
2. Грабовский Р.И. Курс физики: учебное пособие для вузов / Р.И. Грабовский – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 609с.
3. Трофимова, Т. И., Физика. В таблицах и формулах: учебное пособие / Т. И. Трофимова. — Москва: КноРус, 2023. — 447 с.

Правила техники безопасности

При выполнении работы необходимо убедиться, что все токоведущие части электрической схемы изолированы. Категорически запрещается касаться руками или другими предметами зажимов цепи, находящихся под напряжением. По окончании работы обязательно отключить электрическую схему от источника напряжения.