Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественных и математических наук»

ФИЗИКА

Методические указания к
выполнению лабораторной работы

“ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ”

для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2026

Измерение электрических сопротивлений резисторов

Основные положения

Если между концами проводника имеется разность потенциалов, например, при подключении проводника к источнику тока, то по проводнику идет ток.

Для участка электрической цепи, не включающего источник тока, сила тока на этом участке пропорциональна разности потенциалов на концах участка:

$$J = \frac{1}{R}(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности $\frac{1}{R}$ в этой формуле различен для разных проводников. Он называется проводимостью проводника, а обратная величина R называется **сопротивлением** проводника.

Согласно электронной теории сопротивление металлических проводников электрическому току возникает вследствие того, что носители тока – **электроны проводимости** при своем движении испытывают «соударения» с ионами кристаллической решетки. При этом движущиеся электроны передают ионам часть своей энергии, приобретенной ими при свободном пробеге в электронном поле. Энергия, переданная ионам, превращается в энергию беспорядочного движения ионов (увеличивается амплитуда колебаний), т.е. во внутреннюю энергию. Различие в сопротивлении различных металлов объясняется различием величины среднего свободного пробега электронов и количества свободных электронов в единице объема металла.

Величина разности потенциалов на концах проводника называют падением напряжения (или напряжением) и обозначают U:

$$J = \frac{U}{R} \quad (2)$$

Закон (1) или (2) выполняются с большой точностью, и называется **законом Ома для участка цепи:** сила тока на участке цепи, не включающем источников тока, прямо пропорционально напряжению на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению проводника на этом участке цепи.

За единицу сопротивления в системе единиц СИ – ом (ОМ) – принято сопротивление такого проводника, в котором при напряжении в 1 вольт (В) возникает ток в 1 ампер (А). Ом равен сопротивлению ртутного столба высотой 106,3 см. и сечению 1 мм^2 при 0^0 С.

Многочисленными опытами установлено, что сопротивление проводника прямо пропорционально площади его поперечного сечения:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3),$$

коэффициент пропорциональности в этой формуле называется **<u>удельным сопротивлением</u>**: из формулы (3) находим размерность удельного сопротивления в системе СИ:

$$[\rho] = \frac{[R][S]}{[l]} = \frac{Ом \cdot м^2}{м} = Ом \cdot м$$

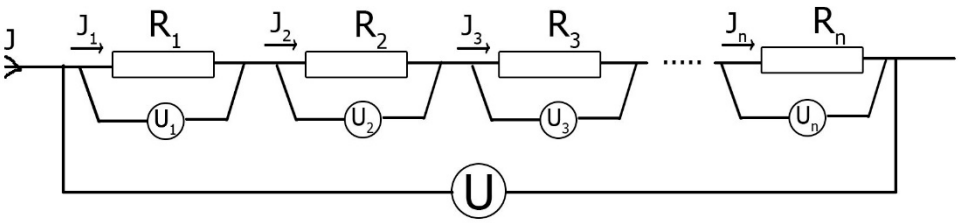
Удельной проводимостью δ называется величина, обратная удельному сопротивлению:

$$\delta = \frac{1}{\rho}$$

В системе СИ:

$$[\delta] = \frac{1}{[\rho]} = \frac{1}{Ом \cdot м}$$

<u>Последовательное соединение проводников.</u>



<u>Рис 1.</u>

При последовательном соединении через все включенные в цепь проводники проходит ток одной и той же силы, т.е. $J_1=J_2=\ldots=J_n=const$, а общее напряжение на отдельных участках:

$$U = U_1 + U_2 + ... + U_n$$

Общее сопротивление:

$$R = \frac{U}{J} = \frac{U_1 + U_2 + ... + U_n}{J} = \frac{U_1}{J} + \frac{U_2}{J} + ... + \frac{U_n}{J} = R_1 + R_2 + ... + R_n$$

$$\underline{R = R_1 + R_2 + ... + R_n}$$

Если $R_1 = R_2 = ... = R_n$, то $U_1 = U_2 = ... = U_n$, тогда $U = n * U_1$, а $R = n * R_1$

<u>Параллельное соединение проводников.</u>

При параллельном соединении в узлах ток разветвляется, сумма сил токов во всех соединенных проводниках равна силе тока до и после разветвления

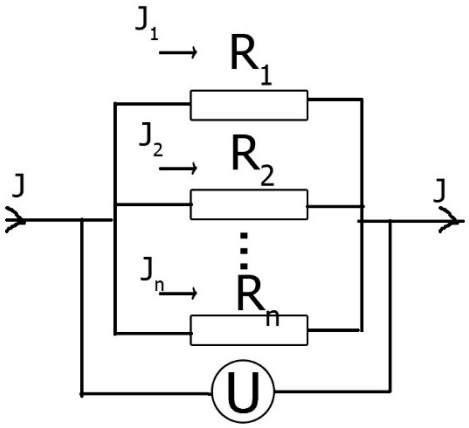


Рис 2.

$$J = J_1 + J_2 + ... + J_n$$

Напряжение же во всех соединенных проводниках одно и то же, равное общему напряжению

$$U = U_1 = U_2 = ... = U_n$$

Общая проводимость:

$$\frac{1}{R} = \frac{J}{U} = \frac{J_1 + J_2 + ... + J_n}{U} = \frac{J_1}{U} + \frac{J_2}{U} + ... + \frac{J_n}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$$

т.е.

$$\underline{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}}$$

Следовательно, **сопротивление всего разветвления меньше сопротивления каждого из параллельного соединенных проводников**. Если $R_1=R_2=\ldots=R_n$, то $J=n*J_1$ и тогда $R = \frac{R_1}{n}$.

Мостовая схема (мост Уитстона), предназначенная для измерения электрических сопротивлений (рис. 3), состоит из четырех сопротивлений,

чувствительного гальванометра G, источника постоянного тока E и ключа K.

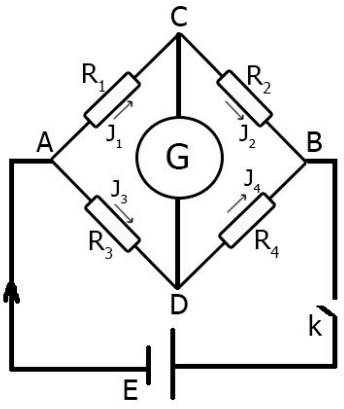


Рис 3.

При замыкании ключа в цепи потечет ток. Направление и величины токов в различных участках цепи зависит от сопротивления плеч моста, сопротивления гальванометра, от электродвижущей силы источника тока. На рисунке стрелками обозначены возможные направления токов.

Падения напряжения на участке ACB равно падению напряжения на участке ADB при любых величинах сопротивлений плеч моста, поэтому, изменяя эти сопротивления, можно добиться равновесия моста, т.е. такого состояния, когда потенциалы точек C и D окажутся одинаковыми $V_c=V_D$

Выведем соотношение между сопротивлениями плеч моста, которое будет выполняться при его равновесии. Для этого воспользуемся правилами Киргофа:

<u>Первое правило Кирхгофа</u>

Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_{k=1}^{n} J_k = 0$$

n-число проводников, сходящихся в узле (узлом называется точка разветвления цепи т.е. точка, в которой сходится больше двух проводников).

Токи проходящие к узлу, считаются (условно) положительными, отходящие от узла – отрицательными.

Первое правило Киргофа вытекает из того, что в случае установившегося постоянного тока ни в одной точке проводника и ни на одном его участке не должны скапливаться электрические заряды.

<u>Второе правило Кирхгофа</u>

В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма падений напряжений на отдельном участках этого контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил источников, включенных в данный контур.

$$\sum_{k=1}^{n_1} J_k R_k = \sum_{k=1}^{n_2} E_r$$

Где n_1 – число участков, на которые контур разбивается узлами;
n_2 – число источников тока, включенных в данный контур.

Будем считать (условно) точки, текущие в контуре по часовой стрелке, положительными, против часовой стрелки – отрицательными.

Второе правило Киргофа является обобщением закона Ома для разветвленных электрических цепей.

Запишем первое правило Киргофа для узлов C и D.

$$J_1 - J_2 - J_5 = 0 \quad (4)$$

$$J_3 - J_4 - J_5 = 0 \quad (5)$$

При равновесии моста (V_C-V_D, V_5=0) эти равенства будут выглядеть:

$$J_1 = J_2 \quad (6)$$

$$J_3 = J_4 \quad (7)$$

Запишем второе правило Кирхгофа для контуров ACD и BCD

$$J_1 R_1 + J_5 R_5 - J_3 R_3 = 0 \quad (8)$$

$$J_2 R_2 - J_4 R_4 - J_5 R_5 = 0 \quad (9)$$

В правой части равенства стоят нули, так как в этих контурах не имеется источников тока.

При равновесии моста равенства (8) и (9) будут выглядеть:

$$J_1 R_1 = J_3 R_3 \, (10)$$

$$J_2 R_2 = J_4 R_4 \, (11)$$

Поделим почленно (10) на (11) и учтя (6) и (7), получим соотношение между сопротивлениями плеч моста в момент его равновесия.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (12)$$

Теория опыта

В лабораторной работе используется мост Уитстона изображенный на рисунке 3. Сопротивления R3 и R4 равны. Таким образом, исходя из формулы (12) в положении равновесия (когда гальванометр показывает 0) сопротивление R_1 будет равно R_2. **В данной лабораторной работе вместо сопротивления R_1 подключают либо R_{x1}, либо R_{x2}, либо комбинацию из параллельно соединенных R_{x1} и R_{x2} или последовательно соединенных R_{x1} и R_{x2}**

Описание экспериментальной установки

Мост Уитстона на стенде собран частично. Имеются сопротивления R3 и R4 (R3=R4). Гальванометр находится в левом нижнем углу стенда.

Источником тока является свинцовая аккумуляторная батарея находящаяся внутри стенда. Сопротивления R_{x1} и R_{x2} неизвестны (регулирующими ручками их значения можно менять). Имеется магазин сопротивлений- рисунок 4. Ручками магазина можно выставлять различные сопротивления с точностью до 0,01Ом

Рис. 4. Магазин сопротивлений.

Производство опыта

Определение неизвестных сопротивлений R_{x1} и R_{x2}:

1. Зарисовать в тетрадке мост Уитстона, где вместо сопротивления R_1 будет R_{x1}, а вместо R_2 магазин сопротивлений. Показать преподавателю.
2. Зарисованную схему собрать на стенде, ориентируясь на точки А, С, В. Показать преподавателю.
3. В магазине сопротивлений включить 90 Ом (до введения сопротивления в магазине ключ К включить нельзя, так как через гальванометр протечет слишком большой ток и стрела может прогнуться). Затем на мгновение перевести ключ К в положение «вкл.» и посмотреть, в какую сторону отклонится стрелка гальванометра. Заметить это направление. Уменьшить введенное сопротивление

рукояткой до десятков Ом, каждый раз включая на мгновение ключ К и следя за стрелкой. Когда стрелка отклонится в противоположном направлении, значит, введенное сопротивление мало. Тогда следует перейти к единицам Ом и таким же образом найти положение, когда введенное сопротивление станет мало. После этого следует добавить десятки ома и т.д. Важно при каждом положении рукояток включать на мгновение ключ и следить за направлением отклонения стрелки. Одно направление условно назвать «много», другое – «мало».

Сопротивление магазина, при котором мост окажется в равновесии (т.е. стрелка не будет отклоняться при замыкании ключа), равно измеряемому сопротивлению резистора R_{x1}.

4. Повторить пункты 1, 2, 3, но в качестве R_1 в мосте использовать R_{x2}.
5. Повторить пункты 1, 2, 3, но в качестве R_1 в мосте использовать последовательную комбинацию. R_{x1} и R_{x2}
6. Повторить пункты 1, 2, 3, но в качестве R_1 в мосте использовать параллельную комбинацию. R_{x1} и R_{x2}
7. Занести в тетрадь экспериментально полученные значения R_{x1}, R_{x2}, $R^{\text{эксп}}_{x1,x2\ \text{посл}}$, $R^{\text{эксп}}_{x1,x2\ \text{парал.}}$
8. Зная экспериментальные значения R_{x1}, R_{x2} рассчитать теоретические $R^{\text{теор.}}_{x1,x2\ \text{посл}}$, $R^{\text{теор}}_{x1,x2\ \text{парал.}}$ по формулам.
9. Рассчитать абсолютную погрешность сравнив $R^{\text{эксп}}_{x1,x2\ \text{посл}}$, $R^{\text{эксп}}_{x1,x2\ \text{парал.}}$ и $R^{\text{теор.}}_{x1,x2\ \text{посл}}$, $R^{\text{теор}}_{x1,x2\ \text{парал.}}$. В качестве эталонных значений взять теоретический расчет.