

Лабораторная работа

Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона

Оборудование: реохорд, набор неизвестных сопротивлений, гальванометр, источник постоянного тока, два ключа, магазин сопротивлений.

Описание целей работ

Конкретные цели	Критерии достижения целей
I. Изучение теоретических знаний	
1.1 Общие знания об электрическом токе	Студент должен правильно отвечать на вопросы №1-8
1.2 Теория мостового метода измерения сопротивлений	Студент должен: - начертить схему и указать направление тока; - определить условие баланса моста; - вывести соотношение (10).
II. Практические умения	
	Студент должен научиться: - собирать схему; - снимать показания приборов; - рассчитывать сопротивление.

I. Основные теоретические знания

1.1. Электрическим током называют упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц. В металлических проводниках существование тока возможно благодаря свободным электрическим частицам – электронам. Чтобы в проводнике существовал ток, его нужно подключить к источнику тока, и только тогда электроны, находящиеся внутри проводника, приобретают направленное движение. Причиной изменения их движения является электрическое поле, создаваемое источником тока. Электрическое поле устанавливается практически мгновенно (со скоростью света) и действует на каждый заряд внутри проводника, понуждая его перемещаться в направлении поля. Чем больше напряженность поля, чем сильнее оно “напирает”, тем больше зарядов будет вовлекаться в направленное движение, тем больший заряд будет переноситься ими.

Величина тока в проводнике определяется количеством заряда, переносимого током в единицу времени через поперечное сечение

проводника:
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1).$$

В Международной системе единиц СИ силу тока выражают в амперах (А):

$$1\text{А} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{с}}$$

1.2 Потенциальная энергия заряда в электростатическом поле пропорционально заряду. Это справедливо для любого электрического поля. Следовательно,

отношение потенциальной энергии к заряду не зависит от помещенного в поле заряда. Это позволяет ввести новую количественную характеристику поля – потенциал φ .

Потенциалом φ электростатического поля в данной точке называют отношение потенциальной энергии $\underline{W}_{\text{пот}}$ заряда в этой точке поля к величине этого заряда q :

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q} \quad [\varphi] = \text{Дж/кЛ} = 1\text{В} \quad (2)$$

Потенциал φ – скалярная величина, это энергетическая характеристика поля; он определяет потенциальную энергию заряда q в данной точке поля: $\underline{W}_{\text{пот}} = q\varphi$

1.3 Напомним, то в механике потенциальная энергия тела в гравитационном поле вблизи поверхности Земли определяется положением тела относительно поверхности Земли: $\underline{W}_{\text{пот}} = mgh$. При этом, чем выше тело над поверхностью Земли тем больше его потенциальная энергия. Например, вода в конце водопада (реки) обладает меньшей потенциальной энергией, чем в начале. Так же и ток, подобно воде в реке, стремится из точки с большим потенциалом в точку с меньшим потенциалом. Поэтому, для того, чтобы существовал ток в проводнике, необходима разность потенциалов на концах проводника (участка цепи). Сила тока в цепи определяется этой разностью потенциалов: чем больше разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи, тем больше напряженность электрического поля и, значит, увеличится и число частиц, вовлеченных в направленное движение, и их скорость. Это означает увеличение силы тока.

Для каждого проводника – твердого, жидкого, и газообразного – существует определенная зависимость силы тока от приложенной разности потенциалов на концах проводника. Эту зависимость выражает так называемая вольт - амперная характеристика проводника. Её находят, измеряя силу тока в проводнике при различных значениях напряжения. Знание вольт – амперной характеристики играет большую роль при изучении электрического тока.

1.4 Наиболее простой вид имеет вольт – амперная характеристика металлических проводников и растворов электролитов. Впервые (для металлов) её установил немецкий ученый Георг Ом, поэтому зависимость силы тока от напряжения носит название закона Ома.

Согласно закону Ома, сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению (разности потенциалов) на концах этого участка:

$$I \sim \Delta\varphi \quad \text{или} \quad I = \delta U \quad (3)$$

где δ - электропроводность проводника, зависящая от его размеров, рода вещества и состояния.

Величина, обратная δ называется электрическим сопротивлением R :

$$R = 1/\delta$$

Единица сопротивления называется Ом. 1 Ом – это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении между его концами в 1 В существует ток с силой 1 А: $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / 1 \text{ А}$.

Закон Ома с использованием величины сопротивления имеет вид:

$$I = U/R \quad (4)$$

1.5 Сопротивление зависит от материала проводника и его геометрических размеров. Сопротивление проводника длиной l с постоянной площадью поперечного сечения S равно:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

где ρ - величина, зависящая от рода вещества и его состояния (от температуры в первую очередь). Величину ρ называют удельным сопротивлением проводника. Удельное сопротивление численно равно сопротивлению проводника, имеющего форму куба с ребром 1 м, при направлении тока вдоль нормали к двум противоположным граням куба.

1.6 Единицей удельного сопротивления является Ом•м. Удельное сопротивление металлов мало. Диэлектрики (стекло, фарфор, дерево и др.) обладают очень большим удельным сопротивлением.

1.7 Реальные электрические цепи содержат множество сопротивлений, соединенных различным образом. К наиболее простым и часто встречающимся соединениям проводников относятся последовательные и параллельные соединения.

1.7.1 При **последовательном** соединении электрическая цепь не имеет разветвлений. Все проводники включают в цепь поочередно друг за другом (рис.1)

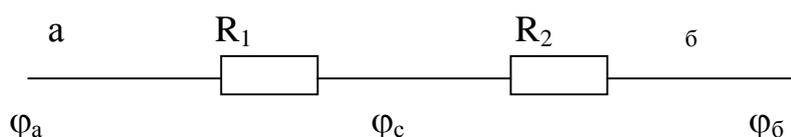


Рис. 1

Т.к. в проводниках электрический заряд в случае постоянного тока не накапливается и через любое поперечное сечение проводника за определенное время проходит один и тот же заряд, то сила тока в обоих проводниках одинакова, т.е. $I_1 = I_2 = I$.

Напряжение на концах рассматриваемого участка цепи складывается из напряжений на каждом проводнике:

$$U = U_1 + U_2 \quad (6)$$

где $U_1 = \varphi_a - \varphi_c$; $U_2 = \varphi_c - \varphi_b$; $U = \varphi_a - \varphi_b$

Применяя закон Ома для всего участка в целом и для участков с сопротивлениями R_1 и R_2 можно доказать, что полное сопротивление всего участка цепи при последовательном соединении равно:

$$R = R_1 + R_2 \quad (7)$$

Это правило можно применить для любого числа последовательно соединенных проводников.

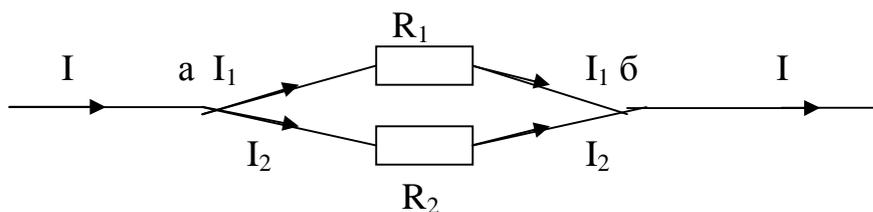


Рис.2

1.7.2. На рис.2 показано **параллельное соединение** двух проводников с сопротивлениями R_1 и R_2 . В этом случае электрический ток I разветвляется на две части. Силу тока в первом и втором проводниках обозначим через I_1 и I_2 . Так как в точке а – разветвлении проводников (такую точку называют узлом) – электрический заряд не накапливается, то заряд, поступающий в единицу времени в узел, равен заряду, уходящему из узла за это же время. Следовательно:

$$I = I_1 + I_2 \quad (8)$$

Напряжение U на концах проводников, соединенных параллельно, одно и то же:

$$U_1 = U_2 = U; \quad \text{т.к. } U = \varphi_a - \varphi_b \quad U_1 = \varphi_a - \varphi_b \quad U_2 = \varphi_a - \varphi_b$$

Применяя закон Ома для всего участка в целом и для участков с сопротивлениями R_1 и R_2 можно доказать, что величина, обратная полному сопротивлению участка ab R , равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (9)$$

2. Основы мостового метода измерений сопротивлений.

Сопротивление какого-либо проводника измеряют, измеряя ток, текущий в нем, и напряжение на его концах. Проще всего собрать для этого схему либо по рис.3(а), либо по рис3(б).

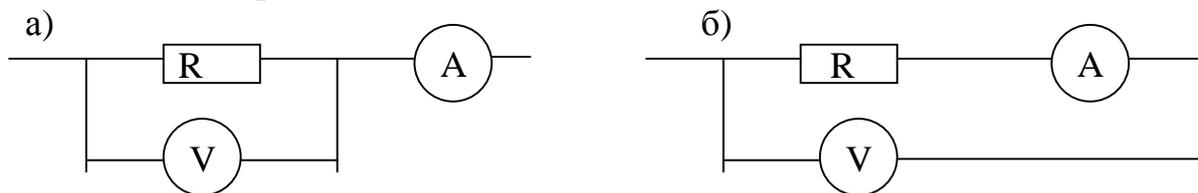


Рис. 3

Однако на рис 3а амперметр на самом деле измеряет не ток, текущий через проводник, а сумму токов, текущих через сопротивление и вольтметр:

$$I_A = I_R + I_V .$$

На рис. 3(б) вольтметр измеряет не напряжение на сопротивлении, а сумму напряжений на сопротивлении и амперметре: $U_V = U_R + U_A$. В обоих случаях значение сопротивления проводника можно определить по формуле: $R = \frac{U}{I}$, но

точность зависит от характеристик амперметра и вольтметра. Поэтому для точных измерений сопротивлений пользуются мостовым методом.

Мостовая схема постоянного тока, часто называемая мостом Уитстона, представляет собой замкнутый четырехугольник, составленный из сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 (рис. 4)

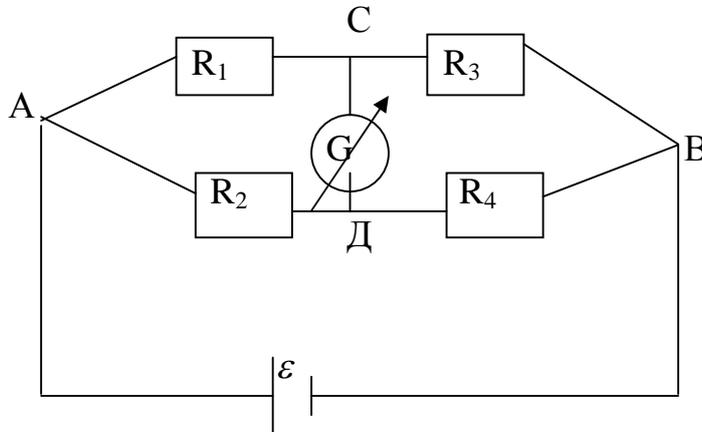


Рис. 4

В одну из диагоналей этой схемы АВ включается источник постоянного тока ε . В другую диагональ СД включается чувствительный гальванометр G. Эта диагональ схемы называется мостиком.

При произвольном соотношении сопротивлений, составляющих мостовую схему, через гальванометр должен идти ток, направление и величину которого надо определять с помощью правил Кирхгофа .

Однако существует одно определенное соотношение между сопротивлениями R_1, R_2, R_3, R_4 когда ток на участке СД отсутствует. Найдем это соотношение. Очевидно, что тока на участке СД не будет, если потенциалы в точках С и Д одинаковы: $\varphi_C = \varphi_D$. Если по участку СД ток не идет, то мы мысленно можем его “выкинуть” и рассмотреть эквивалентную схему (рис.5)

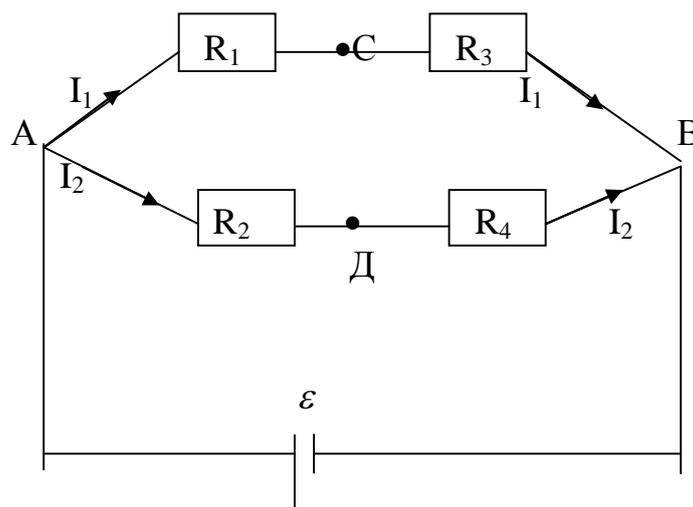


Рис. 5

Потенциалы точек А и В задаются источником. Разность потенциалов на участках АСВ и АДВ одинакова (ветви параллельны), причем:

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D$$

$$\varphi_C - \varphi_B = \varphi_D - \varphi_B$$

т.е. $U_{AC} = U_{AD}$ и $U_{CB} = U_{DB}$

Согласно закону Ома для участка цепи:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$I_1 R_3 = I_2 R_4$$

Полученные уравнения разделим почленно и получим:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (10)$$

Полученное соотношение можно использовать для отыскания любого из четырех сопротивлений, включенных в плечи моста, если известны три других.

3. Выполнение работы

3.1. Описание экспериментальной установки.

Мостовая схема для измерений применяется следующим образом: в одно из плеч включается известное сопротивление R_0 (магазин сопротивлений). Это сопротивление можно менять от 0 до 100000 Ом. В другое плечо включается измеряемое сопротивление R . Второе и четвертое сопротивления создаются тонкой однородной проволокой, натянутой вдоль миллиметровой школы. Это вызвано тем, что в окончательную формулу для расчета R_x входят не величины R_2 и R_4 , а их соотношение R_2/R_4 , которое равно отношению длин отрезков l_1 и l_2 , т.к.

$$R_2 = \frac{\rho l_1}{s} \quad R_4 = \rho \frac{l_2}{s} \quad , \text{откуда} \quad \frac{R_2}{R_4} = \frac{l_1}{l_2}$$

Расстояние l_1 и l_2 отсчитывается от концов А и В проволоки до подвижного контакта Д, скользящего по ней (рис.6)

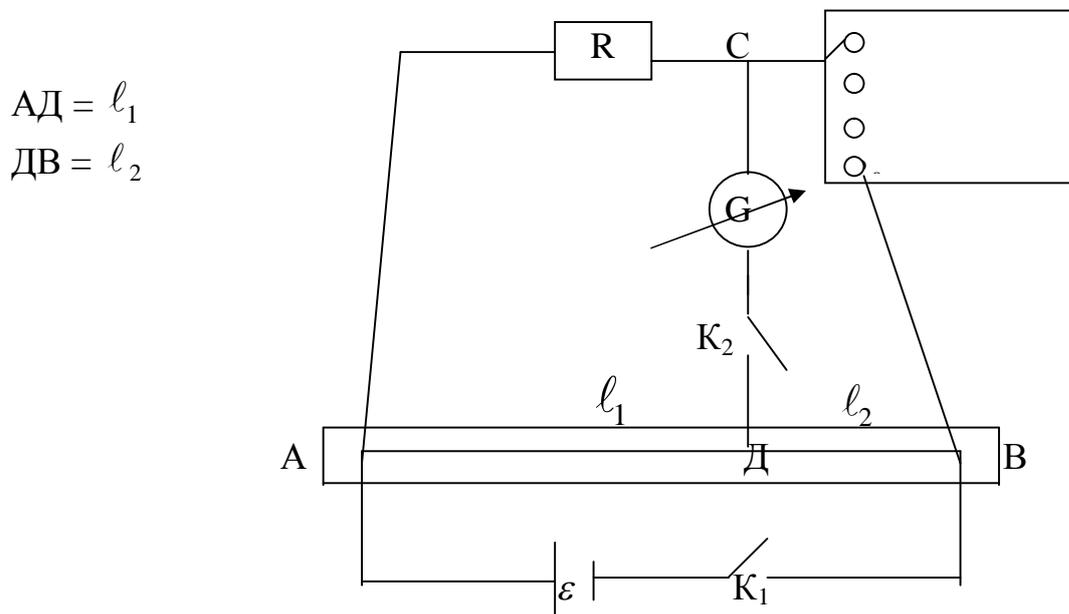


Рис.6

Схема (рис.6) имеет два ключа: ключ K_1 – ключ батареи и ключ K_2 – ключ гальванометра. Если сопротивление обладает самоиндукцией, то в момент замыкания и размыкания цепи образуется довольно сильный ток самоиндукции, прохождение которого через гальванометр нежелательно. Поэтому надо сначала замыкать ключ в цепи батареи (K_1), а потом - в цепи гальванометра, а размыкать сначала цепь гальванометра, а потом - батареи, что и достигается применением двух ключей.

3.2. Измерение и обработка результатов.

1. Перед началом работы ознакомьтесь с элементами установки, их назначением.
2. Соберите схему и проверьте ее у преподавателя или лаборанта.
3. Наберите в магазине сопротивлений любое сопротивление от 100 до 2000 Ом.
4. Движок реохорда D поставьте приблизительно на середину шкалы, включите ключ K_1 и замкните на короткое время цепь гальванометра ключом K_2 . При этом стрелка гальванометра отклоняется от нулевого положения.

5. Увеличьте сопротивление в магазине и снова на короткое время включите гальванометр. Если отклонение стрелки происходит в ту же сторону, нужно уменьшить сопротивление магазина до значения меньшего начального и опять проследить за отклонением стрелки. Если отклонение стрелки происходит в другую сторону, то выберите сопротивление в магазине между 1-м и 2-м значением и вновь проверьте отклонение стрелки.

6. Последовательно изменяя сопротивление магазина, добейтесь максимального уменьшения, отклонения стрелки. Следует иметь в виду, что можно добиться нулевого положения стрелки гальванометра, не меняя сопротивление магазина, а лишь передвигая движок реохорда. Однако это нежелательно, т.к. нужное положение движка может оказаться вблизи края движка. В этом случае погрешность измерений резко возрастает.

7. Когда изменение сопротивления на 1-2 Ом перестает уменьшать отклонение гальванометра, добивайтесь уменьшения этих отклонений перемещением движка.

8. Если найдено положение движка, при котором гальванометр показывает ноль, то неизвестное сопротивление R , измерив l_1 и l_2 находят по формуле:

$$R = R_0 \frac{l_1}{l_2}.$$

9. Рассчитайте погрешность ΔR по формуле:

$$\Delta R = R \left(\frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \right).$$

10. Установите движок в новое положение (например на 2/5 от одного из концов) и повторите пункты 3 - 9.

11. Вновь установите движок в новое положение и повторите пункты 3-9. Старайтесь держать движок вблизи середины реохорда.

12. Искомое значение R найдите как среднее арифметическое всех полученных значений.

13. Погрешность измерения ΔR определите как среднее арифметическое погрешностей всех измерений.

Задания.

1. Измерьте два неизвестных сопротивления R_1 и R_2 .
2. Соедините R_1 и R_2 последовательно и измерьте их общее сопротивление $R_{\text{посл.}}$.
3. Соедините R_1 и R_2 параллельно и измерьте их общее сопротивление $R_{\text{парал}}$.
4. Сопоставьте полученные результаты $R_{\text{посл.}}$ и $R_{\text{парал.}}$ с их значениями, рассчитанными по формулам (7) и (9).

Таблица измерений.

R	ΔR	I_1	ΔI_1	I_2	ΔI_2	R_x	ΔR_x
Ом	Ом	см	см	см	см	Ом	Ом

Контрольные вопросы:

1. Что такое электрический ток? Почему в определении подчеркивается “направленное” движение зарядов?
2. Как определяется величина тока? В каких единицах измеряется сила тока?
3. Как связана величина тока с потенциальной энергией заряда? Каково основное условие существования тока в проводнике?
4. Сформулируйте закон Ома.
5. Что называют сопротивлением проводника? От чего оно зависит? Как можно изменить сопротивление проводника?
6. Начертите схему и подсчитайте общее сопротивление участка цепи при последовательном и параллельном соединении двух проводников с сопротивлениями:
а) $R_1 = 100 \text{ Ом}$ $R_2 = 400 \text{ Ом}$
б) $R_1 = 20 \text{ Ом}$ $R_2 = 20 \text{ Ом}$
в) $R_1 = 20 \text{ Ом}$ $R_2 = 2000 \text{ Ом}$
г) $R_1 = 5000 \text{ Ом}$ $R_2 = 500 \text{ Ом}$
7. Какие сопротивления можно получить, имея три резистора сопротивлением 6 Ом.
8. Используя схемы, изображенные на 3а и 3б, получите формулу для расчета R по показаниям приборов I и U для каждого случая с учетом известных сопротивлений амперметра R_A и вольтметра R_V .

Литература.

1. А.С. Шубин “Курс общей физики”, гл.8, параграфы 1-3.
2. И.В. Савельев “Курс общей физики”, параграфы 33-36.
3. В.И. Иверонова “Физический практикум”.

