

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА.
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОСТИКОМ УИТСТОНА**

Методические указания к лабораторной работе №3
для студентов всех специальностей
дневной и заочной формы обучения

Могилев 2015

УДК 532.516

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры физики

Протокол № 10 от 15.05.15

Составитель Т. В. Светлова

Рецензент к. ф–м. н. А.С. Скапцов

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы №3 **«ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОСТИКОМ УИТСТОНА»** по разделу «Электричество» для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения.

©УО«Могилевский государственный университет продовольствия», 2015

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОСТИКОМ УИТСТОНА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение цепей постоянного тока, применение мостовой схемы Уитстона для измерения сопротивления проводников.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: реохорд, магазин сопротивлений, искомые сопротивления, ключ, балластное сопротивление, источник постоянного тока, гальванометр, соединительные провода.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электрическим током называется направленное движение заряженных частиц под действием электрического поля. Для возникновения и существования электрического тока необходимо:

- наличие свободных заряженных частиц;
- наличие электрического поля.

За направление электрического тока принимают направление движения положительных зарядов.

Количественной мерой электрического тока служит *сила тока* I – скалярная физическая величина, определяемая зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{dQ}{dt}. \quad (1)$$

Если сила тока и его направление не меняются со временем, то такой ток называется *постоянным*. Для постоянного тока $I = \frac{q}{t}$, где q – электрический заряд, t – время.

Единицей измерения силы тока является ампер (А), одна из основных единиц системы СИ.

Если на участке цепи на носители тока действуют только силы электростатического поля, то происходит перемещение свободных носителей заряда из области с большим потенциалом в область меньшего потенциала. Движение зарядов происходит до тех пор, пока потенциалы зарядов во всех точках на длине проводника не станут одинаковыми. Процесс выравнивания потенциалов протекает достаточно быстро. Для того, чтобы на участке цепи поддерживать ток продолжительное время, необходимо создать условия, при которых на электрические заряды в конечных точках участка цепи действовали бы силы, способствующие их разделению на положительные и отрицательные. Электростатические силы не способны выполнить такую работу, т.к. эти силы потенциальны. Поэтому силы, которые могут это сделать, имеют неэлектростатическую природу и их называют сторонними, а устройства, в которых они действуют, носят название источники тока.

Природа сторонних сил может быть различной. Например, в гальванических элементах они возникают за счет энергии химических реакций между электродами и электролитами; в генераторе – за счет механической энергии вращения ротора и т.п. Под действием поля сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока против сил электростатического поля.

Количественной характеристикой действия сторонних сил является электродвижущая сила (ЭДС). Это физическая величина равная работе A_{12} по перемещению единичного положительного заряда q_0 из точки 1 цепи в точку 2.

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{12}}{q_0}. \quad (2)$$

Единицей измерения ЭДС является Вольт.

Если электрические заряды на участке цепи 1-2 испытывают действие и сторонних, и электростатических сил, то говорят о напряжении на участке цепи. Напряжение – это физическая величина равная работе сторонних и электростатических сил при перемещении единичного положительного заряда.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{1-2}. \quad (3)$$

Понятие напряжения является более общим понятием, чем разность потенциалов: напряжение на концах участка равно разности потенциалов в том случае, если на этом участке не действует ЭДС, т.е. сторонние силы отсутствуют.

Немецкий физик Г.Ом экспериментально установил, что сила тока I , текущего по однородному металлическому проводнику (т.е. проводнику, в котором не действуют сторонние силы), пропорциональна напряжению на концах проводника:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4)$$

где R – электрическое сопротивление проводника (Ом). Сопротивление проводников зависит от его размеров и формы, а также от материала, из которого изготовлен проводник. Для однородного линейного проводника сопротивление проводника прямо пропорционально его длине l и обратно пропорционально площади его поперечного сечения S :

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

где ρ – удельное сопротивление проводника (Ом·м).

Уравнение (4) выражает закон Ома для однородного участка цепи (не содержащего источника тока): сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

Закон Ома для неоднородного участка цепи, содержащего ЭДС:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{1-2}}{R}. \quad (6)$$

Если на данном участке ЭДС отсутствует, то из формулы (6) приходим к закону Ома для однородного участка цепи (4).

Если электрическая цепь замкнута, то выбранные точки 1 и 2 совпадают, $\varphi_1 = \varphi_2$, тогда из формулы (6) получим закон Ома для замкнутой цепи, содержащей ЭДС:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}, \quad (7)$$

где ε – ЭДС источника тока, R – сопротивление нагрузки; r – внутреннее сопротивление источника тока. Схема замкнутой цепи с источником тока и нагрузкой приведена на рисунке 1.

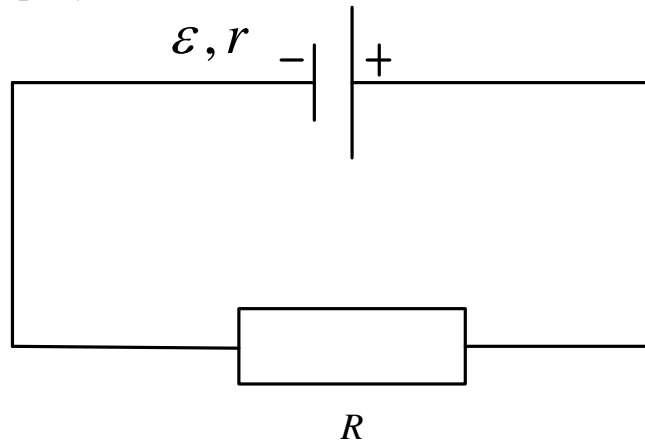


Рисунок 1 – Схема замкнутой электростатической цепи с источником тока и нагрузкой сопротивлением R .

В электрических цепях проводники могут соединяться последовательно и параллельно. Схема последовательного соединения приведена на рисунке 2.

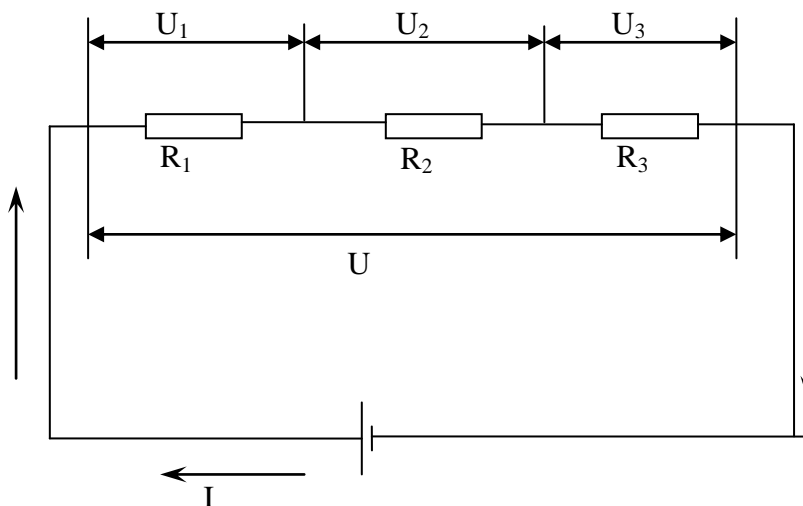


Рисунок 2 - Схема последовательного соединения проводников, подключенных к источнику тока

При последовательном соединении сила тока I одинакова во всех проводниках, а напряжение на концах цепи равно сумме напряжений на всех последовательно включенных проводниках.

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n, \quad (8)$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (9)$$

Из закона Ома для участка цепи

$$R_{об} = \frac{U_{об}}{I_{об}} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \dots + \frac{U_n}{I} = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (10)$$

Таким образом, общее электрическое сопротивление равно сумме электрических сопротивлений всех проводников:

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (11)$$

Схема параллельного соединения проводников приведена на рисунке 3.

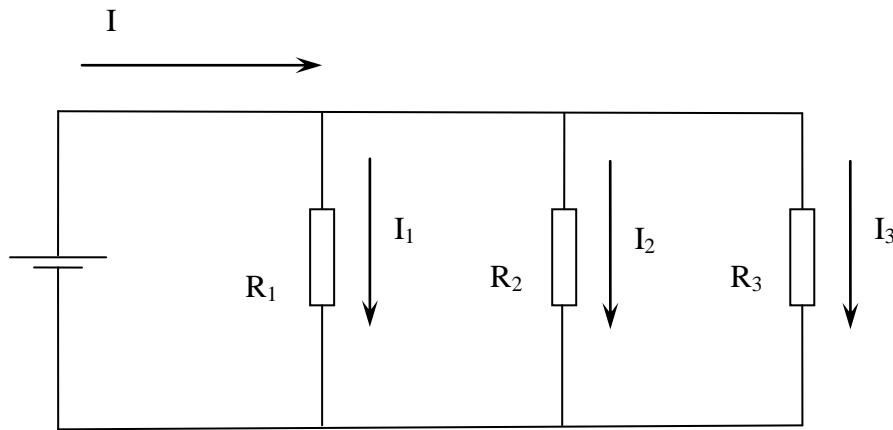


Рисунок 3- Параллельное соединение проводников

При таком соединении напряжение U на всех проводниках одинаково, а сила тока I в неразветвленной цепи равна сумме сил токов во всех параллельно включенных проводниках.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n, \quad (12)$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n, \quad (13)$$

$$R_{об} = \frac{U_{об}}{I_{об}} = \frac{U}{I_1 + I_2 + \dots + I_n} = \frac{1}{\frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} + \dots + \frac{I_n}{U}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad (14)$$

Таким образом, при параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям всех параллельно включенных проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (15)$$

Обобщенный закон Ома (6) позволяет рассчитывать сложные электрические цепи. Однако непосредственный расчет разветвленных цепей, содержащих несколько замкнутых контуров довольно сложен. Более простой подход к решению таких задач основан на использовании правил Кирхгофа.

Любая точка разветвления цепи, в которой сходится не менее трех проводников с током, называется узлом. При этом ток, входящий в узел, считается положительным, а ток, выходящий из узла, – отрицательным.

Согласно первому правилу Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_k I_k = 0. \quad (16)$$

Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, сумма падений напряжений на каждом из элементов контура равна сумме ЭДС, включенных в этот контур:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k. \quad (17)$$

При расчете сложной цепи с применением правил Кирхгофа следует соблюдать определенную последовательность действий:

1. Произвольно задать направление токов на всех участках цепи.
2. Задать положительное направление обхода контура. Принято считать, что если направление тока на данном участке совпадает с направлением обхода контура, то падение напряжения на участке положительно. ЭДС источника считается положительной, если совпадает с заданным направлением обхода.

3. Составить систему алгебраических уравнений так, чтобы число уравнений было равно числу искомых величин. При этом необходимо помнить, что уравнения системы должны содержать все элементы цепи (сопротивления, ЭДС источников).

Перейдем к конкретному применению правил Кирхгофа – к рассмотрению мостовых схем.

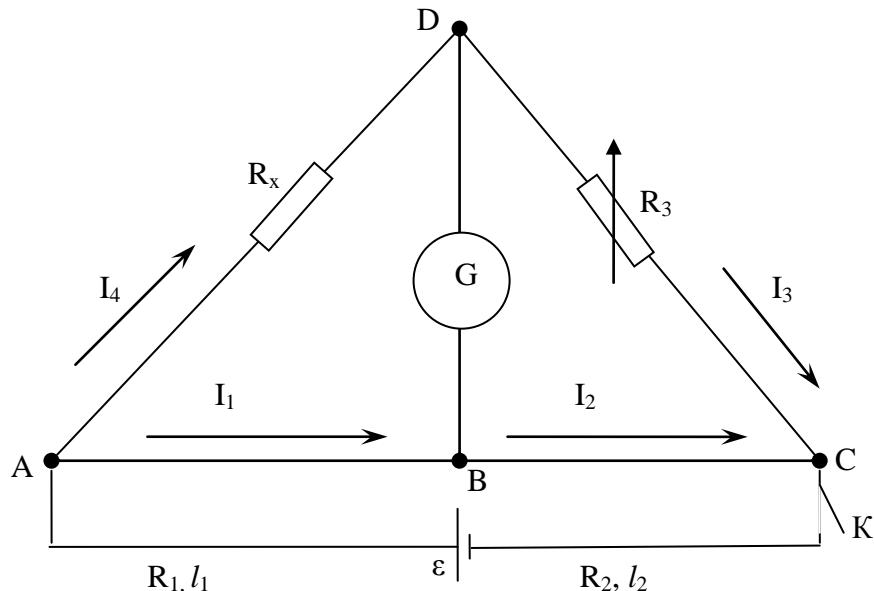


Рисунок 4- Схема моста Уитстона

Мостовая схема Уитстона представлена на рисунке 3. Основными элементами схемы являются: однородный цилиндрический проводник AC,

закрепленный на линейке с делениями (реохорд), подвижный ползунок реохорда, соединенный с проводником в точке В; плечи моста AD и DC, источник постоянного тока и гальванометр G. В плечо моста DC подключается магазин сопротивлений R_3 , а в плечо AD – резистор, сопротивление R_x которого необходимо измерить. Гальванометр включается между точками В и D мостовой схемы и предназначен для контроля токов в плечах моста.

Для определения сопротивления R_x моста приводится в равновесие при помощи магазина сопротивлений и подвижного контакта В. Равновесие наступает тогда, когда потенциалы точек В и D равны, и ток в гальванометре отсутствует. Зададим направление токов, как указано на рисунке 3. Тогда по первому правилу Кирхгофа для узлов В и D можно записать:

$$I_1 - I_2 = 0, \quad (18)$$

$$I_4 - I_3 = 0. \quad (19)$$

При составлении уравнений (18) и (19) учитывается, что ток на участке ВD равен нулю.

Выберем направление обхода контуров по часовой стрелке. Тогда, применяя второе правило Кирхгофа для контуров ABDA и BCDB, получим:

$$I_4 R_x - I_1 R_1 = 0, \quad (20)$$

$$I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0. \quad (21)$$

Решая совместно систему уравнений (18) – (21) получим

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}; \quad (22)$$

т.е.

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2}. \quad (23)$$

Поскольку, сопротивление проволочного проводника определяется как $R = \rho \frac{l}{S}$, то отношение $\frac{R_1}{R_2}$ в формуле (23) можно заменить отношением $\frac{l_1}{l_2}$, где l_1 и l_2 - длина плеч реохорда. Таким образом, окончательно получаем

$$R_x = R_3 \frac{l_1}{l_2}. \quad (24)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите схему, руководствуясь рисунком 4, не подключая источник питания.
2. На магазине сопротивлений установите сопротивление 2000 Ом. Ползунок реохорда установите на середину шкалы.
3. После проверки собранной схемы преподавателем подключите источник питания в сеть напряжением 36 В, замкните ключ, при этом стрелка гальванометра отклонится в правую или левую сторону.

4. Перемещая ползунок реохорда **B**, добейтесь, чтобы стрелка гальванометра встала на ноль. В этом случае справедлива формула (24), по которой определите $R_{x \text{ практ}}$.

5. В магазине сопротивлений установите 2200 Ом. Повторите п.4.

6. В магазине сопротивлений установите 1800 Ом. Повторите п.4.

7. Рассчитайте среднее значение сопротивления.

8. Значения измерений, полученные в п.4 - 7, запишите в таблицу:

$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_x, \text{ Ом}$	$R_{x \text{ сред}}, \text{ Ом}$
		2000		
		2200		
		1800		

9. Разомкните ключ.

10. Подключите в схему второе неизвестное сопротивление, замкните ключ и повторите п. 2 – 9.

11. Соедините два неизвестных сопротивления последовательно и повторите п. 2 – 9.

12. Рассчитайте сопротивление двух последовательно соединенных проводников по формуле: $R_{\text{теор}} = R_1 + R_2$

13. Рассчитайте относительное расхождение (в процентах) экспериментальных данных от теоретических по формуле:

$$\xi = \frac{|R_{\text{теор}} - R_{\text{практ}}|}{R_{\text{теор}}} \cdot 100$$

14. Соедините два неизвестных сопротивления параллельно и повторите п. 2 – 9.

15. Отключите источник от сети.

16. Рассчитайте сопротивление двух последовательно соединенных проводников по формуле: $\frac{1}{R_{\text{теор}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

17. Рассчитайте относительное расхождение экспериментальных значений от теоретических по формуле: $\xi = \frac{|R_{\text{теор}} - R_{\text{практ}}|}{R_{\text{теор}}} \cdot 100$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под электрическим током? Назовите условия возникновения и существования электрического тока.
2. Каков физический смысл силы тока? В чем измеряется сила тока?
3. Какой ток называют постоянным?
4. Какие силы называют сторонними. Какова их природа?
5. Что представляют собой источники тока и каково их назначение?
6. Что такое ЭДС? В чем она измеряется?
7. От чего зависит сопротивление проводника?
8. Какое соединение проводников называют последовательным? Сделайте вывод формулы (11).
9. Какое соединение проводников называют параллельным? Сделайте вывод формулы (15).
10. Запишите законы Ома для однородного и неоднородного участков цепи. Запишите закон Ома для замкнутой электрической цепи, содержащей ЭДС.
11. Сформулируйте правила Кирхгофа
12. Каков принцип действия моста Уитстона?
13. Сделайте вывод рабочей формулы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3т., Т. 2. – СПб.: Лань, 2007. -336 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2007. – 558 с.
3. Детлаф А.А Курс физики: учеб. Пособие / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский / - М. Академия, 2005. – 720 с.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА.
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОСТИКОМ УИТСТОНА**

Методические указания

Составитель: Светлова Татьяна Вячеславовна

Редактор Т. Л. Матеуш

Технический редактор А. А. Щербакова

Подписано в печать 31.10.08 Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 0,63 Уч.-изд. л. 0,75

Тираж 80 экз. Заказ 170

Учреждение образования

«Могилевский государственный университет продовольствия».

212027, Могилев, пр-т Шмидта, 3.

ЛИ № 02330/0131913 от 08.02.2007.

Отпечатано на ризографе редакционно-издательского отдела

учреждения образования

«Могилевский государственный университет продовольствия».

212027, Могилев, пр-т Шмидта, 3.

ЛП № 226 от 12.02.2003.