

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики, электротехники и автоматики

Лабораторная работа №31

«МОСТОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ»

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки

Казань

2017

УДК 535
ББК 22.34
С 35

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех специальностей. Лабораторная работа №31 «МОСТОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ»/ Сост.: В.И.Сундуков, Казань: КГАСУ, 2017 г.- 12 с.

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения аудиторной и самостоятельной работы студентов всех специальностей.

В работе изложены некоторые вопросы электричества, приводятся основные законы постоянного тока, рассматривается мостовой метод измерения сопротивления проводника. Приведено описание лабораторной установки и изложена методика проведения эксперимента.

Стр.12, рис. 5, табл.1.

Рецензент
доцент кафедры теплоэнергетики В.Н. Енюшин

УДК 535
ББК 22.34

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2017 г.
© Сундуков В.И., 2017

Цель работы: Ознакомление с мостовым методом измерения сопротивлений. Измерение неизвестных сопротивлений. Экспериментальная проверка формул для величины сопротивления последовательного и параллельного соединения резисторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электрический ток. Основные определения. На заряд в электрическом поле действует кулоновская сила, которая перемещает положительные заряды по полю, отрицательные против поля. Если создать электрическое поле в металлическом проводнике, то на тепловое хаотическое движение электронов наложится их упорядоченное движение под действием сил этого поля. Возникнет электрический ток.

Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц. В зависимости от типа проводящей среды электрический ток называют током проводимости (в металлах), током в электролитах, током в газах, током смещения и т. д. За направление тока принято считать направление движения положительного заряда. В металлах направление тока противоположно направлению упорядоченного движения электронов. Для того чтобы в проводнике длительное время существовал электрический ток необходимо: наличие электрических зарядов и наличие внутри проводника электрического поля.

Количественной мерой электрического тока является сила тока. Силой тока I называется отношение заряда dq , переносимого через некоторое сечение проводника за малый промежуток времени dt , к величине этого промежутка:

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

В международной системе единиц СИ единицей измерения силы тока является ампер (А). Если сила тока с течением времени не изменяется, то такой ток называют постоянным. Постоянный ток в электрической цепи возможен, если внутри проводников этой цепи существует постоянное электрическое поле. Создать его можно перераспределив определённым образом заряды вдоль проводников цепи. Однако перенос заряда под действием электростатических сил быстро приводит к электрическому равновесию, выравниванию потенциала всех проводников и прекращению тока. Для поддержания тока необходимо организовать «круговорот зарядов» в цепи. Чтобы поддерживать ток в цепи постоянным, в каком-то её участке (или во всей цепи) должны действовать силы, перемещающие заряды против сил электростатического поля. Такие силы, в отличие от «кулоновских», называют «сторонними». Влияние «сторонних» сил принято характеризовать величиной, называемой электродвижущей силой (ЭДС). Величина, равная отношению работы сторонних сил по

перемещению заряда в цепи $A_{ст}$ к величине этого заряда q , называется ЭДС источника тока \mathcal{E} :

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q} \quad (2)$$

В электростатике аналогичной формулой определялась разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ через работу электростатического поля $A_{эл}$

$$\Delta\varphi = \frac{A_{эл}}{q} \quad (3)$$

Для участка электрической цепи вводится напряжение, как сумма разности потенциалов и ЭДС на этом участке

$$U = \frac{A_{эл} + A_{ст}}{q} = \Delta\varphi + \mathcal{E} \quad (4)$$

Напряжение, ЭДС и разность потенциалов в системе СИ измеряется в вольтах (В). ЭДС является характеристикой источника тока, на практике её можно измерить, подключив вольтметр с высоким внутренним сопротивлением к зажимам отдельного источника. Напряжение совпадает с разностью потенциалов в том случае, когда участок цепи не содержит источника тока (ЭДС).

Закон Ома. При равновесии зарядов в проводниках потенциал всех точек проводника одинаков. Выяснению точной количественной закономерности о соотношении между силой протекающего тока и величиной падения потенциала, а также других закономерностей постоянного тока посвятил свои эксперименты Георг Ом в первой половине XIX века. Закон Ома для однородного участка цепи гласит: «Сила тока прямо пропорциональна разности потенциалов между концами однородного участка цепи». Этот закон принято записывать в следующем виде:

$$I = \frac{U}{R} \quad (5)$$

Величина R называется сопротивлением и измеряется в системе СИ в омах (Ом). Разность потенциалов в данном случае совпадает с напряжением U . Величина обратная сопротивлению называется проводимостью $G = \frac{1}{R}$ и измеряется в сименсах (См). Используя проводимость закон Ома можно переписать в виде:

$$I = G \cdot U \quad (6)$$

Для полной цепи закон Ома может быть записан в виде

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (7)$$

Здесь \mathcal{E} – ЭДС, r – внутреннее сопротивление источника, R – сопротивление внешней цепи.

Последовательное и параллельное соединение проводников. На практике внешние проводники соединяются между собой разнообразным образом. Наиболее простыми являются последовательные и параллельные соединения, приведённые на рис. 1. Проводники изображают на схемах в виде резисторов. Резистор – элемент электрической цепи, характеризуемый только сопротивлением электрическому току. На схемах резистор обозначается прямоугольником. Часто бывает, необходимо рассчитать общее сопротивление нескольких резисторов, соединённых последовательно и параллельно. Рассмотрим, как это делается.

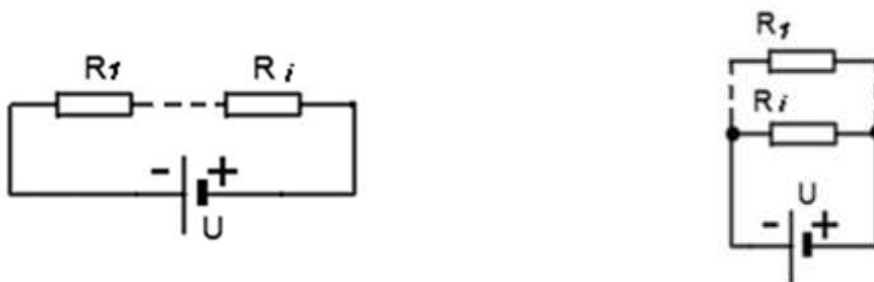


Рис. 1. Последовательное и параллельное соединение резисторов.

При последовательном соединении через все резисторы протекает один и тот же ток ($I = I_1 = I_2 = \dots = I_i$), напряжение на концах цепи равно сумме напряжений на каждом резисторе ($U = U_1 + U_2 + \dots + U_i$).

Согласно закону Ома (5)

$$U = I \cdot R = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 + \dots + I_i \cdot R_i \quad (8)$$

Разделив выражение на силу тока для сопротивления последовательной цепи получим

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_i \quad (9)$$

При параллельном соединении на всех резисторах одинаковое напряжение ($U = U_1 = U_2 = \dots = U_i$), а сила тока равна сумме токов в каждом резисторе ($I = I_1 + I_2 + \dots + I_i$). Согласно закону Ома, используя проводимости (6), запишем

$$I = U \cdot G = U_1 \cdot G_1 + U_2 \cdot G_2 + \dots + U_i \cdot G_i \quad (10)$$

Разделив выражение на напряжение для проводимости параллельной цепи получим

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_i$$

или

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_i \quad (11)$$

Схема моста Уитстона. Из закона Ома следует, что сопротивление проводника можно найти, измерив силу тока через проводник и напряжение на нём. Однако более удобным измерение сопротивления можно сделать с помощью схемы, которую более чем 150 лет назад предложил английский физик Чарльз Уитстон. Эта схема, называемая "мост Уитстона", применяется в настоящее время в том или ином виде при измерении сопротивлений проводников.

Рассмотрим свойства и принцип работы этой схемы. Схема содержит четыре сопротивления, соединенные в две параллельные ветви по два последовательно включенных сопротивления (рис. 2).

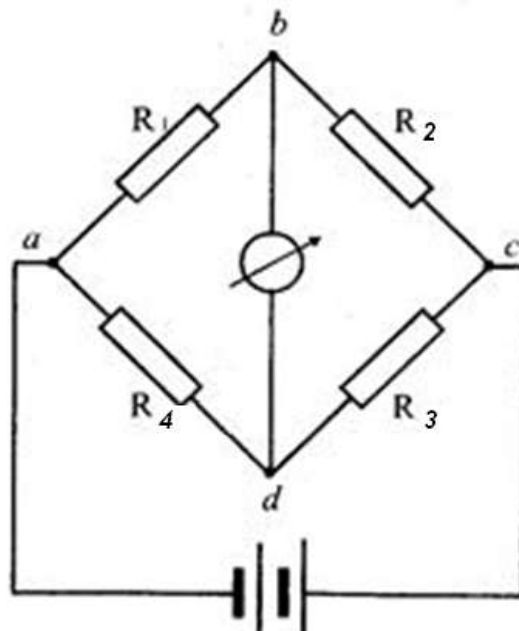


Рис.2. Схема моста Уитстона.

При измерении добиваются равновесия моста – состояния, при котором ток через гальванометр равен нулю. Гальванометр – это историческое название прибора для измерения малых токов. Очевидно, что отсутствие тока через гальванометр происходит в том случае, если напряжение между точками b и d равно нулю. В этом случае сила тока I_1 через сопротивление R_1 совпадает с силой тока I_2 через сопротивление R_2 , сила тока I_4 через сопротивление R_4 совпадает с силой тока I_3 через сопротивление R_3 . Напряжения на сопротивлениях R_1 и R_4 должны быть равными друг другу. Также должны быть одинаковыми напряжения на сопротивлениях R_2 и R_3 . Исходя из вышесказанного, можно записать:

$$I_1 \cdot R_1 = I_4 \cdot R_4 \quad \text{и} \quad I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3 \quad (12)$$

Разделив первое уравнение на второе получим:

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_4 R_4}{I_3 R_3} \quad (13)$$

Поскольку $I_1=I_2$ и $I_4=I_3$, то окончательно можно записать

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (14)$$

При выполнении условия (14) мост Уитстона сбалансирован, то есть измерительный прибор (гальванометр), включенный между точками b и d , будет показывать нулевое значение силы тока (напряжения).

Теперь рассмотрим, как на практике осуществляется измерение сопротивлений. В качестве неизвестного сопротивления, величину которого надо определить, возьмем $R_x=R_2$. Тогда из (14) получим

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_4} \quad (15)$$

Практические измерения неизвестных сопротивлений при помощи моста Уитстона могут осуществляться двумя способами. В первом – вместо резистора R_1 подключают магазин сопротивлений, во втором – вместо сопротивлений R_3 и R_4 включают реохорд.

Принципиальная схема во втором случае приведена на рис.3.

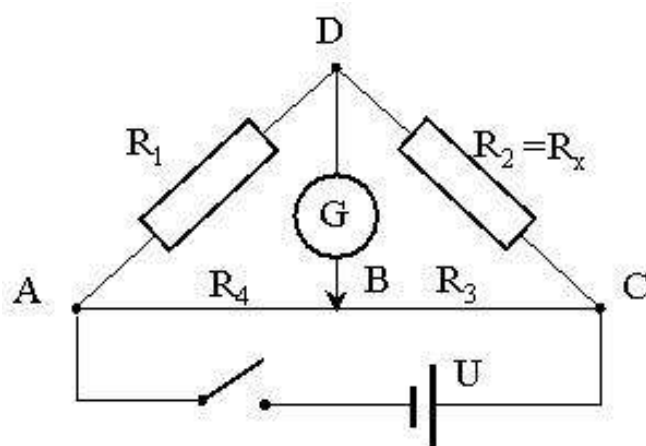


Рис.3. Мост Уитстона с реохордом.

Сопротивления R_3 и R_4 изготовляются из однородной проволоки, по которой скользит контакт, соответствующий точке В. Включив питание "моста", увидим, что стрелка гальванометра не показывает нуль. Передвигая контакт В, тем самым пропорционально изменяя сопротивления R_3 и R_4 , находим положение, при котором гальванометр показывает нуль. Это значит, что разность потенциалов между

точками В и D отсутствует и выполняется тем самым выражение (15). Сопротивления R_3 и R_4 являются частями одного отрезка однородной проволоки. Эта проволока может быть натянута на деревянном бруске, к которому прикреплен линейка со шкалой. На этом же бруске укреплен подвижной контакт D. Это устройство называется реохордом. Однородная проволока – это проволока, имеющая по всей длине одинаковую плотность и диаметр. Сопротивление однородной проволоки R прямо пропорционально ее длине l и обратно пропорционально площади ее поперечного сечения S :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (16)$$

где ρ – удельное сопротивление металла, из которого изготовлена проволока. Следовательно, вместо сопротивления R_4 можно взять длину отрезка $AD = l_1$, а вместо R_3 длину отрезка $DB = l_2$. Тогда формула (15) примет вид

$$R_x = R_1 \frac{l_1}{l_2} \quad (17)$$

длины отрезков l_1, l_2 отсчитываются по линейке.

На простом мосте Уитстона можно вести измерения с точностью до десятых долей Ома.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Лабораторная работа выполняется в двух вариантах, первый – эксперимент на лабораторной установке, второй – измерения на компьютерной модели. Вариант компьютерной модели предназначен в первую очередь для дистанционной и заочной формы обучения, но также может быть полезен студентам очной формы обучения для более глубокого изучения мостового метода измерения сопротивления.

1. Проведение измерений на лабораторной установке.

Макет лабораторной установки изображён на рис. 4. Сопротивления $R_3 = 1 \text{ кОм}$, $R_4 = 10 \text{ кОм}$. Резистор R_1 выполнен в виде магазина сопротивлений, значения которых может изменяться от 1 до 999 кОм

На рисунке 4 изображена лабораторная установка. Для проведения измерений её необходимо включить в сеть, при этом загорится красный светодиод. Неизвестные сопротивления вставляются в гнезда на место сопротивления R_2 . Несколько рядом расположенных гнезд позволяют включать сопротивления как по-отдельности, так и два вместе – параллельно или последовательно.



Рис.4. Макет лабораторной установки.

Ход работы.

1. Включите установку в сеть. Загорится красный светодиод.
2. Подключите на место сопротивления R_2 первое неизвестное сопротивление.
3. Поставьте три ручки магазина сопротивлений R_1 в нулевое положение.
4. Нажмите кнопку «измерение» и начинайте увеличивать показания старшего разряда магазина сопротивлений до того значения при котором стрелка прибора перейдет из левого положения через ноль вправо.
5. Верните ручку на шаг назад и повторяйте такую же процедуру со следующим разрядом. Потом повторите то же самое с последним третьим разрядом. Мост уравновешен, если показания прибора равны нулю.
6. Вычислите по формуле (15) значение неизвестного сопротивления резистора.
7. Подключите другой неизвестный резистор R_{x2} и повторите измерения (пункты 4-6).

8. Далее подключите неизвестные резисторы R_{X1} и R_{X2} сначала последовательно, используя дополнительные гнезда, и проведите измерения сопротивления.
9. Потом подключите резисторы R_{X1} и R_{X2} параллельно в гнезда и проведите измерения сопротивления.
10. Проверьте формулы последовательного и параллельного соединения проводников. Для этого по формуле (9) рассчитайте сопротивление последовательно соединённых резисторов, измеренных в пунктах 3 и 4 и по формуле (11) сопротивление параллельно соединённых этих же резисторов.
11. По результатам измерений заполните таблицу 1.

Таблица 1. $R_3=1\text{ кОм}$ $R_4=10\text{ кОм}$

Измеренные значения				Рассчитанные значения	
R_{X1}	R_{X2}	$R_{\text{послед}}$	$R_{\text{паралл}}$	$R_{\text{послед}}$	$R_{\text{паралл}}$

2. Измерения на компьютерной модели моста Уитстона

Запустите на компьютере программу «мост Уитстона» - имя файла mostik.exe. Выберите кнопкой эксперимент. На экране компьютера появится схема компьютерной модели (рис.5). На данной модели можно проводить измерения сопротивлений двух неизвестных резисторов и их последовательного и параллельного соединений двумя способами. В первом способе измерения осуществляют изменением реостата (аналог магазина сопротивлений). Во втором – изменением длины плеч реохорда.

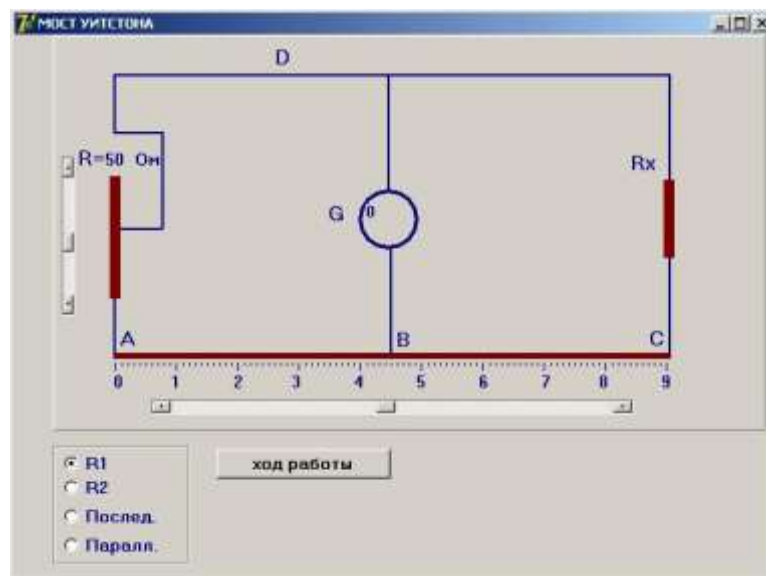


Рис. 5. Компьютерная модель моста Уитстона.

Ход работы.

1. В начале опыта в схеме подключен неизвестный резистор R_{X1} , сопротивление реостата равно 50 Ом, а у реохорда равные плечи.
2. Изменением сопротивления реостата слева добейтесь минимального тока моста. Круг гальванометра при этом окрашивается красным.
3. Вычислите по формуле (17) значение неизвестного сопротивления резистора R_{X1} . Так как плечи реохорда равны, то неизвестное сопротивление равно сопротивлению реостата.
4. Подключить другой неизвестный резистор R_{X2} и повторить измерения (пункты 2,3).
5. Далее подключите неизвестные резисторы R_{X1} и R_{X2} сначала последовательно и проведите измерения,
6. Потом подключите неизвестные резисторы R_{X1} и R_{X2} параллельно и измерьте сопротивление.
7. На основании полученных результатов проверьте законы последовательного и параллельного соединения проводников по формулам (9) и (11).
8. Повторите эксперимент по измерению этих четырёх неизвестных значений сопротивлений (1-е, 2-е, последовательное, параллельное), добиваясь равновесия моста изменением плеч реохорда, не изменяя при этом сопротивление реостата. Вычисление сопротивления производите по формуле (17).
9. Заполните таблицу 1 результатами эксперимента и вычислений.
10. Сделайте вывод о точности измерений в первом и втором случае.

Вопросы для подготовки

1. Что называется электрическим током?
2. Как выбирается направление тока?
3. В каких единицах в системе СИ измеряется сила тока?
4. Какими зарядами создаётся электрический ток в металлических проводниках?
5. Что такое электродвижущая сила (ЭДС), в каких единицах она измеряется?
6. Что такое напряжение, в каких единицах оно измеряется?
7. Запишите закон Ома для участка цепи.

8. Запишите закон Ома для полной цепи.
9. В каких единицах измеряется сопротивление и проводимость?
10. Выведите формулы для сопротивления последовательного и параллельного соединения проводников.
11. От каких величин зависит сопротивление металлической проволоки? Запишите формулу.
12. Нарисуйте схему моста Уитстона.
13. Что называется равновесием моста?
14. Запишите условие равновесия моста.
15. Выведите формулу условия равновесия моста.