

**Специализированный учебно-научный центр -
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова
Кафедра физики**

Общий физический практикум

Лабораторная работа №3.3

**Измерение сопротивлений при помощи
моста Уитстона**

Составитель Т.П. Корнеева

2011 г.

Измерение сопротивлений при помощи моста Уитстона

Цель работы:

1. Ознакомление с классическим методом измерения сопротивлений при помощи мостовой измерительной схемы.
2. Измерение неизвестных сопротивлений.
3. Экспериментальная проверка формул для величины сопротивления последовательного и параллельного соединения резисторов.

Приборы и оборудование:

Реохорд, магазин сопротивлений, нуль-гальванометр, источник постоянного тока, набор измеряемых сопротивлений.

Метод измерения сопротивлений с помощью измерительного моста.

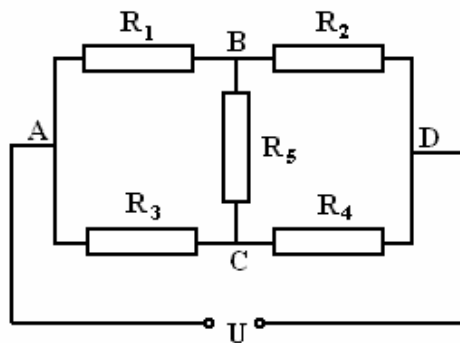


Рис. 1

Мостовой схемой называют представленную на рис. 1 схему соединения проводников. Участки АВ, ВD, АС и СD называются «плечи моста», а участки ВС и АD – «диагонали моста». Если сопротивления всех резисторов известны и задано напряжение на участке АD, можно, применяя правила Кирхгофа, рассчитать токи, текущие через каждый резистор. Особый интерес представляет случай, когда ток в диагонали ВС равен нулю. В этой ситуации говорят, что мост «сбалансирован». Выясним, при каких соотношениях между сопротивлениями резисторов возможен баланс моста.

Поскольку на участке ВС тока нет, через участки АВ и ВD протекает одинаковый ток. Обозначим его I_1 . Ток через участок АСD обозначим I_2 .

Отсутствие тока на участке ВС означает также, что потенциалы точек В и С равны между собой. Отсюда следует равенство напряжений:

$$\begin{aligned}U_{AB} &= U_{AC} \\ U_{BD} &= U_{CD}.\end{aligned}$$

Эти равенства можно записать, используя закон Ома:

$$I_1 R_1 = I_2 R_3 \quad (1)$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 \quad (2)$$

Разделив почленно равенства (1) и (2), получим *условие баланса моста*:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

Нетрудно видеть, что условие баланса может быть представлено и так:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (4)$$

Классическим методом измерения сопротивлений является метод моста постоянного тока. На рис.2 представлена схема простейшего измерительного моста, обычно именуемого мостом Уитстона.

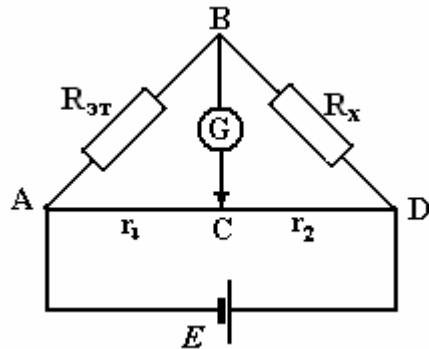


Рис. 2

Измеряемое сопротивление R_x образует участок BD, а в участок AB включают магазин сопротивлений, позволяющий подбирать эталонное сопротивление $R_{эт}$ с большой точностью. Участок ACD (сопротивления r_1 и r_2) образуется реохордом, который представляет собой калиброванную по диаметру стальную или нихромовую проволоку, сопротивление которой пропорционально ее длине. По реохорду перемещается скользящий контакт C, который позволяет изменять соотношение между сопротивлениями r_1 и r_2 . В диагональ моста BC включается чувствительный гальванометр. Перемещая контакт C, можно найти такое его положение на реохорде, что ток через гальванометр станет равным нулю. Как было показано выше (3), это произойдет, если

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R_{эт}}{R_x} \quad (5)$$

Поскольку сопротивление однородного реохорда пропорционально его длине, сопротивления r_1 и r_2

пропорциональны длинам участков AC и CD соответственно. Обозначим $AC = L_1$, $CD = L_2$. Тогда для неизвестного сопротивления R_x из соотношения (5) получим:

$$R_x = R_{эт} \frac{L_2}{L_1} \quad (6)$$

Таким образом, измерение сопротивлений с помощью мостовой схемы сводится к измерению длин.

В принципе достижение баланса моста возможно при любом соотношении R_x и $R_{эт}$, при этом отношение L_2/L_1 будет принимать соответствующее значение. Покажем, что точность измерений зависит от положения контакта C при балансе моста.

Предположим, что общая длина реохорда L известна нам точно, и единственным источником экспериментальной погрешности при установлении баланса служит погрешность в определении положения движка C.

Перепишем соотношение (6), обозначив $L_2 \equiv x$:

$$R_x = R_{эт} x / (L - x) \quad (7)$$

Погрешность Δx ведет к погрешности ΔR_x , равной:

$$\Delta R_x = R_{эт} L \Delta x / (L - x)^2.$$

При этом относительная погрешность величины R_x будет равна:

$$(\Delta R_x) / R_x = [L / x(L - x)] \Delta x \quad (8)$$

Из соотношения (8) видно, что при абсолютной погрешности измерения длины Δx относительная погрешность измерения сопротивления определяется коэффициентом, стоящим в квадратных скобках. Его значение будет минимальным при максимуме знаменателя, что достигается при $x = L/2$. Полученный результат означает, что измерение сопротивления с помощью моста Уитстона будет тем точнее, чем ближе к середине реохорда устанавливается движок C при балансе моста.

Экспериментальная часть.

Описание экспериментальной установки.

Установка для выполнения лабораторной работы собрана на рабочей панели и схематично представлена на рис. 3.

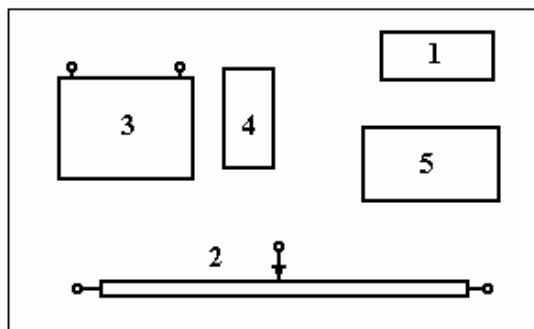
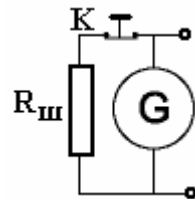


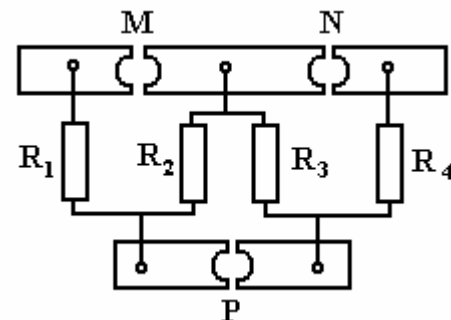
Рис. 3

Установка содержит следующие элементы:

- 1 – Источник постоянного тока ЛИП-90.
- 2 – Реохорд с прикрепленной к нему линейкой.
- 3 – Магазин сопротивлений, позволяющий устанавливать значение $R_{эТ}$ в пределах 1 Ом - 10 кОм между крайними клеммами (как показано на схеме).
- 4 – Нуль-гальванометр высокой чувствительности с зеркальной шкалой. Для защиты гальванометра от больших токов служит шунт $R_{ш}$. Кнопка **К** при нажатии отключает шунт, при этом чувствительность гальванометра повышается.



5 – Блок сопротивлений (R_1, R_2, R_3, R_4), позволяющий осуществлять их параллельные и последовательные соединения, замыкая с помощью специальных винтов контакты в точках М, N, P.



1. Измерение неизвестных сопротивлений.

Порядок выполнения работы.

1. Соберите мостовую схему в соответствии с рис.2, выбрав в качестве R_x любой резистор из набора 5.
2. Установите произвольное значение $R_{эТ}$ на магазине сопротивлений (100 – 1000 Ом).
3. **Не замыкая контакт в точке С**, включите в сеть источник тока ЛИП-90.
4. Кратковременно замыкая контакт (касанием !) в точке С, перемещением движка реохорда добейтесь баланса моста.
5. Замкните контакт в точке С и, нажав кнопку **К**, уточните положение движка, соответствующее балансу моста. Значения длин L_1 и L_2 запишите в таблицу.

6. Рассчитайте по формуле (6) значение неизвестного сопротивления R_x (грубо) и результат запишите в таблицу.

7. **Отключите контакт в точке С.** Установите на магазине сопротивлений в качестве $R_{эТ}$ получившееся из вычислений значение R_x .

8. Повторите действия, описанные в п.п. 4 – 6 и получите значение R_x (точно). Результат запишите в таблицу.

Таблица для записи результатов измерений неизвестных сопротивлений

	$R_{эТ}$	грубо			точно			
		L_1	L_2	R_x	L_1	L_2	R_x	ΔR_x
1								
2								
3								
4								

2. Расчет погрешностей измерений.

Из формулы (6) для расчета неизвестного сопротивления следует, что относительная погрешность измерения равна:

$$\Delta R_x / R_x = \Delta R_{эТ} / R_{эТ} + \Delta L_1 / L_1 + \Delta L_2 / L_2$$

Для магазина сопротивлений относительная погрешность не превышает значения 0,5%.

При измерениях длин соответствующих участков реохорда $\Delta L_1 = \Delta L_2 \equiv \Delta L$. Заметим также, что при точном измерении $L_1 \approx L_2 \approx L/2$, где L – общая длина реохорда. Так

что для подсчета погрешности измерений следует пользоваться соотношением:

$$\Delta R_x / R_x = \Delta R_{эТ} / R_{эТ} + 4(\Delta L / L) \quad (9)$$

Величину абсолютной погрешности положения движка ΔL следует оценить, исходя из погрешности линейки и чувствительности гальванометра.

3. Проверка формул последовательного и параллельного соединения сопротивлений.

Порядок выполнения работы.

1. Рассчитайте и запишите в таблицу значения сопротивления различных соединений резисторов по полученным Вами данным.

2. Для каждого соединения проведите измерения согласно п.п. 4 - 6, выставив на магазине сопротивлений в качестве $R_{эТ}$ вычисленные Вами значения для соответствующих соединений резисторов.

Таблица для сравнения вычисленных и измеренных величин сопротивлений

Номера резисторов	Тип соединения	Расчетное значение	L_1	L_2	Измеренное значение

Рассчитайте величину погрешностей вычисленных и измеренных величин сопротивлений соединений резисторов и сравните полученные результаты.

Сделайте выводы о проделанной работе.

Вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе и в какой последовательности?
3. В какой форме Вы будете представлять результаты измерений?
4. Какая электрическая схема называется «мостовой»? Что означает выражение «мостовая схема сбалансирована»?
5. Какие элементы составляют схему моста Уитстона? Найдите их на рабочей панели. Сформулируйте условие баланса моста Уитстона.
6. Что такое магазин сопротивлений и для чего он служит в данной работе?
7. Почему каждое сопротивление следует измерять в два этапа (грубо - точно)?
8. Для чего предназначена кнопка **К** гальванометра?

Вопросы к защите результатов лабораторной работы.

1. Какие выводы Вы сделали по результатам проделанной Вами работы?
2. Что называют сопротивлением проводника?
3. Что такое удельное сопротивление проводника?
4. Выведите формулы для последовательного и параллельного соединения сопротивлений.
5. В чем заключается принцип измерения сопротивлений мостовым методом?
6. Как влияет сопротивление подводящих проводов на точность измерений в данной схеме?

7. Как влияет чувствительность гальванометра на точность измерений?
8. Нарушается ли баланс схемы, если гальванометр и источник тока поменять местами?
9. Докажите утверждение: измерение сопротивления с помощью моста Уитстона будет тем точнее, чем ближе к середине реохорда находится движок **С** при балансе моста.
10. Обоснуйте справедливость формулы (9) для расчета погрешности измерения сопротивления.
11. Какие еще существуют способы измерения сопротивлений?
12. Как рассчитать сопротивление мостовой схемы, представленной на рис.1, если сопротивления всех резисторов известны?

Рекомендуемая литература

1. Г.Я. Мякишев. **ФИЗИКА.**
Электродинамика. 10-11 кл. – М.: Дрофа, 2002 г.
2. **ФИЗИКА – 10.** Под ред. А.А.Пинского.
М.: Просвещение, 1995 г.