

## Лабораторная работа №3 Измерение сопротивлений мостовым методом

**Цель работы:** ознакомиться с мостовым методом измерения сопротивлений, исследовать законы соединения сопротивлений.

**Приборы и принадлежности:**



гальванометр



реостат РПШ-1 100 Ом 1 А



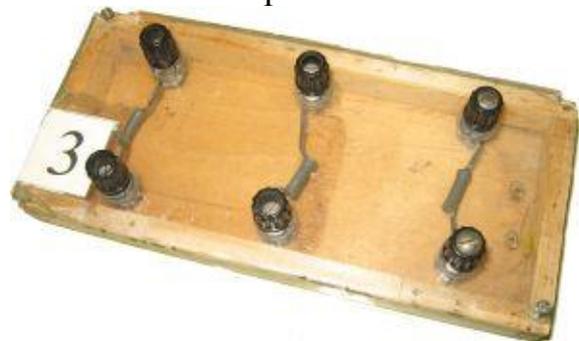
источник ВС 4-12



магазин сопротивлений Р33



реохорд



набор резисторов с неизвестными сопротивлениями



переключатель (ключ)



соединительные провода

## Теоретическое введение

Существуют различные методы измерения сопротивлений проводников.

Самый простой из них – прямое измерение соответствующим прибором – омметром.

Наиболее распространенными из косвенных методов являются методы измерения тока и напряжения на участке цепи (метод амперметра и вольтметра) и метод сравнения измеряемого сопротивления с эталонным (мостовой метод).

Первый метод основан на использовании закона Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}. \quad (3.1.1)$$

Измерения можно провести по двум возможным схемам.

Для схемы 3.1 справедливо соотношение

$$U_R = U - IR_A,$$

где  $U$  – показания вольтметра,  $I$  – показания амперметра. Отсюда

$$R = \frac{U - IR_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A.$$

Если  $R_A \ll R$ , то

$$R \approx \frac{U}{I}. \quad (3.1.4)$$

Таким образом, амперметры должны обладать *малым* сопротивлением по сравнению с измеряемым.

Для схемы 3.2 справедливо соотношение

$$\frac{U}{R} = I - \frac{U}{R_V}, \text{ откуда } R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}.$$

Если  $R_V \gg R$ , то опять получаем приближение (3.1.4).

Таким образом, вольтметры должны обладать *большим* сопротивлением по сравнению с измеряемым.

Относительная ошибка определения сопротивления в обоих случаях

$$\delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}.$$

Здесь не учитывается систематическая ошибка, связанная с сопротивлениями амперметра и вольтметра.

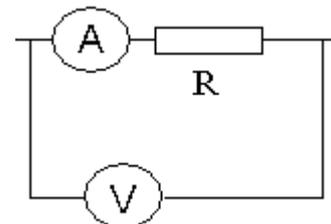


Схема 3.1

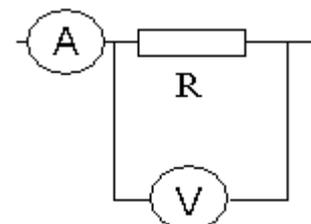


Схема 3.2

В мостовых схемах не производится измерений токов и напряжений, а осуществляется сравнение исследуемого сопротивления с эталоном.

Примером мостовой схемы служит мост Уитстона. Он состоит из реохорда  $ADB$ , чувствительного

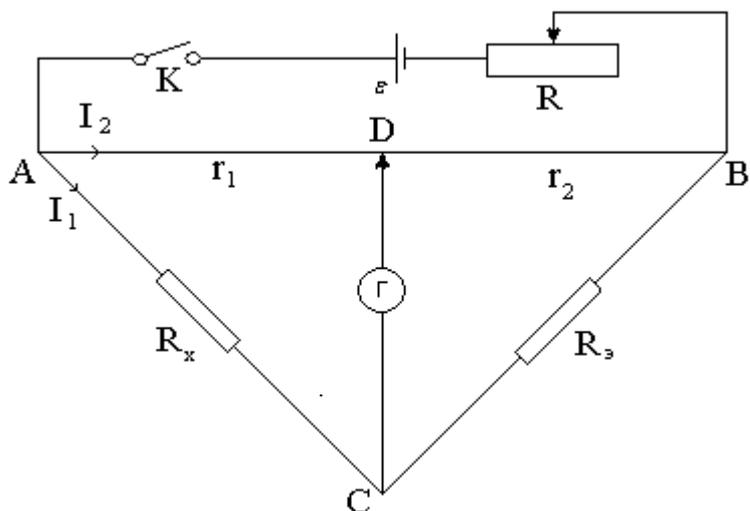


Схема 3.3

гальванометра  $\Gamma$ , исследуемого сопротивления  $R_x$ , эталона  $R_3$ , источника  $\varepsilon$ , реостата  $R$  и ключа  $K$ . Реохорд представляет собой однородную по площади сечения и удельному сопротивлению проволоку длиной  $L$ , которая делится подвижным контактом  $D$  на два сопротивления

$$r_1 = \rho \frac{l_1}{S}, \quad r_2 = \rho \frac{l_2}{S},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала проволоки,  $S$  – площадь её сечения,  $l_1$  и  $l_2$  соответственно длины  $AD$  и  $DB$ . Реостат  $R$  регулирует чувствительность моста. Перемещая подвижный контакт  $D$  по реохорду, можно найти такую точку, для которой потенциал точки  $D$  будет равен потенциалу точки  $C$ . При этом ток через гальванометр отсутствует. Такое состояние моста называется уравновешенным. В этом случае точки  $C$  и  $D$  перестают быть узлами электрической цепи, поэтому по второму правилу Кирхгофа можно для контуров  $ACDA$  и  $BDCB$  записать равенства

$$I_1 R_x - I_2 r_1 = 0, \quad I_1 R_3 - I_2 r_2 = 0,$$

откуда имеем

$$R_x = R_3 \frac{r_1}{r_2}, \text{ или } R_x = R_3 \frac{l_1}{l_2}. \quad (3.1.10)$$

Относительная ошибка измерений сопротивления мостом Уитстона равна

$$\delta R_x = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_1}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_2}{l_2}\right)^2}.$$

Измерения длин проводятся по шкале реохорда, поэтому  $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l$ ,  $l_1 + l_2 = L$ .

Тогда

$$\delta R_x = \sqrt{(\delta R_3)^2 + \Delta l^2 \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2}\right)} = \sqrt{(\delta R_3)^2 + \Delta l^2 \left(\frac{(L-l_1)^2 + l_1^2}{l_1^2 (L-l_1)^2}\right)}. \quad (3.1.13)$$

Минимальная ошибка достигается при минимальном втором множителе второго слагаемого в (3.1.13). Исследование его на экстремум показывает, что минимум достигается при  $l_1=L/2$ . Убедитесь в этом самостоятельно.

Таким образом, мост Уитстона дает наименьшую ошибку измерений при уравнивании моста ровно в среднем положении подвижного контакта реохорда относительно его концов. В этом случае  $R_9 = R_X$ .

Относительная погрешность при этом равна

$$\delta R_X = \sqrt{(\delta R_9)^2 + 8\left(\frac{\Delta l}{L}\right)^2}. \quad (3.1.15)$$

При данных оптимальных условиях уравнивание моста осуществляется не передвижением подвижного контакта реохорда, а соответствующим подбором эталонного сопротивления. Для этих целей используют прецизионные магазины сопротивлений (в работе используется магазин сопротивлений Р33 с пределами изменения сопротивлений от 0,1 Ом до 99999,9 Ом и классом точности 0,2).

По паспорту прибора

$$\delta R_9 (\%) = 0,2 + 6 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R_k}{R} - 1\right),$$

где  $R_k$  – наибольшее значение сопротивления магазина, Ом;

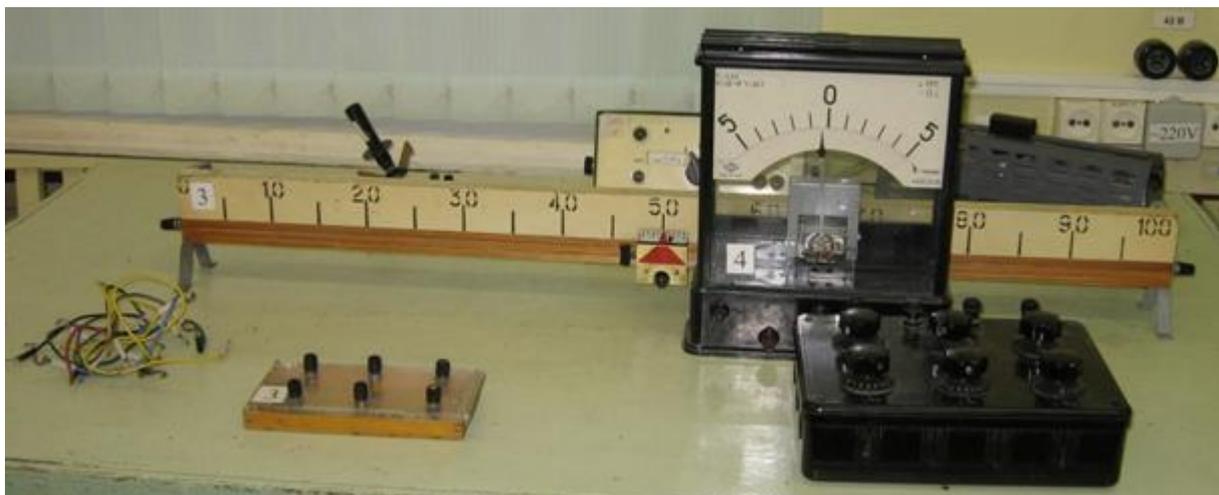
$R$  – номинальное значение включенного сопротивления, Ом.

В работах измеряются сопротивления порядка 20÷100 Ом. Следовательно, максимальное значение погрешности эталона

$$\delta R_{9 \max} \leq 0,23 \% = 0,0023.$$

Длина реохорда  $L = 1$  м, цена деления 0,5 см. Половину её можно принять за погрешность, следовательно,

$$\delta R_{X \max} = \sqrt{(0,0023)^2 + 8(0,0025)^2} = 0,00743 = 0,74\%. \quad (3.1.18)$$



*Рис. 3.1.  
Общий вид установки*

## Лабораторная работа №3

### Измерение сопротивлений мостовым методом

Выполнил студент \_\_\_\_\_  
Факультет \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_  
Проверил \_\_\_\_\_  
Показания сняты \_\_\_\_\_  
Зачтено \_\_\_\_\_

### Порядок выполнения работы

#### I. Определение сопротивлений отдельных резисторов

1. Собрать из имеющегося на лабораторном столе оборудования мост Уитстона по схеме 3.3, подключив в качестве исследуемого сопротивления один резистор из набора. На магазине сопротивлений использовать клеммы  $0 \div 99999,9$  и выставить сопротивление  $\approx 60$  Ом. На источнике установить переключатель в положение «4». Установить подвижный контакт реохорда посередине. Установить реостат в положение максимального сопротивления (минимального тока). Проверить установку стрелки гальванометра на «0». Ключ разомкнут.

2. Включить источник. На короткое время замкнуть ключ и убедиться, что стрелка гальванометра не выходит за пределы шкалы. В противном случае изменить сопротивление магазина и повторить опыт. Оставив ключ замкнутым, подбором сопротивления магазина добиться равновесия моста.

Уравновешивание начинаем с переключения декады десятков таким образом, чтобы её переключение приводило к уменьшению отклонения стрелки гальванометра. Если возникает ситуация, при которой эта декада окажется на максимальном значении, то переходим к использованию декады сотен, предварительно установив декаду десятков на минимальное значение. В противном случае переходим к использованию младших декад. Если гальванометр не реагирует на переключение декады, то увеличьте чувствительность схемы, уменьшая сопротивление реостата. В крайнем случае измените положение переключателя источника. При следующем измерении верните переключатель в исходное положение.

*Внимание! Чтобы избежать нагревания резисторов при протекании по ним токов и изменения их сопротивлений, необходимо держать схему включенной на протяжении короткого промежутка времени. Следите, чтобы стрелка гальванометра не зашкаливала.*

3. Для контрольной проверки разомкнуть-замкнуть ключ. Если мост уравновешен, то стрелка гальванометра не изменит своего положения.

4. Результаты занести в таблицу. Сопротивление рассчитывается по формуле (3.1.10).

5. Сдвинуть ползунок реохорда в положение  $30 \div 40$  см и повторить п. 2 – 4.

6. Сдвинуть ползунок реохорда в положение  $60 \div 70$  см и повторить п. 2 – 4.

### Резистор №1

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						

7. Для каждого случая рассчитать относительную и абсолютную ошибки. Заполнить таблицу до конца. Сравнить результаты с учётом погрешностей.

8. Измерить данное сопротивление с помощью мультиметра.

9. Выполнить пункты 1 – 8 для второго и третьего резисторов из набора.

### Резистор №2

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						

### Резистор №3

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						

## II. Последовательное соединение проводников

1. Не разбирая схему моста, соединить все три резистора из набора последовательно.

2. Аналогично заданию I измерить сопротивление данного соединения.

### Последовательное сопротивление резисторов

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						
теоретическое значение $R_{noc}$						

3. Зная сопротивления всех резисторов по результатам задания I, теоретически рассчитать сопротивление соединения.

4. Сравнить результаты с учётом погрешностей. Сделать выводы.

## III. Параллельное соединение проводников

1. Соединить все три резистора из набора параллельно. Выполнить пункты 2 – 4 задания II.

### Параллельное сопротивление резисторов

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						
теоретическое значение $R_{нар}$						

### IV. Смешанное соединение проводников

(Дополнительное задание для студентов физических специальностей)

1. Сделать смешанное соединение резисторов (возможны 2 варианта). Нарисовать схему соединения. Выполнить пункты 2 – 5 задания II.

### Смешанное сопротивление резисторов

№ опыта	$l_1$ , см	$l_2$ , см	$R_{Э}$ , Ом	$R_X$ , Ом	$\delta R$ , %	$\Delta R$ , Ом
1	50	50				
2						
3						
Показания мультиметра						
теоретическое значение $R_{смеш}$						

### Контрольные вопросы

1. В чём заключается метод амперметра и вольтметра для измерения сопротивления?
2. Какие требования предъявляются к выбору измерительных приборов при измерении сопротивлений методом амперметра и вольтметра?
3. Каковы достоинства и недостатки метода амперметра и вольтметра при измерении сопротивления?
4. Вывести условие равновесия моста Уитстона, используя правила Кирхгофа.
5. Каковы преимущества мостового метода измерения сопротивлений?
6. Докажите, что точность измерений сопротивления мостом Уитстона максимальна при равенстве плеч моста, образуемых реохордом.

### Литература

(см. основной список литературы)

### Приложение

При теоретическом расчёте сопротивлений:

последовательное соединение	параллельное соединение
$\Delta R_{посл} = \sqrt{\Delta R_1^2 + \Delta R_2^2 + \Delta R_3^2}$	$\Delta R_{нар} = R_{нар}^2 \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2}$

Для смешанных соединений получите формулы самостоятельно.