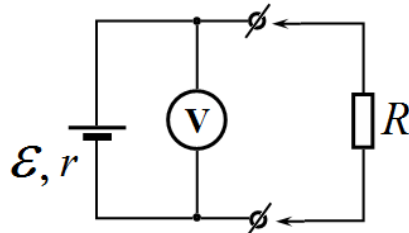


Условие

Задание 11-1. Как работает омметр.

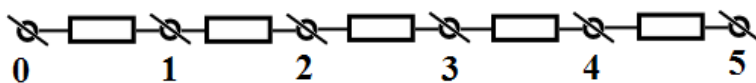
В данном задании вам необходимо понять принцип работы омметра и подтвердить ваше понимание результатами измерений и их интерпретацией.

Основная идея работы омметра – измерение напряжения на внешней цепи! Принципиальная схема омметра показана на рисунке: внутри имеется источник, ЭДС которого обозначим $\mathcal{E}$, а внутреннее сопротивление r . К клеммам омметра подключен вольтметр, к этим же клеммам подключается измеряемое сопротивление R .



Приборы и оборудование: резистор проволочный, источник тока модифицированный, мультиметр, соединительные провода.

Проволочный резистор имеет 6 выводов, поэтому у вас есть возможность использовать его в качестве переменного резистора с 5 дискретными значениями сопротивления. На рисунке показана схема этого резистора, на ней указаны номера клемм.



К гальваническому элементу последовательно подключен постоянный резистор, его сопротивление играет роль внутреннего сопротивления источника.

Часть 1 Характеристики проволочного резистора и источника тока.

1.1 Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления (далее режим омметра). Измерьте сопротивления проволочного резистора R_k при подключении его к клеммам 0 и $k = 1, 2, \dots, 5$. Постройте график полученной зависимости $R_k(k)$. Определите параметры полученной зависимости. Рассчитайте значения сопротивлений $\bar{R}_k$ по полученной зависимости.

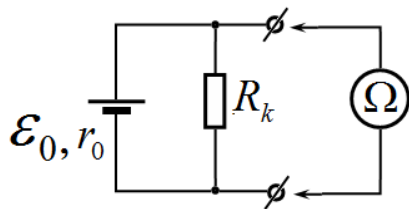
В дальнейшем используйте рассчитанные значения сопротивлений резистора $\bar{R}_k$, так как они получены посредством усреднения (следовательно, и уменьшения) погрешностей измерения сопротивлений.

1.2 Измерьте ЭДС $\mathcal{E}_0$ и внутреннее сопротивление r_0 предоставленного вам источника тока. Приведите электрическую схему, с помощью которой вы проводили измерения, результаты измерений, расчетные формулы, численные значения требуемых параметров и оценку погрешности.

1.3 Укажите, какой единственной величиной можно характеризовать источник в данных экспериментах.

Часть 2. «Сопротивление» с источником.

Подключите параллельно к проволочному резистору источник тока. Мультиметр переключите в режим омметра (см. схему)



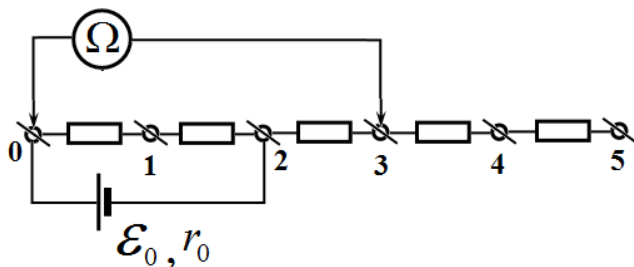
2.1 Измерьте зависимость показаний омметра от сопротивления проволочного резистора. Измерения проведите при двух различных полярностях подключения источника. Обозначим эти показания $R_{(+)}^*$ и $R_{(-)}^*$.

2.2 Постройте графики полученных зависимостей $R_{(+)}^*(\bar{R}_k)$ и $R_{(-)}^*(\bar{R}_k)$.

2.3 Выскажите предположение о свойствах источника тока внутри омметра. Объясните полученные в этой части зависимости. Определите значение силы тока, создаваемого источником омметра. Оцените его погрешность.

Часть 3 Комбинированная схема.

Подключите источник к двум звеньям проволочного резистора, как показано на схеме.



3.1 Измерьте зависимость показаний омметра от номера точки подключения $k = 1, 2, \dots, 5$ при двух полярностях включения источника.

3.2 Постройте графики зависимостей показаний омметра в данной схеме от сопротивления подключенной к омметру части резистора.

3.3 Качественно объясните полученные зависимости.

Решение

Задание 11-1. Как работает омметр?

Часть 1. Характеристики проволочного резистора и источника тока.

1.1 Результаты измерений сопротивлений приведены в таблице 1 и на графике. **Таблица 1.**

k	R_k , Ом	R_k , Ом (расчет)
1	3,1	3,24
2	6,2	5,98
3	8,7	8,72
4	11,4	11,46
5	14,2	14,20

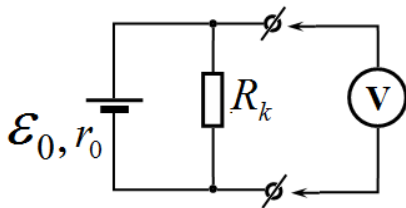


Параметры этой зависимости $R_k = ak + b$, можно определить по графику, или по методу наименьших квадратов. Параметры этой зависимости (по МНК) равны $a = (2,7 \pm 0,1)\text{Ом}$ $b = (0,5 \pm 0,3)\text{Ом}$

1.2 Для измерения ЭДС достаточно подключить вольтметр к выводам источника, измеренное значение напряжения будет равно ЭДС источника, так как внутреннее сопротивление вольтметра очень велико по сравнению с внутренним сопротивлением источника. Измеренное значение равно

$$\varepsilon_0 = (1,62 \pm 0,02)\text{В}.$$

Для измерения внутреннего сопротивления источника следует измерить зависимость напряжения U на внешней цепи от ее сопротивления R_k с помощью схемы, приведенной на рисунке.



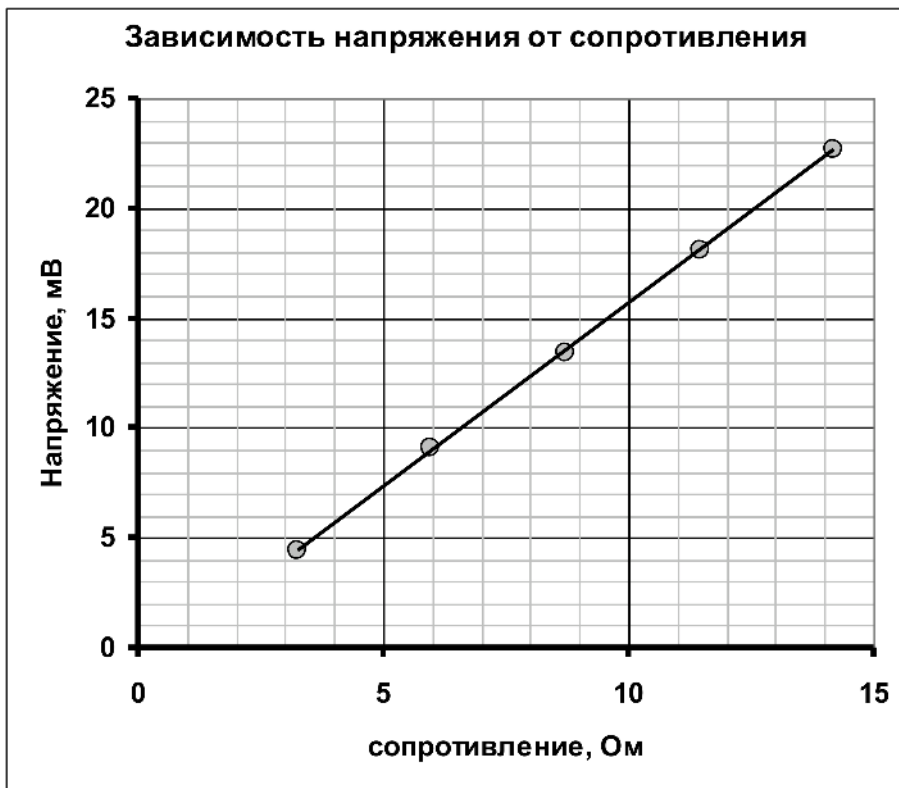
Измеряемое напряжение в этом случае рассчитывается по формуле

$$U = \frac{\varepsilon_0}{r_0 + R_k} R_k \quad (1)$$

Результаты измерений приведены в таблице 2 и на графике.

Таблица 2.

k	R_k , Ом	U , мВ
1	3,24	4,4
2	5,98	9,1
3	8,72	13,5
4	11,46	18,1
5	14,20	22,7



Полученные результаты показывают, что напряжение пропорционально сопротивлению внешней цепи. Это возможно в том случае, если внутренне сопротивление источника значительно превышает сопротивление внешней цепи. Действительно в этом случае из формулы (1) получаем (при $R_k \ll r_0$)

$$U = \frac{\mathcal{E}_0}{r_0} R_k \quad (2)$$

Итак, в этом случае коэффициент наклона, полученной зависимости $U(R)$ равен силе тока в цепи $I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{r_0}$.

Рассчитанное по МНК значение коэффициента наклона равно

$$I_0 = (1,66 \pm 0,05) \text{ мА}. \quad (3)$$

Тогда внутренне сопротивление предоставленного источника равно

$$r_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{I_0} = (0,97 \pm 0,03) \text{ кОм}. \quad (4)$$

Полученное значение также обосновывает способ прямого измерения ЭДС, так как сопротивление вольтметра составляет величины порядка 1 Мом.

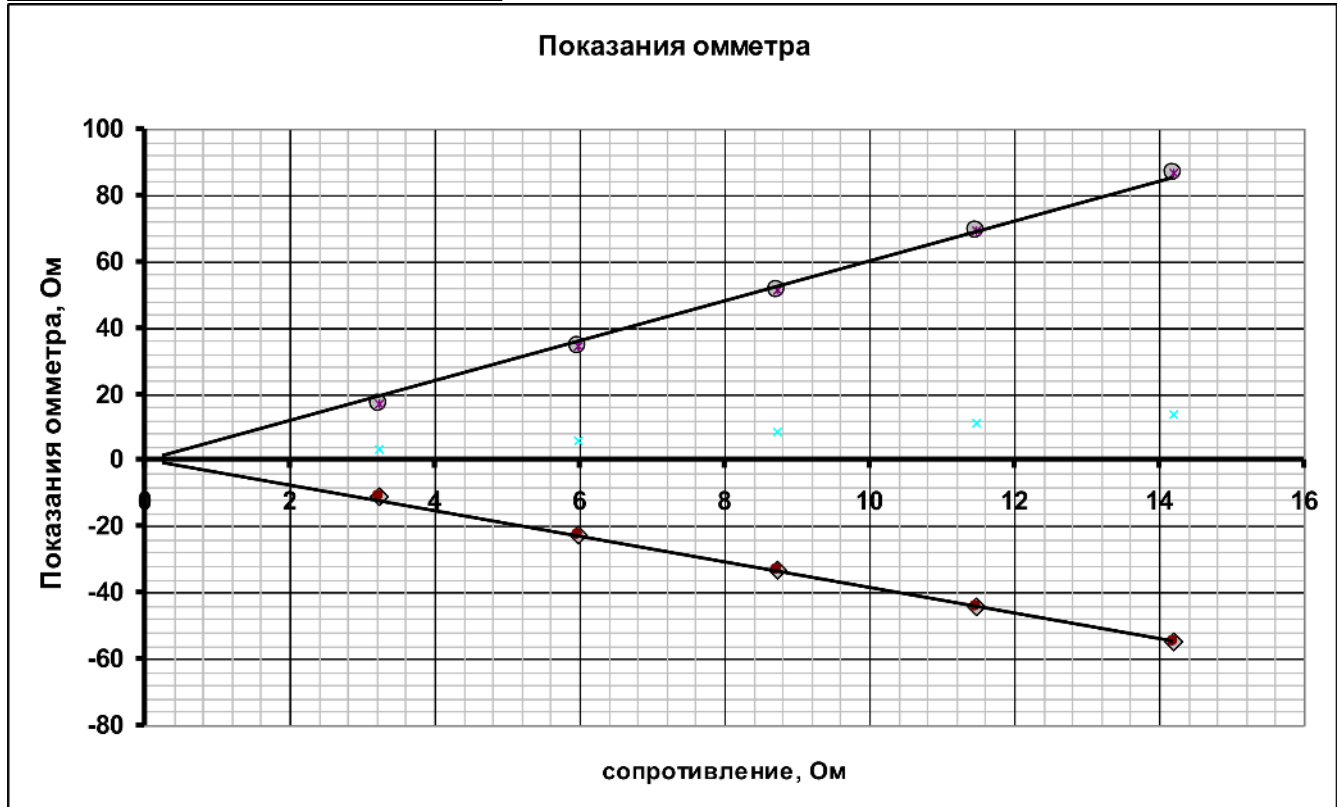
1.3 Так как внутренне сопротивление источника примерно равно 1 кОм, а сопротивления используемых цепей не превышают 20 Ом, источник можно рассматривать как источник тока, то есть считать, что сила тока в цепи не зависит от ее сопротивления. Поэтому источник следует характеризовать постоянной силой тока (3).

Часть 2. «Сопротивление» с источником.

2.1 -2.2 Результаты измерений зависимости показаний омметра от сопротивления резистора приведены в таблице 3. Эти же зависимости показаны на графике.

Таблица 3.

k	$R_k, \text{ Ом}$	$R_{(+)}^*, \text{ Ом}$	$R_{(-)}^*, \text{ Ом}$
1	3,24	17,2	-11,1
2	5,98	34,8	-22,5
3	8,72	51,5	-33,1
4	11,46	69,4	-44,3
5	14,20	86,7	-54,9



2.3 Полученные зависимости с высокой точностью можно считать прямо пропорциональными. Эти зависимости легко объяснить, если предположить, что внутреннее сопротивление омметра также велико (по сравнению с сопротивлением проволоочного реостата), т.е. источник является источником тока с некоторым значением силы тока I_Ω .

Действительно, если показания омметра пропорциональны напряжению на внешней цепи, то при отсутствии ЭДС во внешней цепи показания омметра описываются формулой

$$R^* = z I_\Omega R, \quad (5)$$

Где z - некоторый коэффициент пропорциональности, причем произведение $z I_\Omega$ численно равно 1. Если во внешней цепи присутствует источник тока силой I_0 , то показания омметра в этом случае могут быть описаны формулой

$$R_{(\pm)}^* = z(I_\Omega \pm I_0)R = \left(1 \pm \frac{I_0}{I_\Omega}\right) R^*. \quad (6)$$

Полученные зависимости могут быть описаны формулами прямо пропорциональной зависимости

$$R_{(\pm)}^* = a_{\pm} R \quad (7)$$

Причем коэффициенты наклона равны $a_+ = 6,02 \approx 6$; $a_- = -3,9 \approx -4$. Как следует из формулы (6) сумма этих коэффициентов должна быть равна 2, что подтверждается экспериментальными данными. Разность этих коэффициентов равна

$$a_+ - a_- = 2 \frac{I_0}{I_\Omega} \quad (8)$$

Используя полученные значения коэффициентов, находим

$$2 \frac{I_0}{I_\Omega} \approx 10 \Rightarrow I_\Omega \approx \frac{I_0}{5} = 0,3 \text{ мА} \quad (9)$$

Часть 3 Комбинированная схема. 3.1 Результаты измерений показаний омметра в «комбинированной» схеме приведены в таблице 4 и на графике. **Таблица 4.**

k	R_k , Ом	$R_{(+)}^*$, Ом	$R_{(-)}^*$, Ом
0	0	0	0
1	3,24	16,90	-10,95
2	5,98	34,90	-22,70
3	8,72	37,40	-19,75
4	11,46	40,35	-16,90
5	14,20	43,30	-14,10

На графиках приведенные примерные значения коэффициентов наклона. Полученные зависимости легко объяснимы в рамках рассматриваемой модели омметра. Действительно, на первых двух звеньях коэффициенты наклона определяются формулой (6). Их численные значения совпадают с коэффициентами наклона, найденными в предыдущей части. На остальных звеньях изменение показаний определяется формулой (5) с единичным коэффициентом наклона.

Комбинированная схема

Комбинированная схема

