

Условие

Задание 9-2. Правду ли нам говорят?

Приборы и материалы: источник питания 4,5 В, амперметр стрелочный 2А, вольтметр стрелочный 6В, пять последовательно соединенных проволочных резисторов с неизвестным сопротивлением R_1 , пять последовательно соединенных резисторов с известным сопротивлением (сопротивление каждого примерно $R_2 \approx 10 \text{ кОм}$, точное значение укажут организаторы), ключ, соединительные провода.

Часть 1. Чему равен нуль?

У идеального амперметра собственное сопротивление равно нулю. А у реального?

Для измерения сопротивлений амперметра и проволочного резистора R_1 соберите цепь, показанную на рис. 1. В данной цепи напряжение на источнике не остается постоянным, поэтому его необходимо измерять. Амперметр последовательно подключайте к точкам 0, 1, 2, ...5.

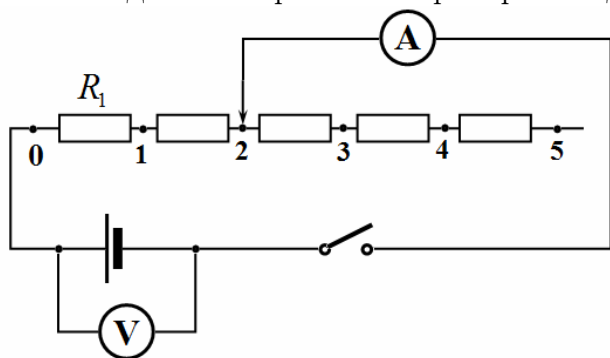


Рис. 1

Ключ замыкайте только во время проведения измерений!

1.1 Измерьте зависимости напряжения на вольтметре U_n и силы тока через амперметр I_n от номера точки подключения n .

1.2 Получите теоретическую зависимость силы тока I_n от напряжения U_n и номера точки подключения n .

1.3 Укажите такую функцию $Z_n(U_n, I_n)$ от величин U_n и I_n , чтобы ее зависимость от номера точки подключения n была линейной. Постройте график зависимости $Z_n(n)$.

1.4 Используя полученный график, найдите сопротивление амперметра R_A и сопротивление проволочного резистора R_1 . Оцените погрешности найденных значений.

Часть 2. Чему равна бесконечность?

У идеального вольтметра собственное сопротивление равно бесконечности. А у реального?

Для измерения сопротивления вольтметра R_V соберите цепь, показанную на рис. 2. В данной цепи напряжение на источнике остается практически постоянным, поэтому измерять его постоянно нет необходимости. Вольтметр последовательно подключайте к точкам 0, 1, 2, ...5.

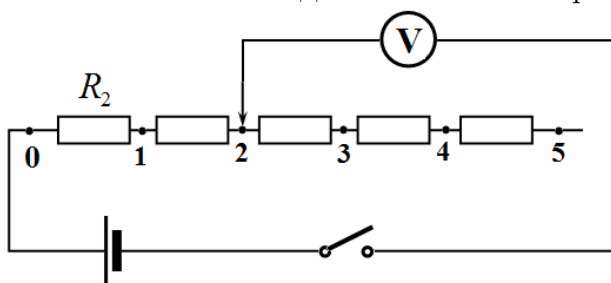


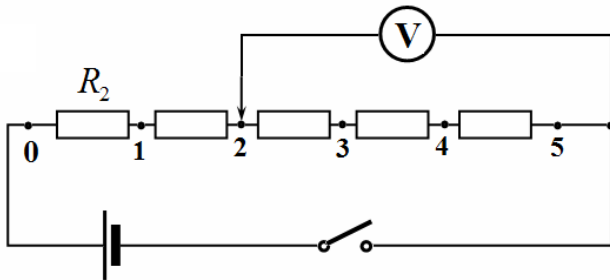
Рис. 2

2.1 Измерьте зависимость напряжения на вольтметре U_n от номера точки подключения n .

- 2.2 Получите теоретическую зависимость напряжения U_n и номера точки подключения n .
- 2.3 Укажите такую функцию $Z_n(U_n)$ от величины U_n , чтобы ее зависимость от номера точки подключения n была линейной. Постройте график зависимости $Z_n(n)$.
- 2.4 Используя полученный график, найдите сопротивление вольтметра R_V , оцените погрешность полученного значения.

Часть 3. Что Вы поняли?

- 3.1 Видоизмените цепь, превратив ее в цепь, показанную на рис.3. Измерьте зависимость напряжения на вольтметре U_n от номера точки подключения n .
- 3.2 Получите теоретическую зависимость напряжения U_n и номера точки подключения n .
- 3.3 Постройте зависимость функции $Z_n(U_n)$, введенной в п. 2.3, от номера точки подключения n для данной цепи. На этом же графике постройте аналогичную теоретическую зависимость. Сравните полученные графики.



Решение

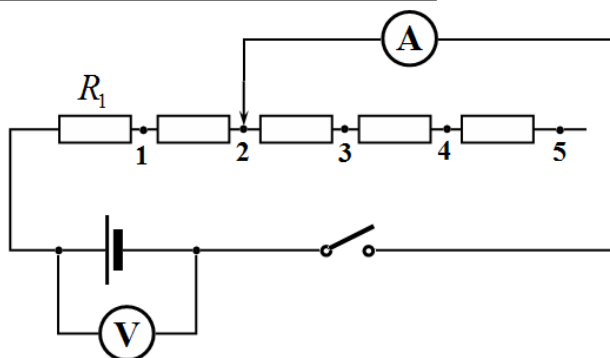
Задание 9-2. Правду ли нам говорят?

Часть 1. Чему равен нуль?

- 1.1 Результаты измерений зависимостей напряжения на вольтметре U_n и силы тока через амперметр I_n от номера точки подключения n приведены в Таблице 1. Также в ней приведены и результаты расчетов, которые требуются в последующих пунктах этой части задания.

Таблица 1.

n	I_n, A	U_n, B	$U_n/I_n, Ом$
0	0,45	1,55	3,444
1	0,25	2,45	9,800
2	0,20	2,70	13,500
3	0,15	2,95	19,667
4	0,11	3,09	28,091
5	0,10	3,20	32,000



- 1.2 Из закона Ома следует, что сила тока в цепи равна

$$I_n = \frac{U_n}{nR_1 + R_A}. \quad (1)$$

1.3 Из этой формулы следует, что отношение $Z_n = \frac{U_n}{I_n}$ линейно зависит от номера точки подключения.

$$\frac{U_n}{I_n} = nR_1 + R_A \quad (2)$$

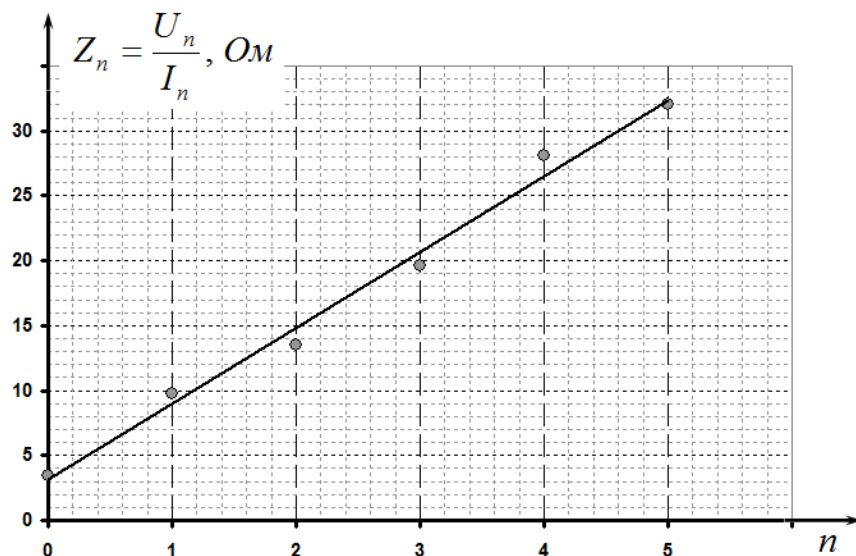


График данной зависимости показан на рисунке.

Из вида функции (2) следует, что коэффициент наклона графика равен сопротивлению R_1 , а его сдвиг сопротивлению амперметра R_A . Из данного графика находим

$$R_A = 3,2\text{Ом}, \quad R_1 = 5,8\text{Ом}$$

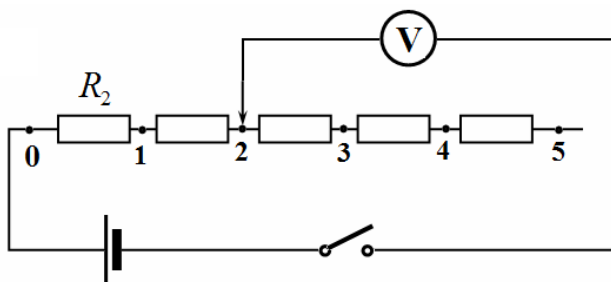
Погрешности данных значений также могут быть оценены графически (либо другим способом). В любом случае они оказываются не менее $\Delta R \approx 1,5\text{Ом}$.

Часть 2. Чему равна бесконечность?

2.1 Результаты измерений зависимости напряжения на вольтметре U_n от номера точки подключения n приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

n	U_n , В	U_n/U_0
0	4,50	1,00
1	1,60	2,81
2	0,95	4,74
3	0,70	6,43
4	0,55	8,18
5	0,45	10,00



2.2 Для получения теоретической зависимости напряжения U_n и номера точки подключения n запишем закон Ома для данной цепи

$$I_n = \frac{U_0}{nR_2 + R_V} \quad (3)$$

Из этой формулы следует, что измеряемое напряжение на вольтметре определяется формулой

$$U_V = R_V \frac{U_0}{nR_2 + R_V} = \frac{U_0}{n \frac{R_2}{R_V} + 1}. \quad (4)$$

2.3 Из полученного выражение следует, что величина $Z_n = \frac{U_n}{U_V}$ линейно зависит от номера точки подключения:

$$\frac{U_n}{U_V} = n \frac{R_2}{R_V} + 1. \quad (5)$$

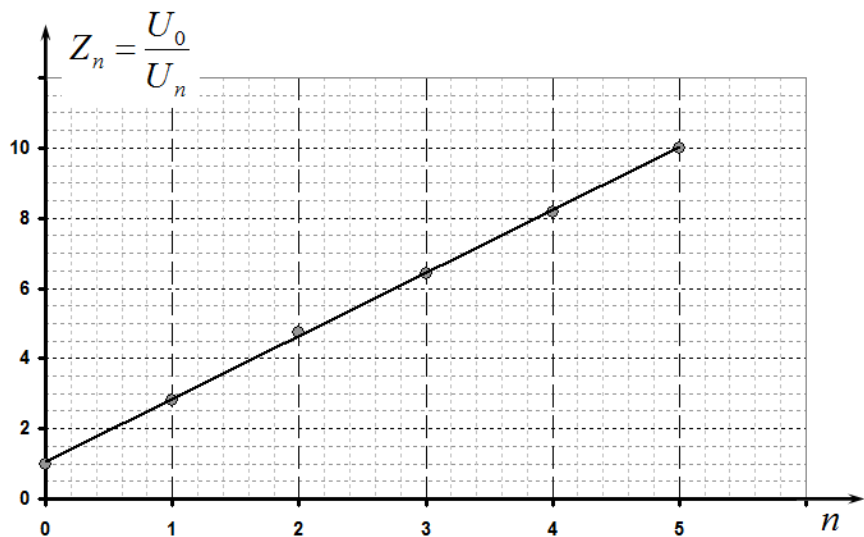


График этой функции показан на рисунке. Сдвиг прямой с высокой точностью равен 1, что подтверждает применимость формулы (5), коэффициент наклона прямой примерно равен $k = \frac{\Delta Z}{\Delta n} \approx 1,8$. Из формулы (5) следует, что этот коэффициент равен отношению $\frac{R_2}{R_V}$. Это позволяет найти значение сопротивления вольтметра (в наших измерениях использовались резисторы $R_2 = 11$ кОм):

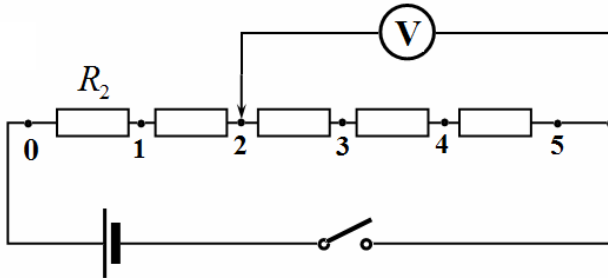
$$\frac{R_2}{R_V} = k \Rightarrow R_V = \frac{R_2}{k} = 6,1 \text{ кОм}. \quad (6)$$

Часть 3. Что Вы поняли?

3.1 Экспериментальная зависимость напряжения на вольтметре U_n от номера точки подключения n приведена в Таблице 3.

Таблица 3.

n	U_n , В	U_n/U_0	(U_n/U_0) Теор.
0	4,45	1,01	1,00
1	1,45	3,10	3,08
2	0,85	5,29	5,33
3	0,55	8,18	7,99
4	0,35	12,86	12,32
5	0,00		



3.2 Для расчета теоретической зависимости запишем соотношения для токов и напряжений:

$$U_0 = InR_2 + U_V, \quad (7)$$

Здесь I - сила тока через источник, которая равна сумме сил токов через вольтметр и параллельную ему цепь

$$I = \frac{U_V}{R_V} + \frac{U_V}{(5-n)R_2}. \quad (8)$$

Из этих уравнений следует, что измеряемое напряжение равно

$$U_V = \frac{U_0}{\frac{5}{5-n} + n\frac{R_2}{R_V}}. \quad (9)$$

3.3 В соответствии с полученной формулой величина $Z_n = \frac{U_n}{U_V}$ описывается формулой

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{5}{5-n} + n\frac{R_2}{R_V}. \quad (10)$$

Результаты расчетов этой величины (экспериментальной и теоретической) приведены в таблице 3. Графики полученных зависимостей показаны на следующем рисунке (кружки – экспериментальные значения, сплошная линия теоретическая зависимость). Видно хорошее соответствие между полученными данными. Незначительные отличия объясняются неизбежными погрешностями измерений.

