

Задание 9.2. Серый ящик – магазин. С помощью серого ящика, содержащего источник напряжения U_0 и «магазин» сопротивлений (набор пяти резисторов, включённых последовательно) (рис.1), определите величины внутренних сопротивлений R_{A1} , R_{A2} и R_{A3} мультиметра, используемого в качестве амперметра в диапазонах 200 мА, 20 мА, и 2000 мкА. Для выполнения задания исследуйте зависимость силы тока через амперметр от величины сопротивления в цепи его включения. Выведите формулу, связывающую измеренные вами физические величины между собой. Постройте график полученной зависимости в координатах, в которых эта зависимость является линейной.

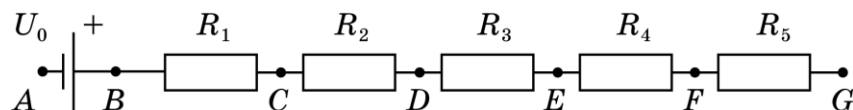


Рис.1

Оборудование: серый ящик; мультиметр; два провода штекер-крокодил, два провода крокодил-крокодил, миллиметровая бумага для построения графиков (3 листа формата A5).

Примечания:

1. Мультиметр в режиме амперметра разрешается подключать только (**строго!!**) к контактам B и C серого ящика.
2. Пользоваться другими режимами мультиметра **можно**.
3. Тщательно продумывайте последовательность своих действий и подробно описывайте их. В случае сжигания предохранителя, находящегося внутри мультиметра, его замена на исправный производиться не будет.
4. Источник напряжения считайте идеальным.
5. Если зависимость какой-либо физической величины Y от другой величины X представляет собой дробь, в числителе которой имеется только одно слагаемое, а в знаменателе несколько слагаемых, то анализ этой зависимости существенно упрощается, если перейти к равенству обратных величин левой и правой части уравнения.

Возможное решение.

Измерим сопротивление щупов мультиметра: $R_{\text{щ}} = 1.4 \text{ Ом}$.

С помощью мультиметра в режиме омметра определим величины резисторов в сером ящике и вычтем сопротивление щупов из показаний: $R_1 = 5.1 \text{ Ом}$, $R_2 = 9.8 \text{ Ом}$, $R_3 = 19.6 \text{ Ом}$, $R_4 = 38.1 \text{ Ом}$, $R_5 = 80.6 \text{ Ом}$.

1. С помощью мультиметра в режиме вольтметра определим напряжение источника: $U_0 = 1,534 \text{ В}$.

2. Подключим амперметр к контактам B и C серого ящика, а контакт A соединим с одним из контактов $D-G$ (замкнём цепь). Таким образом, амперметр оказывается подключённым к делителю напряжения по схеме, приведённой на рис.2.

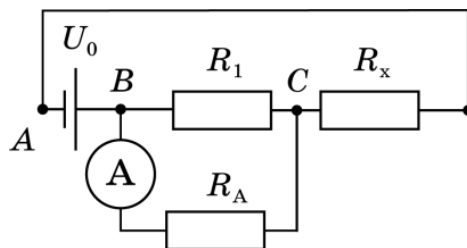


Рис.2

3. Обозначим внутреннее сопротивление амперметра вместе с щупами R'_A и вычислим, как зависит сила тока I через амперметр от величины сопротивления R_x :

$$I = \frac{U_0}{R_x + \frac{R_1 R'_A}{R_1 + R'_A}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R'_A} = \frac{U_0 R_1}{R_x R_1 + R_x R'_A + R_1 R'_A} \text{ или}$$

$$\frac{1}{I} = \left(\frac{R_1 + R'_A}{U_0 R_1} \right) R_x + \frac{R'_A}{U_0} \quad (1)$$

Видно, что I^{-1} является линейной функцией R_x .

4. Установим на амперметре предел измерения 20 мА. Замыкая проводом контакты серого ящика в различных комбинациях, снимем зависимость I от R_x и вычислим значения I^{-1} . Результаты заносим в таблицу 1.

Предел	200 мА	20 мА	2000 мкА	200 мА	20 мА	2000 мкА
R , Ом	I , мА	I , мА	I , мА	$1/I$, мА ⁻¹	$1/I$, мА ⁻¹	$1/I$, мА ⁻¹
9.8	96.4			10.4		
29.4	36.1	14.66		27.7	68.2	
67.5	16.3	6.86	1021	61.3	145.8	979.4
148.1	7.6	3.24	485	131.6	308.6	2061.9
138.3	8.1	3.44	518	123.5	290.7	1930.5
118.7	9.4	4.02	599	106.4	248.8	1669.4
80.6	13.7	5.82	864	73.0	171.8	1157.4
38.1	28.4	11.63	1702	35.2	86.0	587.5
19.6	52.4			19.1		

5. Построим графики полученных зависимостей. (Рис.3). Из графиков найдем их угловые коэффициенты и, соответственно, сопротивления мультиметра.

Диапазон	$k = \frac{\Delta(1/I)}{\Delta R_x}, \text{В}^{-1}$	$R_A = kU_0 R_1 - R_1 - R_n, \text{Ом}$
200 мА	0.878	0.37
20 мА	2.03	9.4
2000 мкА	13.41	98

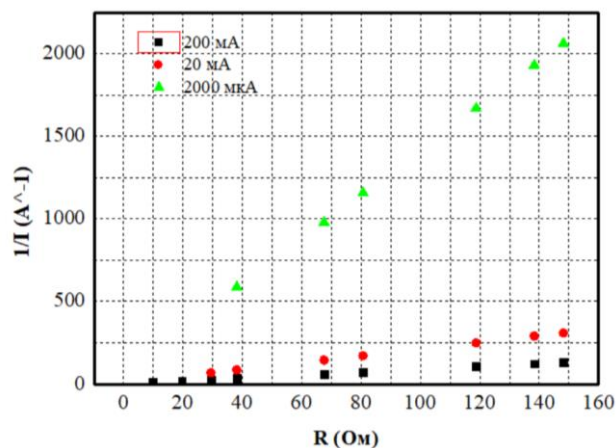


Рис.3

В режиме 200 мА сопротивление амперметра сравнимо с внутренним сопротивлением источника напряжения, которое для щелочной батарейки типа АА составляет величину порядка 0,5 Ом и, следовательно, для более точного определения R_A в диапазоне 200 мА батарейку нельзя считать идеальной.

Находить величину R_A следует именно по наклону прямой, описываемой уравнением (1). Определять эту величину по точке пересечения прямой с вертикальной осью не следует, так как при оптимальном для построения графика масштабе эта точка находится слишком близко к нулю.

Следует также заметить, что особенностью предложенного метода определения R_A является возможность использования одного делителя напряжения для трёх пределов измерения амперметра. Это обусловлено тем, что текущий по делителю минимальный ток порядка 0,01 А на разных диапазонах по-разному распределяется между R_1 и амперметром. В диапазоне 2 мА через амперметр течёт 4,8% общего тока ($R_A = 98 \text{ Ом}$), в диапазоне 20 мА – 33% и в диапазоне 200 мА порядка 75-80%. Таким образом удаётся исследовать зависимость I от R_x во всех диапазонах без каких-либо изменений в схеме включения амперметра.

Включение амперметра последовательно с делителем напряжения не даёт возможности определить R_A в диапазоне 2 мА, так как минимальная сила тока в этом случае будет порядка 6 мА, что в 3 раза превышает предел измерения прибора. В диапазонах 20 мА и 200 мА исследование в таком режиме возможно, и оно должно подтверждать полученные результаты.