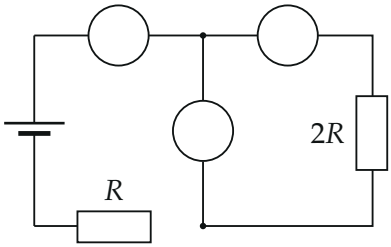
Пропавшие приборы

Задача 3. [ВсОШ 2018/19, региональный этап, 9 класс, задача 3] «Пропавшие приборы».

Миша собрал электрическую цепь, состоящую из идеального источника, двух резисторов, двух амперметров и одного вольтметра. Но второпях он забыл расставить на схеме обозначения приборов, зато точно запомнил, что один из амперметров показывал силу тока $I = 1{,}0$ мА, а вольтметр — напряжение $U = 1{,}2$ В. Восстановите обозначения приборов. Дайте обоснование. Определите показания второго амперметра, сопротивления резисторов и напряжение источника U_0. Все приборы можно считать идеальными.



▲ **Решение. Что происходит.** Идеальный амперметр — это просто провод (сопротивление ноль), идеальный вольтметр — разрыв (сопротивление бесконечно велико). Значит, ставить приборы в три кружка — то же, что решать, где на схеме провод, а где разрыв. Нужно, чтобы через амперметр шёл ток, а на вольтметре было напряжение; из трёх вариантов это выполняется только в одном. Дальше — закон Ома для последовательной цепи. Класс задачи — цепь постоянного тока с идеальными приборами.

Обозначения. Места приборов: 1 — в левом верхнем проводе, 2 — в средней перемычке, 3 — в правом верхнем проводе (рис. 1); R — сопротивление нижнего резистора, $2R$ — правого.

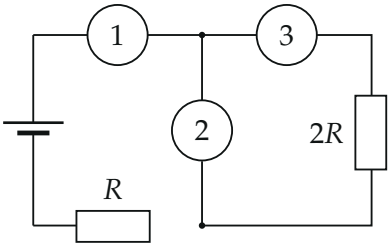


Рис. 1. Нумерация мест для приборов. Вольтметр один — он стоит в одном из трёх кружков, в двух других — амперметры.

1. Вольтметр в месте 1 (рис. 2). Место 1 стоит последовательно с источником: весь ток цепи проходит через него. Идеальный вольтметр — разрыв, ток в цепи равен нулю, оба амперметра показывают 0. А по условию один амперметр показывал 1 мА — вариант отпадает.

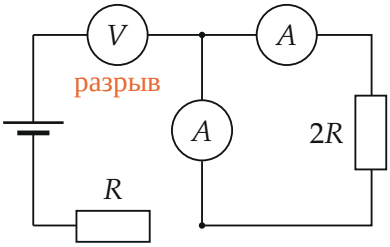


Рис. 2. Вольтметр в месте 1 разрывает всю цепь: тока нет, амперметры показывают ноль.

2. Вольтметр в месте 3 (рис. 3). Тогда в месте 2 амперметр — провод между верхним и нижним узлами. Он соединяет узлы напрямую, и правая ветвь (вольтметр + резистор $2R$) оказывается замкнута накоротко: напряжение на ней ноль, вольтметр показывает 0. По условию он показывал 1,2 В — вариант отпадает.

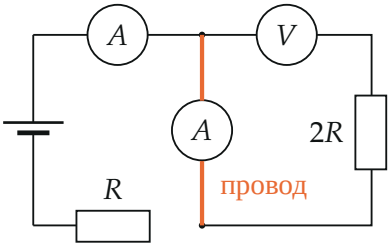


Рис. 3. Амперметр в месте 2 замыкает накоротко правую ветвь: напряжение на вольтметре в месте 3 равно нулю.

3. Остаётся вольтметр в месте 2 (рис. 4), амперметры в местах 1 и 3. Через вольтметр ток не идёт, и цепь — один контур: источник, амперметр 1, амперметр 3, резистор $2R$, резистор R. Все элементы соединены последовательно, ток во всех одинаков, поэтому **второй амперметр показывает тоже $I = 1{,}0$ мА**.

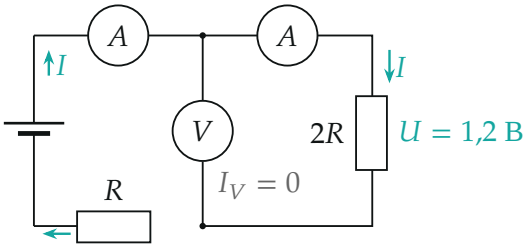


Рис. 4. Правильная схема. Ток I обходит контур через оба амперметра и оба резистора; вольтметр подключён параллельно ветви «амперметр 3 + резистор $2R$».

4. Сопротивления. Вольтметр подключён между верхним и нижним узлами, параллельно ветви «амперметр 3 + резистор $2R$». Напряжение на идеальном амперметре ноль, значит, вольтметр показывает напряжение на резисторе $2R$. Закон Ома для этого резистора:

$$2R = \frac{U}{I} = \frac{1{,}2\ \text{В}}{1{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{А}} = 1200\ \text{Ом}, \qquad R = 600\ \text{Ом}.$$

5. Напряжение источника. Закон Ома для всей последовательной цепи (сопротивление амперметров ноль):

$$U_0 = I\,(R + 2R) = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 = 1{,}8\ \text{В}.$$

Распределение потенциалов по контуру — на рис. 5.

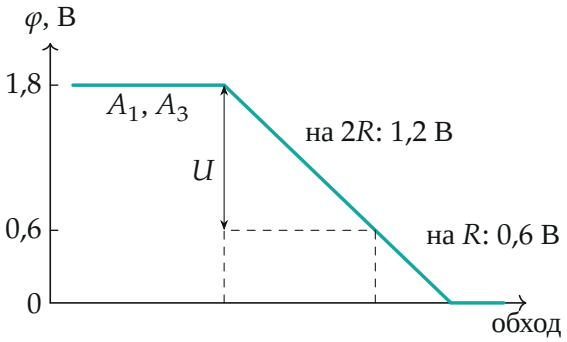


Рис. 5. Потенциал вдоль контура от «+» источника: на амперметрах не падает, на $2R$ падает 1,2 В (это и показывает вольтметр), на R — 0,6 В; всего $U_0 = 1{,}8$ В.

Обратите внимание. Вольтметр в месте 2 показывает не напряжение источника и не напряжение на R, а напряжение между узлами, то есть на правой ветви, где из сопротивлений есть только $2R$. Оба амперметра стоят в одном неразветвлённом контуре — поэтому показания одинаковы, а не «второй ноль».

Проверка. $U_0 = U + IR = 1{,}2 + 0{,}6 = 1{,}8$ В — второй закон Кирхгофа для контура сходится. Размерность: В/А = Ом.

Ответ. Место в левом верхнем проводе и место в правом верхнем проводе — амперметры, средняя перемычка — вольтметр; второй амперметр показывает 1,0 мА; $R = 600$ Ом, $2R = 1200$ Ом; $U_0 = 1{,}8$ В.