

**Ефимов Василий Васильевич**

*Заслуженный учитель РФ, Почётный работник общего образования РФ. Учитель физики Муниципальной общеобразовательной средней школы №3, г. Березники, Пермский край.*

## Идеальные и реальные вольтметры и амперметры в цепях постоянного тока

На примерах решений конкретных задач показан расчёт электрических цепей, содержащих идеальные и реальные вольтметры и амперметры. Задачи расположены в порядке возрастания сложности. В конце статьи предложены 26 задач для самостоятельного решения и ответы к ним.

### Вольтметры

При любых измерениях всегда желательно, чтобы измеряемые приборы не изменяли измеряемую величину. Если напряжение на участке цепи, к которому подключён вольтметр, остаётся прежним, то такой вольтметр называется *идеальным*.

Выясним, каким должен быть идеальный вольтметр на примере простейшей электрической цепи, состоящей из 2-х последовательно соединённых резисторов сопротивлением  $r$  и  $R$  и источника тока с напряжением  $U$  (рис. 1). Напряжение на резисторе  $R$

$$U_R = \frac{U \cdot R}{r + R}.$$

После подключения вольтметра с сопротивлением  $R_V$  (рис. 2) общее сопротивление цепи уменьшится, си-

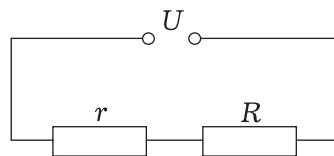


Рис. 1

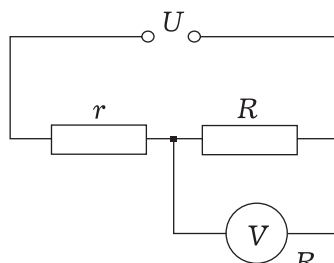


Рис. 2

ла тока в ней увеличится, увеличится напряжение на резисторе  $r$ , следовательно, уменьшится напряжение на резисторе  $R$ :

$$U_R = \frac{U \cdot \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}{r + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}$$



Чтобы напряжение  $U_R$  осталось прежним, вольтметр не должен изменять общее сопротивление цепи, его сопротивление должно стремиться к бесконечности, а сила тока, протекающего по вольтметру, должна равняться нулю:

$$R_V \rightarrow \infty, I_V = 0.$$

Если последовательно с идеаль-

ным вольтметром включён резистор с конечным сопротивлением (рис. 3), то напряжение на этом резисторе равно нулю:  $U_R = R \cdot 0 = 0$ , а напряжение на вольтметре равно напряжению на всей цепи:

$$U_V = U - U_R = U - 0 = U.$$

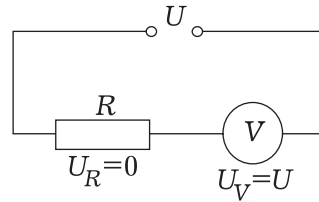


Рис. 3

Реальные вольтметры имеют хотя и очень большое, но всё же конечное сопротивление. Сила тока в школьных стрелочных вольтметрах порядка 1 мА, а их сопротивление примерно 1 кОм на 1 В шкалы. В таблице приведены примерные значения сопротивления стрелочных вольтметров в зависимости от максимального измеряемого ими напряжения.

Таблица

Предельное напряжение, измеряемое вольтметром	1000 В	1 В	1 мВ
Сопротивление вольтметра	1 МОм	1 кОм	1 Ом

Сопротивление электронных вольтметров и мультиметров, работающих в режиме вольтметра, на несколько порядков больше.

При расчёте электрических цепей реальный вольтметр можно заменять резистором с сопротивлением, равным сопротивлению вольтметра.

### Амперметры

Выясним, каким должен быть идеальный амперметр, т.е. ампер-

метр, после подключения которого сила тока в цепи не изменяется.

Пусть к источнику тока с напряжением  $U$  подключён резистор сопротивлением  $R$ . Сила тока в нём  $I_1 = \frac{U}{R}$ . Включим последовательно с резистором амперметр сопротивлением  $R_A$ . Сила тока в резисторе станет  $I_2 = \frac{U}{R + R_A}$ . Для того, чтобы после подключения амперметра сила тока в резисторе не изменилась, сопротивление амперметра и напряжение на нём должны равняться нулю ( $R_A = 0, U_A = 0$ ). Такой амперметр и будет идеальным.

Идеальный амперметр на схеме эквивалентен идеальному проводнику (проводнику с нулевым сопротивлением). Если параллельно идеаль-

ному амперметру включён резистор (рис. 4) с ненулевым сопротивлением, то напряжение на резисторе и сила тока в нём равны нулю. Чтобы реальный амперметр можно было считать идеальным, его сопротивление должно

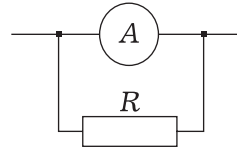


Рис. 4

быть много меньше сопротивления участка цепи, последовательно с которым он включён. Реальный амперметр при расчёте электрических цепей можно заменять резистором, сопротивление которого равно сопротивлению амперметра.

### Примеры решения задач

**Задача 1.** К источнику тока напряжением 4,5 В подключили резистор сопротивлением 3 Ом. Затем для измерения силы тока в резисторе последовательно с ним включили идеальный амперметр, а для измерения напряжения на резисторе параллельно ему подключили идеальный вольтметр. Вычислите силу тока в резисторе и напряжение на нём до и после подключения приборов.

**Решение.** До подключения приборов напряжение на резисторе с сопротивлением  $R = 3$  Ом равно напряжению источника

$$U_R = U_{\text{ист}} = 4,5 \text{ В},$$

а сила тока из закона Ома

$$I = \frac{U_R}{R} = 1,5 \text{ А}.$$

Так как по условию задачи приборы идеальные, то после их подключения сила тока в резисторе и на-

пряжение на нём не изменятся. Причём ответ задачи не зависит, по какой из двух схем, приведённых на рисунках 5а и 5б, включены приборы. Как мы дальше увидим, для реальных приборов это не так.

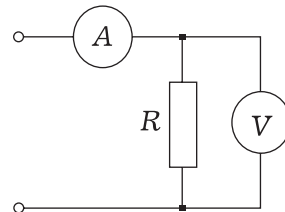


Рис. 5а

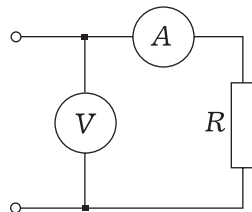


Рис. 5б

**Задача 2.** По ошибке на лабораторной работе ученик поменял местами вольтметр и амперметр в схеме, изображённой на рисунке 5а. Он собрал цепь, схема которой изображена на рисунке 6. Что показали его приборы, если их считать идеальными? Напряжение источника по-прежнему 4,5 В, а сопротивление резистора 3 Ом.

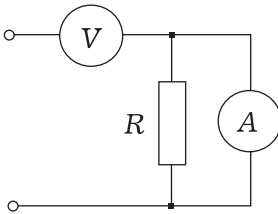


Рис. 6

**Решение.** Так как по условию задачи вольтметр идеальный, то его сопротивление и сопротивление всей цепи стремятся к бесконечности, а сила тока в каждом элементе цепи равна нулю. Равно нулю и напряжение на амперметре с резистором  $U_{RA} = R_A \cdot 0 = 0$ . Тогда напряжение на вольтметре

$$U_V = U_{\text{ист}} - U_{RA} = U_{\text{ист}} - 0 = U_{\text{ист}}$$

будет равно напряжению источника, т.е. 4,5 В.

Обычно при такой ошибке в сборке цепи ученик возмущается: «У меня амперметр неисправный, поменяйте его!»

Будет намного хуже, если кто-то перепутает вольтметр с амперметром, собирая цепь по схеме, изображенной на рисунке 5б, даже если приборы далеко не идеальные. Подумайте, почему?



**Задача 3.** К источнику тока напряжением 4,5 В подключены последовательно идеальные вольтметр и амперметр и резистор сопротивлением 3 Ом. Похоже, что цепь (рис. 7) собрал двоечник по физике. Вычислите показания приборов.

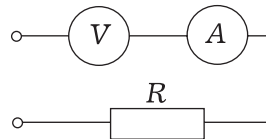


Рис. 7

**Решение.** В задаче необходимо вычислить силу тока в амперметре и напряжение на вольтметре. При последовательном соединении

$$R_{\text{общее}} = R_V + R_A + R.$$

Так как сопротивление идеального вольтметра стремится к бесконечности, то и сопротивление всей цепи  $R_{\text{общее}} \rightarrow \infty$ , а сила тока в цепи равна

нулю. Поэтому будут равны нулю напряжения на резисторе и на амперметре

$$U_R = 3 \text{ Ом} \cdot 0 \text{ А} = 0 \text{ В}, U_A = 0 \text{ Ом} \cdot 0 \text{ А} = 0 \text{ В}.$$

Сумма напряжений на всех трёх элементах цепи равна напряжению источника  $0 + 0 + U_V = U$ . Следовательно, вольтметр покажет напряжение источника тока, т.е. 4,5 В. Как мы видим, показания приборов от сопротивления резистора не зависят, но включать так вольтметр всё же не надо.

**Задача 4.** Вычислите показания идеальных амперметров в схеме, изображённой на рисунке 8. Напряжение источника 15 В.

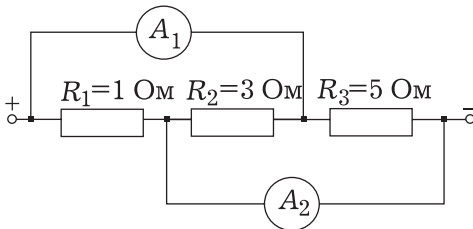


Рис. 8

**Решение.** Так как по условию задачи амперметры идеальные, заменим их идеальными проводниками (рис. 9).

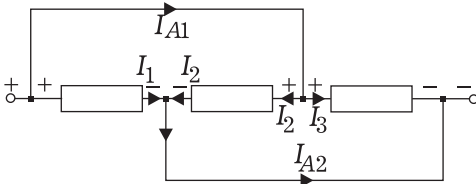


Рис. 9

У каждого из трёх резисторов один конец подключён к плюсу источника, а другой – к минусу. Следовательно, все три резистора подключены к источнику тока параллельно, а напряжение на каждом из них равно напряжению источника, т.е.  $U_1 = U_2 = U_3 = 15 \text{ В}$ . По закону Ома вычислим силу тока в каждом из них:

$$I_1 = 15 \text{ А}, I_2 = 5 \text{ А}, I_3 = 3 \text{ А}.$$

Согласно первому правилу Кирхгофа, алгебраическая сумма токов в узле равна нулю. Поэтому по амперметру  $A_1$  идёт ток 2-го и 3-го резисторов, а по амперметру  $A_2$  идёт ток 1-го и 2-го резисторов:

$$I_{A1} = I_2 + I_3 = 8 \text{ А}, I_{A2} = I_1 + I_2 = 20 \text{ А}.$$

**Задача 5.** Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, включённый между точками А и В электрической цепи, изображённой на рисунке 10? Напряжение источника тока 60 В.

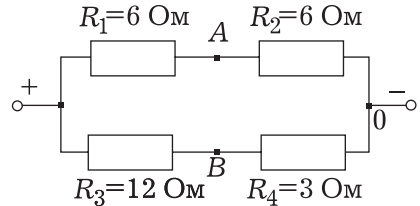


Рис. 10

**Решение.** Идеальный вольтметр не влияет на сопротивление цепи и распределение в ней токов и напряжений, поэтому на схеме его можно не рисовать. Напряжение, которое покажет идеальный вольтметр, включённый между точками А и В, равно разности потенциалов между этими точками:  $U_V = \varphi_A - \varphi_B$ . За нулевой уровень потенциала выберем отрицательный полюс источника тока (точка 0). Тогда потенциал точки А равен напряжению на резисторе  $R_2$ , а потенциал точки В – напряжению на резисторе  $R_4$ :

$$\varphi_A = U_{R2}, \varphi_B = U_{R4}.$$

Таким образом, напряжение между точками А и В равно разности напряжений на резисторах  $R_2$  и  $R_4$ :

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = U_{R2} - U_{R4}.$$

Поскольку

$$U_{R2} = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 30 \text{ В},$$

$$U_{R4} = \frac{U \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 12 \text{ В}, \text{ то}$$

$$U_{AB} = U_{R2} - U_{R4} = 18 \text{ В}.$$

**Задача 6.** Вычислите, какую силу тока покажет идеальный амперметр, включённый между точками А и В электрической цепи, изображённой на рисунке 10. Напряжение источника 60 В.



**Решение.** Заменяем идеальный амперметр идеальным проводником (рис. 11).

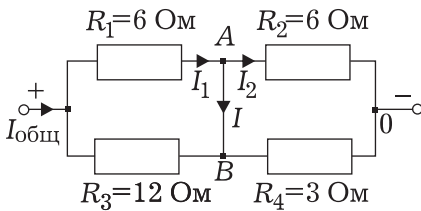


Рис. 11

Согласно первому правилу Кирхгофа, искомый ток  $I$  равен разности токов первого и второго резисторов:

$$I = I_1 - I_2.$$

Резисторы  $R_1$  и  $R_3$  соединены параллельно. Их общее сопротивление  $R_{13} = 4 \text{ Ом}$ . Общее сопротивление параллельно соединённых резисторов  $R_2$  и  $R_4$  есть  $R_{24} = 2 \text{ Ом}$ . Полное сопротивление всей цепи  $R$  равно сумме последовательно соединённых участков  $R_{13}$  и  $R_{24}$ :

$$R = R_{13} + R_{24} = 6 \text{ Ом}.$$

Сила тока во всей цепи  $I_{\text{общ}} = \frac{U}{R} = 10 \text{ А}$  (здесь  $U = 60 \text{ В}$ ). Напряжение на левом участке

$$U_{13} = I_{\text{общ}} \cdot R_{13} = 40 \text{ В},$$

на правом участке

$$U_{24} = I_{\text{общ}} \cdot R_{24} = 20 \text{ В}.$$

Сила тока в первом резисторе

$$I_1 = \frac{U_{13}}{R_1} = \frac{20}{3} \text{ А},$$

сила тока во втором резисторе

$$I_2 = \frac{U_{24}}{R_2} = \frac{10}{3} \text{ А}.$$

Сила тока, протекающего по амперметру, включённому между точками А и В,

$$I = I_1 - I_2 = \frac{10}{3} \text{ А}.$$

**Задача 7.** Вычислите показания измерительных приборов в электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 12. На схему подано напряжение  $V = 200 \text{ В}$ .

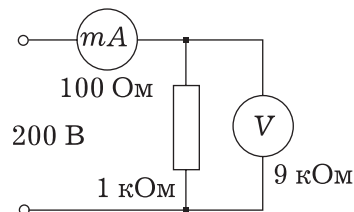


Рис. 12

**Решение.** В задаче необходимо вычислить силу тока, протекающего по миллиамперметру, и напряжение на вольтметре. Так как измерительные приборы неидеальные (обладают сопротивлением), то при вычислении их можно рассматривать как резисторы.

Общее сопротивление параллельно соединённых резистора и вольтметра

$$R_{RV} = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = 0,9 \text{ кОм} = 900 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление всей цепи  $R_{\text{общ}} = R_A + R_{RV} = 1000 \text{ Ом}$ . Полный

ток  $I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = 0,2 \text{ А}$ . Именно его и покажет миллиамперметр. Напряжение на вольтметре и на резисторе

$U_V = U_R = I \cdot R_{RV} = 0,2 \text{ А} \cdot 900 \text{ Ом} = 180 \text{ В}$ . Сила тока в резисторе  $I_R = 0,18 \text{ А}$ .

Если бы измерительных приборов не было, то напряжение на резисторе было бы 200 В, а сила тока – 0,2 А. Разница большая, так как измерительные приборы в этой задаче были уж очень плохие. Сопротивление вольтметра лишь в 10 раз больше сопротивления резистора, а миллиамперметра – во столько же раз меньше.

**Задача 8.** Какое напряжение в электрической цепи, изображённой на рисунке 13, покажет идеальный вольтметр ( $R_V \rightarrow \infty$ ) и неидеальный вольтметр ( $R_V = 20 \text{ кОм}$ ):

- при разомкнутом ключе,
- при замкнутом ключе?

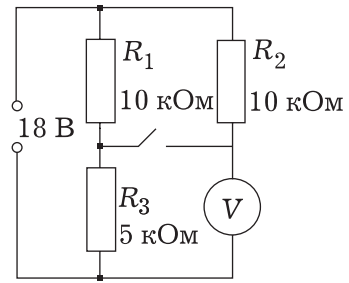


Рис. 13

**Решение.** а) При разомкнутом ключе вольтметр включён последовательно с резистором  $R_2$  к источнику тока. Поэтому напряжение на нём равно разности напряжений на источнике и на резисторе  $R_2$ :

$$U_V = U - U_{R2}$$

Если вольтметр идеальный, то сила тока в нём и в резисторе  $R_2$  равна нулю. Следовательно, равно нулю и напряжение на резисторе  $R_2$ , а напряжение на вольтметре

$$U_V = U - 0 = U = 18 \text{ В}.$$

Если вольтметр неидеальный ( $R_V = 20 \text{ кОм}$ ), то сила тока в нём

$$I_V = \frac{U}{R_2 + R_V} = 0,6 \text{ mA},$$

а напряжение

$$U_V = I_V \cdot R_V = 12 \text{ В}.$$

б) При замкнутом ключе напряжение на идеальном вольтметре равно напряжению на параллельно включённом с ним резисторе  $R_3$ . Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно, и общее сопротивление  $R_{12} = 5 \text{ кОм}$ . Оно равно

сопротивлению последовательно с ними включённого резистора  $R_3$ . Поэтому напряжение на резисторе  $R_3$  и на вольтметре равны половине напряжения источника:

$$U_{R_3} = U_V = 0,5U = 9 \text{ В.}$$

Общее сопротивление резистора  $R_3$  и неидеального вольтметра  $R_{3V} = 4 \text{ кОм}$ , полное сопротивление всей цепи  $9 \text{ кОм}$ , полный ток  $I = 2 \text{ мА}$ . Напряжение на вольтметре и на резисторе  $R_3$

$$U_V = U_{R_3} = I \cdot R_{3V} = 2 \text{ мА} \cdot 4 \text{ кОм} = 8 \text{ В.}$$

**Задача 9.** В схеме, изображённой на рисунке 14, все вольтметры, кроме 6-го, одинаковые. Напряжение на третьем вольтметре 3 В, на четвёртом 15 В. Вычислите напряжение на остальных вольтметрах.

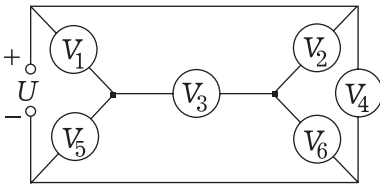


Рис. 14

**Решение.** Пусть по вольтметру  $V_3$  ток идёт слева направо. Покажем направления токов на эквивалентной схеме (рис. 15) на остальных вольтметрах.

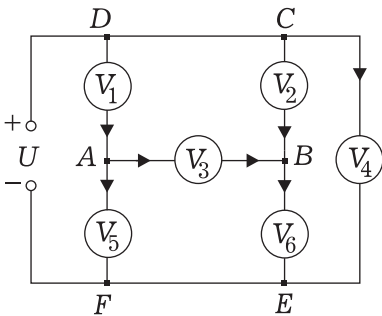


Рис. 15

Напряжение на четвёртом вольтметре равно сумме напряжений на первом и пятом вольтметрах:

$$U_4 = U_1 + U_5 = 15 \text{ В.}$$

Алгебраическая сумма токов в узле  $A$  равна нулю:  $I_1 - I_3 - I_5 = 0$ . По условию вольтметры 1, 3 и 5 одинаковые, значит, они имеют одинаковое сопротивление  $R_V$ . Имеем

$$\frac{U_1}{R_V} - \frac{U_3}{R_V} - \frac{U_5}{R_V} = 0.$$

Отсюда  $U_1 - U_3 - U_5 = 0$ .

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} U_1 + U_5 = 15, \\ U_1 - 3 - U_5 = 0, \end{cases}$$

находим, что  $U_1 = 9 \text{ В}$ ,  $U_5 = 6 \text{ В}$ .

В контуре  $ABCD$  нет источника тока. Тогда из второго правила Кирхгофа следует, что алгебраическая сумма напряжений по этому контуру равна нулю:

$$U_1 + U_3 - U_2 = 0.$$

Отсюда  $U_2 = U_1 + U_3 = 12 \text{ В}$ . Напряжение на шестом вольтметре

$$U_6 = U_4 - U_2 = 3 \text{ В.}$$

Применим к узлу  $B$  первое правило Кирхгофа  $I_2 + I_3 = I_6$ . Имеем

$$\begin{aligned} \frac{U_2}{R_V} + \frac{U_3}{R_V} &= \frac{U_6}{R_{V6}}; \quad \frac{12}{R_V} + \frac{3}{R_V} = \frac{3}{R_{V6}}; \\ \frac{15}{R_V} &= \frac{3}{R_{V6}}; \quad R_{V6} = \frac{R_V}{5}. \end{aligned}$$

Получили, что сопротивление шестого вольтметра в 5 раз меньше, чем у остальных.

Если по третьему вольтметру ток идёт в противоположную сторону, то поменяются местами напряжения и на первом, и на пятом вольтметрах, и на втором, и на шестом вольтметрах. По шестому вольтметру ток не пойдёт, т.е. он должен быть идеальным.



**Задача 10.** Электрическая цепь, изображённая на рисунке 16, состоит из одинаковых миллиамперметров сопротивлением  $r = 2$  Ом и одинаковых милливольтметров сопротивлением  $R = 40$  Ом. Напряжение источника тока  $U = 1$  В. Вычислите показания сотого миллиамперметра и сотого милливольтметра. Найдите сумму показаний всех миллиамперметров и сумму показаний всех милливольтметров.

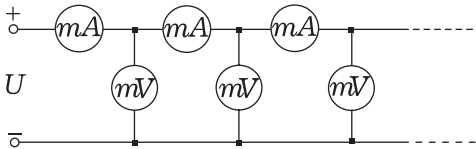


Рис. 16

**Решение.** Пусть сопротивление всей цепи  $X$ . Так как цепь бесконечная, то после отделения от неё первых миллиамперметра и милливольтметра она не изменится и её сопротивление будет  $X$ .

Нарисуем эквивалентную схему, заменив приборы резисторами (рис. 17).

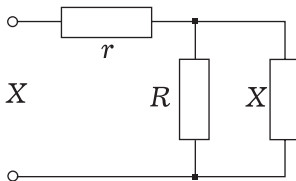


Рис. 17

Общее сопротивление цепи

$$X = r + \frac{R \cdot X}{R + X}.$$

Решив уравнение, получим, что

$$X = 10 \text{ Ом}.$$

Сила тока в первом миллиамперметре  $I_1 = \frac{U}{X} = 100 \text{ мА}$ , напряжение на первом милливольтметре

$$U_1 = I_1 \cdot \frac{R \cdot X}{R + X} = 800 \text{ мВ}.$$

На всю оставшуюся цепь, кроме первых двух приборов, подаётся напряжение  $0,8$  В. Это напряжение составляет  $0,8$  от напряжения источника, поэтому

$$I_2 = 0,8 \cdot I_1, \quad U_2 = 0,8 \cdot U_1.$$

Аналогично

$$I_3 = 0,8 \cdot I_2 = 0,8^2 \cdot I_1, \quad U_3 = 0,8 \cdot U_2 = 0,8^2 \cdot U_1, \quad I_n = 0,8^{n-1} \cdot I_1, \quad U_n = 0,8^{n-1} \cdot U_1,$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  Для сотых приборов

$$I_{100} = 0,8^{99} \cdot I_1 = 0,8^{99} \cdot 200 \text{ мА} \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ мА},$$

$$U_{100} = 0,8^{99} \cdot U_1 = 0,8^{99} \cdot 800 \text{ мВ} \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ мВ}.$$

И токи, и напряжения составляют бесконечно убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем

$$q = 0,8. \text{ Сумма её членов } S = \frac{a}{1-q}.$$

Поэтому

$$\sum I = \frac{I_1}{1-q} = \frac{100 \text{ мА}}{1-0,8} = 500 \text{ мА},$$

$$\sum U = \frac{U_1}{1-q} = \frac{800 \text{ мВ}}{1-0,8} = 4 \text{ В}.$$

Эти результаты можно получить иначе, учитывая, что сумма напряжений на всех миллиамперметрах равна напряжению источника, а сумма токов, протекающих по всем милливольтметрам, равна току в первом миллиамперметре:

$$\sum I = \sum \frac{U_A}{r} = \frac{\sum U_A}{r} = \frac{U}{r} = \frac{1 \text{ В}}{2 \text{ Ом}} = 500 \text{ мА},$$

$$\sum U = \sum I_V \cdot R = R \cdot \sum I_V =$$

$$= R \cdot I_1 = 40 \text{ Ом} \cdot 0,1 \text{ А} = 4 \text{ В}.$$

### Задачи для самостоятельного решения

1-22. Вычислите показания идеальных вольтметров и идеальных амперметров в электрических цепях, схемы которых изображены на

рисунках 1–22. Напряжение источника  $U = 6 \text{ В}$ , сопротивление резисторов  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 4 \text{ Ом}$ .

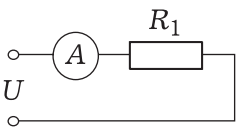


Рис. 1

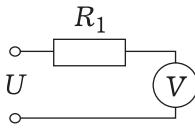


Рис. 2

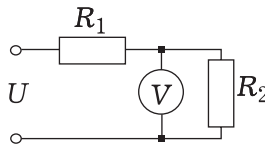


Рис. 3

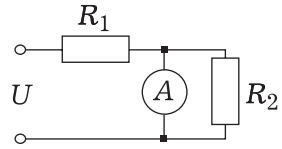


Рис. 4

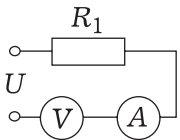


Рис. 5

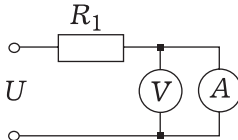


Рис. 6

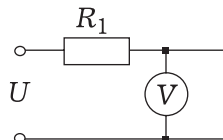


Рис. 7

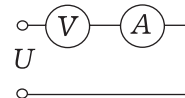


Рис. 8

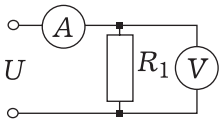


Рис. 9

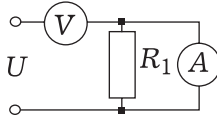


Рис. 10

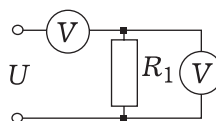


Рис. 11

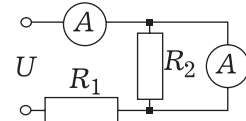


Рис. 12

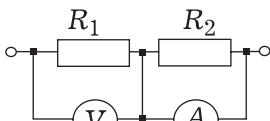


Рис. 13

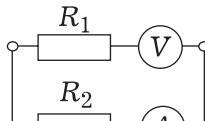


Рис. 14

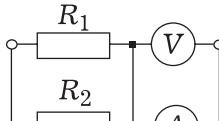


Рис. 15

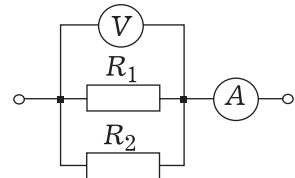


Рис. 16

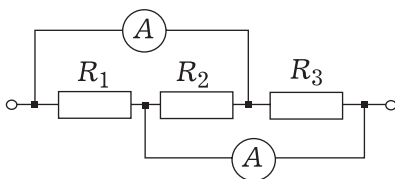


Рис. 17

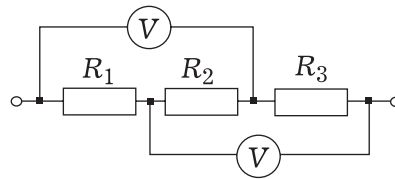


Рис. 18

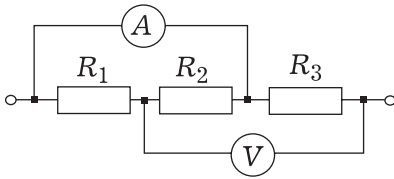


Рис. 19

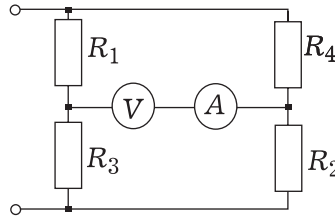


Рис. 20

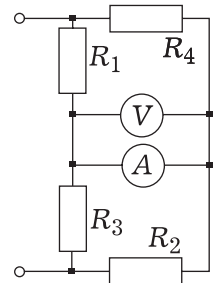


Рис. 21

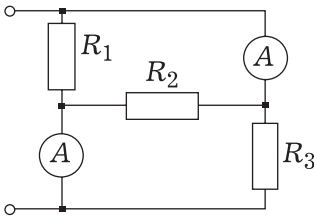


Рис. 22

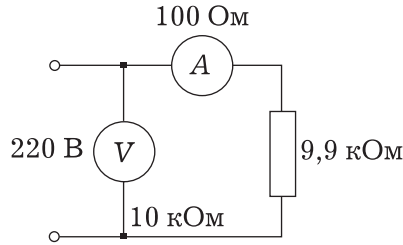


Рис. 23

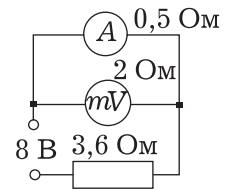


Рис. 24

**23, 24.** Вычислите показания неидеальных измерительных приборов в схемах, изображённых на рисунках 23 и 24.

**25.** В схеме, изображенной на рисунке 25, все амперметры, кроме  $A_6$ , одинаковые. Первый показывает ток 5 А, четвертый – 1 А. Вычислите показания остальных амперметров. Вычислите сопротивление амперметра  $A_6$ , если сопротивление амперметра  $A_5$  равно  $R$ .

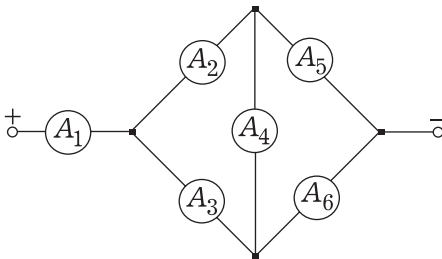


Рис. 25

**26.** Бесконечная электрическая цепь, изображённая на рисунке 26, состоит из одинаковых миллиамперметров, сопротивление которых  $r = 1$  Ом, и одинаковых вольтметров с сопротивлением  $R = 9,9$  кОм. Вычислите показания первых и две тысячи седьмых миллиамперметров и вольтметров. Вычислите сумму показаний всех миллиамперметров и сумму показаний всех вольтметров.

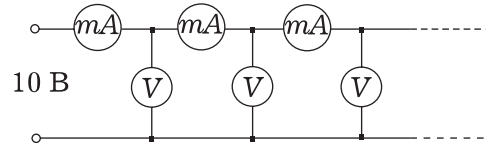


Рис. 26



### Ответы

- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| 1. 6 А.       | 13. 6 А, 6 В.      |
| 2. 6 В.       | 14. 6 В, 3 А.      |
| 3. 4 В.       | 15. 9 А, 0 В.      |
| 4. 6 А.       | 16. 9 А, 6 В.      |
| 5. 6 В, 0 А.  | 17. 5 А, 9 А.      |
| 6. 6 В, 0 В.  | 18. 3 В, 5 В.      |
| 7. 0 В.       | 19. 2 А, 6 В.      |
| 8. 0 А, 6 В.  | 20. 2,5 В, 0 А.    |
| 9. 6 А, 6 В.  | 21. 0 В, 1,2 А.    |
| 10. 6 В, 0 А. | 22. 5 А, 9 А.      |
| 11. 6 В, 0 В. | 23. 220 В, 22 мА.  |
| 12. 6 А, 6 А. | 24. 800 мВ, 1,6 А. |

25. Если по амперметру  $A_4$  ток направлен вверх, то  $I_2 = 3$  А,  $I_3 = 2$  А,  $I_5 = 4$  А,  $I_6 = 1$  А,  $R_6 = 5R$ .

Если по амперметру  $A_4$  ток направлен вниз, то  $I_2 = 2$  А,  $I_3 = 3$  А,  $I_5 = 1$  А,  $I_6 = 4$  А,  $R_6 = 0$ , т.е. амперметр  $A_6$  – идеальный.

26.  $I_1 = 100$  мА,  $I_{2007} = 1,7 \cdot 10^{-7}$  мА,  $U_1 = 9,9$  В,  $U_{2007} = 1,7 \cdot 10^{-8}$  В. Сумма токов 10 А, сумма напряжений 990 В.

## Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

- ◆ Диалог на экзамене.
  - Что такое лошадиная сила? - Спрашивает студента преподаватель.
  - Это сила, которую развивает лошадь ростом в один метр и весом в один килограмм.
  - Да где же вы такую лошадь видели?!
  - А её так просто не увидишь. Она хранится в Париже, в Палате мер и весов.
- ◆ Если вы это помните, то про это можно забыть.
- ◆ Возьмём произвольное число  $n$ ... Нет, мало –  $m$ !