



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-

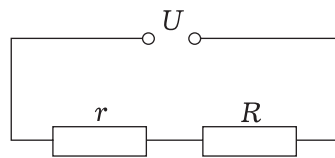


Рис. 1

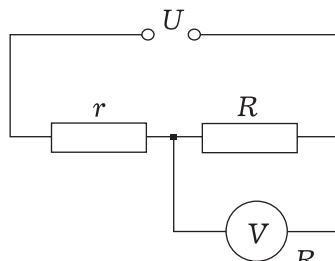


Рис. 2

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:

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

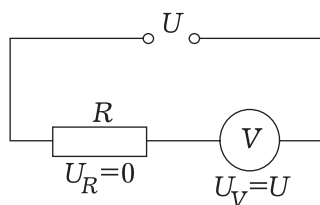


Рис. 3

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

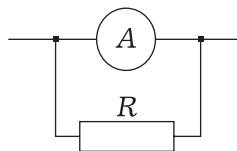


Рис. 4

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.

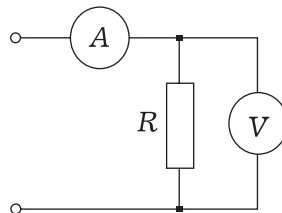


Рис. 5а

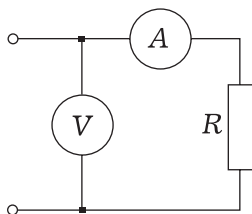


Рис. 5б

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.

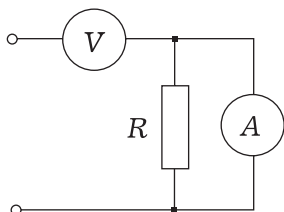


Рис. 6

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.

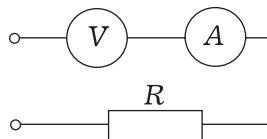


Рис. 7

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.

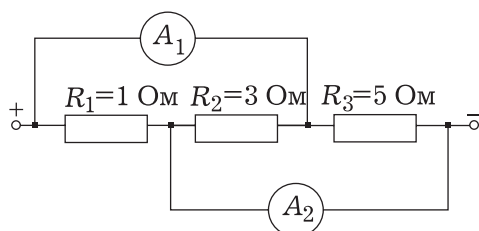


Рис. 8

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

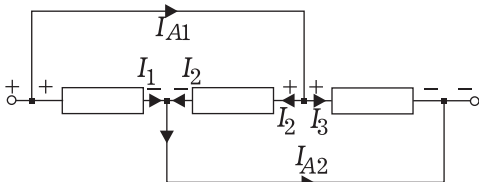


Рис. 9

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.

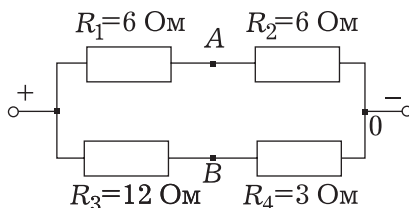


Рис. 10

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).

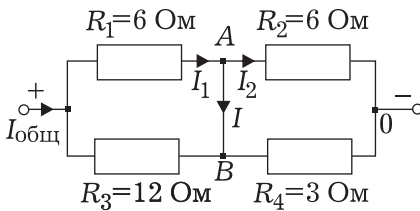


Рис. 11

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 $V = 200 \text{ В}$.

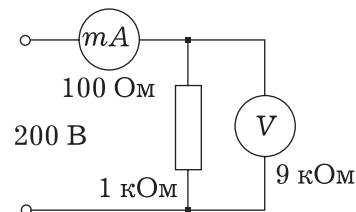


Рис. 12



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?

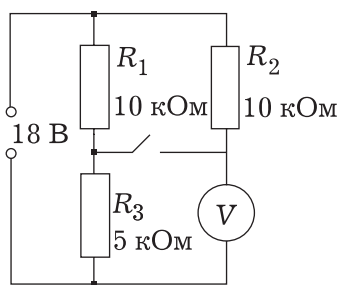


Рис. 13

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

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

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 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.

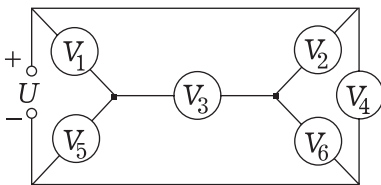


Рис. 14

Решение. Пусть по вольтметру V_3 ток идёт слева направо. Покажем направления токов на остальных вольтметрах.

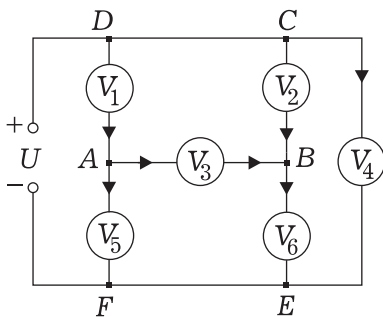


Рис. 15

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

$$\frac{U_2}{R_V} + \frac{U_3}{R_V} = \frac{U_6}{R_{V6}}; \quad \frac{12}{R_V} + \frac{3}{R_V} = \frac{3}{R_{V6}};$$

$$\frac{15}{R_V} = \frac{3}{R_{V6}}; \quad R_{V6} = \frac{R_V}{5}.$$

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.

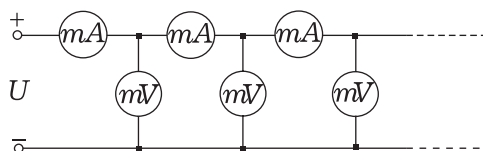


Рис. 16

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).

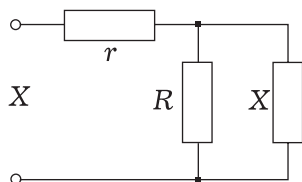


Рис. 17

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:

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

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

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

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 $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, $R_4 = 4 \text{ Ом}$.

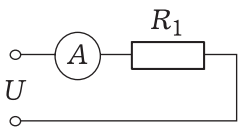


Рис. 1

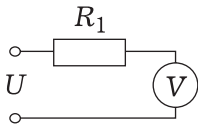


Рис. 2

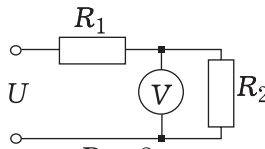


Рис. 3

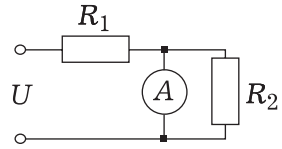


Рис. 4

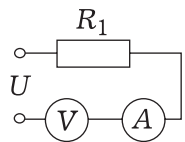


Рис. 5

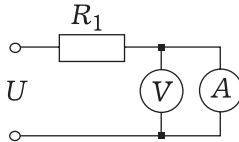


Рис. 6

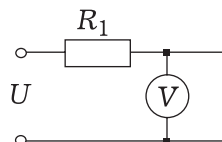


Рис. 7

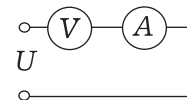


Рис. 8

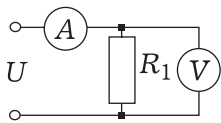


Рис. 9

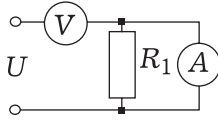


Рис. 10

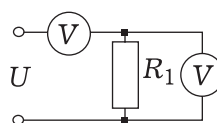


Рис. 11

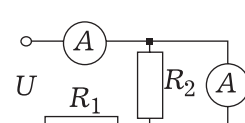


Рис. 12

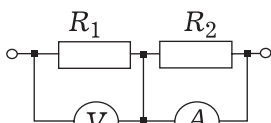


Рис. 13

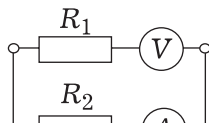


Рис. 14

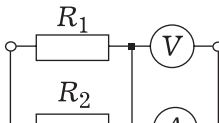


Рис. 15

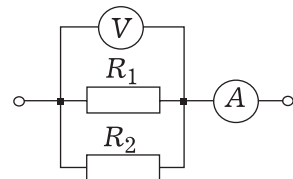


Рис. 16

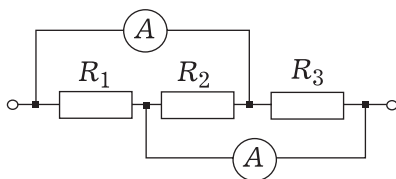


Рис. 17

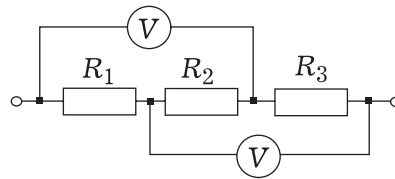


Рис. 18

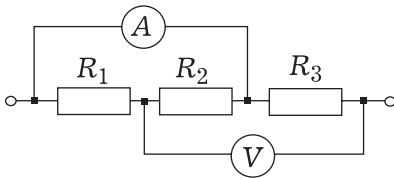


Рис. 19

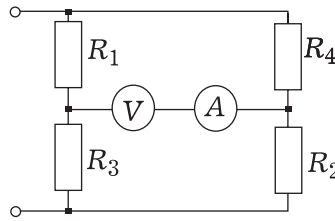


Рис. 20

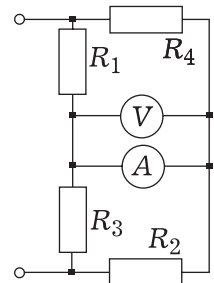


Рис. 21

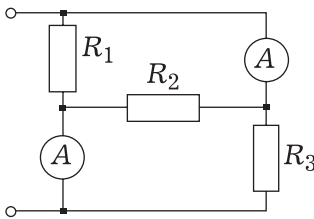


Рис. 22

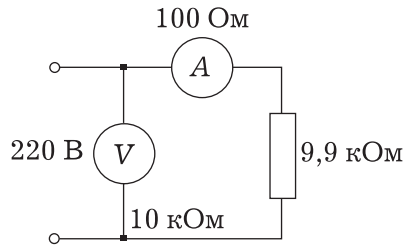


Рис. 23

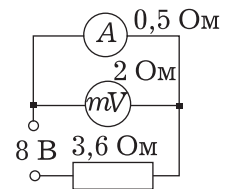


Рис. 24

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 .

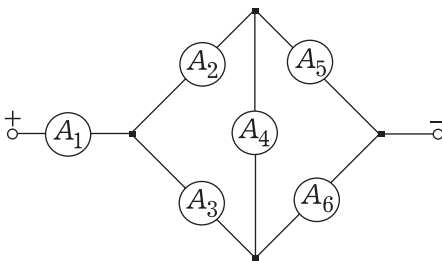


Рис. 25

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.

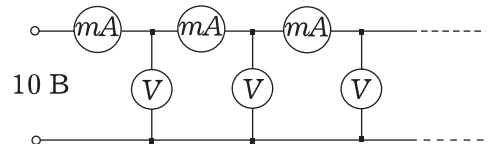


Рис. 26

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.