

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и ЭДС 12 В подключена электрическая лампочка сопротивлением 8 Ом. Определить заряд, который будет перенесён через лампочку за 5 минут. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$R = 8 \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 300 \text{ с}$$

Найти:

$$\Delta q = ?$$

Решение:

Запишем определение силы тока $I = \Delta q / \Delta t$. Отсюда заряд, который будет перенесён через лампочку за время Δt : $\Delta q = I \cdot \Delta t$. Силу тока I можно определить и закона Ома для замкнутой цепи:

$$I = \varepsilon / (R + r).$$

В результате для заряда получим выражение:

$$\Delta q = \varepsilon \Delta t / (R + r).$$

Подставляя численные значения и проводя расчеты, получим:

$$\Delta q = 12 \cdot 300 / (8 + 2) = 360 \text{ Кл.}$$

Ответ: $\Delta q = 360 \text{ Кл.}$

2. Нагрузкой усилителя служит цепь, состоящая из резистора R_1 сопротивлением 2 Ом, включенного последовательно с параллельно соединёнными резисторами $R_2 = 5 \text{ Ом}$ и $R_3 = 20 \text{ Ом}$. Ток в резисторе R_2 равен 1 А. Найти силу тока в резисторе R_1 . Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 5 \text{ Ом}$$

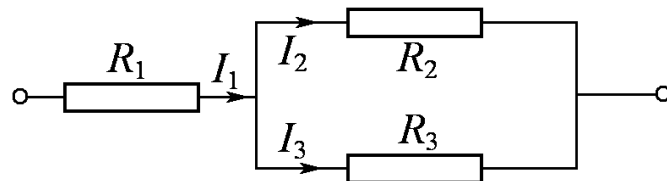
$$R_3 = 20 \text{ Ом}$$

$$I_2 = 1 \text{ А}$$

Найти:

$$I_1 = ?$$

Решение:



Для разветвлённой цепи, изображённой на рисунке, справедливо условие: $I_1 = I_2 + I_3$.

Найдём значение силы тока I_3 . Для этого учтём, что при параллельном соединении резисторов напряжение на них одинаково: $U_2 = U_3$, т.е. $I_2 R_2 = I_3 R_3$.

Отсюда $I_3 = I_2 R_2 / R_3$.

В итоге, $I_1 = I_2 + I_2 R_2 / R_3 = I_2 (R_3 + R_2) / R_3$.

Обратим внимание на то, что значение R_1 нам не понадобилось. Проводя вычисления, получим

$$I_1 = 1 \cdot (20 + 5) / 20 = 1,25 \text{ А.}$$

Ответ: $I_1 = 1,25 \text{ А.}$

3. Для измерения ЭДС своего аккумулятора автомобилист последовательно соединил источник с ЭДС, равной 2 В, и амперметр. При этом амперметр показал ток равный 1 А. При изменении полярности включения аккумулятора ток в цепи стал равен 0,75 А. Какова ЭДС аккумулятора? Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$\varepsilon = 2 \text{ В}$$

$$I_1 = 1 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,75 \text{ А}$$

Найти:

$$\varepsilon_x = ?$$

Решение:

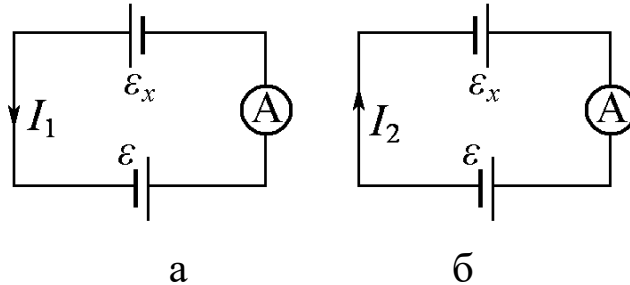


Рисунок – Включение источников тока в цепь:
а) последовательное; б) встречное

При первом способе включения в цепь источников тока (рисунок, а) их ЭДС складываются, т.е. результирующая ЭДС в цепи равна:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon + \varepsilon_x.$$

Из закона Ома для замкнутой цепи сила тока $I_1 = \varepsilon_1/R = (\varepsilon + \varepsilon_x)/R$, где R – полное сопротивление цепи. При втором способе соединения (рисунок, б) источники тока включены навстречу друг другу, поэтому результирующая ЭДС в цепи будет находиться как $\varepsilon_2 = \varepsilon_x - \varepsilon$ (предполагая, что $\varepsilon_x > \varepsilon$).

Используя закон Ома для данного случая, получим:

$$I_2 = \varepsilon_2/R = (\varepsilon_x - \varepsilon)/R.$$

Взяв отношение выражений для сил токов $I_1/I_2 = (\varepsilon_x + \varepsilon)/(\varepsilon_x - \varepsilon)$ и выражая ε_x , получим: $\varepsilon_x = \varepsilon \cdot (I_1 + I_2)/(I_1 - I_2)$.

Вычислим: $\varepsilon_x = 2 \cdot (1 + 0,75)/(1 - 0,75) = 14 \text{ В}$.

Ответ: $\varepsilon_x = 14 \text{ В}$.

4. Определить в единицах СИ сопротивление шунта, который нужно подключить параллельно к амперметру, чтобы можно было измерять токи до 5 А. Амперметр имеет шкалу на 1 А и внутреннее сопротивление 5 Ом.

Дано:

$$I = 5 \text{ А}$$

$$I_A = 1 \text{ А}$$

$$R_A = 5 \text{ Ом}$$

Найти:

$$R_{\text{ш}} = ?$$

Решение:

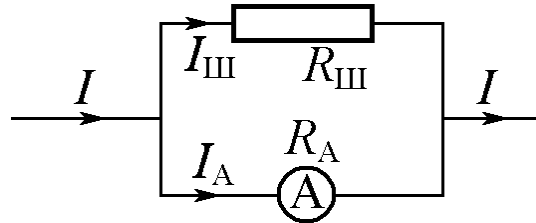


Рисунок – Амперметр с шунтом

Ни рисунке изображена схема подключения амперметра с шунтом. Предполагается, что через неразветвлённый участок цепи течёт максимальный ток I , а через амперметр максимально допустимый ток I_A . Запишем закон Ома для двух параллельных участков цепи $I_{\text{ш}} = U_{\text{ш}}/R_{\text{ш}}$ – для шунта и $I_A = U_A/R_A$ – для амперметра. Для параллельных участков падения напряжения равны $U_{\text{ш}} = U_A$, следовательно $I_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A$, и $R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A / I_{\text{ш}}$. Силу тока через шунт $I_{\text{ш}}$ можно найти из условия $I = I_A + I_{\text{ш}}$, $I_{\text{ш}} = I - I_A$. В результате подстановки получим окончательное выражение для $R_{\text{ш}}$:

$$R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A / (I - I_A).$$

Расчёт даёт: $R_{\text{ш}} = 1 \cdot 5 / (5 - 1) = 1,25 \text{ Ом}.$

Ответ: $R_{\text{ш}} = 1,25 \text{ Ом}.$

5. Определить в единицах СИ сопротивление резистора, который необходимо подключить последовательно с вольтметром, чтобы можно было измерять напряжения до 50 В. Вольтметр имеет шкалу максимум на 10 В и внутреннее сопротивление 200 Ом.

Дано:

$$U = 50 \text{ В}$$

$$U_V = 10 \text{ В}$$

$$R_V = 200 \text{ Ом}$$

Найти:

$$R = ?$$

Решение:

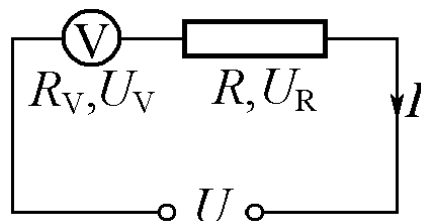


Рисунок – Вольтметр с резистором

Ни рисунке изображена схема подключения вольтметра с резистором. Максимально допустимое напряжение на вольтметре при подаче на цепь максимального напряжения внешней цепи U будет равно U_V . Запишем закон Ома для двух участков цепи

$I_V = U_V/R_V$ – для вольтметра и $I_R = U_R/R$ – для резистора. При последовательном соединении токи равны ($I_V = I_R$), тогда $U_V/R_V = U_R/R$, и $R = R_V \cdot U_R/U_V$.

Напряжение на резисторе можно найти из условия

$$U = U_R + U_V, U_R = U - U_V.$$

В результате подстановки получим окончательное выражение для R :

$$R = R_V \cdot (U - U_V)/U_V.$$

Подставляя численные значения, получим:

$$R = 200 \cdot (50 - 10)/10 = 800 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 800 \text{ Ом}$.

6. Шнур питания магнитофона изготовлен из проводника с удельным сопротивлением $40 \text{ нОм} \cdot \text{м}$ и плотностью 8000 кг/м^3 . Определить массу материала, пошедшего на изготовление провода, если его поперечное сечение 3 мм^2 и сопротивление $0,01 \text{ Ом}$. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$\rho_R = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$S = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$R = 0,01 \text{ Ом}$$

Найти:

$$m = ?$$

Решение:

Масса проводника m пропорциональна его объёму V : $m = \rho V = \rho S l$, где l – длина проводника. Сопротивление проводника можно определить из выражения $R = \rho_R \cdot l/S$. Отсюда выразим длину проводника и подставим в выражение для массы:

$$m = \rho S^2 R / \rho_R.$$

Проведём расчёты и получим:

$$m = 8 \cdot 10^3 \cdot (3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,01 / 4 \cdot 10^{-8} = 0,018 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 0,018 \text{ кг}$.

7. Проводник из материала с температурным коэффициентом сопротивления $0,003 \text{ K}^{-1}$ при включении в сеть постепенно нагрелся от 0°C до 100°C . Во сколько раз уменьшилась мощность, потребляемая проводником при неизменном напряжении в сети?

Дано:

$$\alpha = 0,003 \text{ K}^{-1}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$t = 100^\circ\text{C}$$

$$U = \text{const}$$

Найти:

$$P_0/P = ?$$

Решение:

Запишем выражения для мощности, потребляемой проводником в начале нагрева: $P_0 = U^2/R_0$, и в конце нагрева: $P = U^2/R$, где R_0 и R – начальное и конечное сопротивления проводника.

Тогда искомое отношение мощностей:

$$P_0/P = R/R_0.$$

Подставляя сюда выражения для температурной зависимости сопротивления проводника (при условии неизменности его геометрических параметров):

$$R = \rho_R \cdot l/S = \rho_0 \cdot (1 + \alpha t) \cdot l/S = (\rho_0 l/S) \cdot (1 + \alpha t) = R_0 \cdot (1 + \alpha t),$$

получим $P_0/P = (1 + \alpha t)$.

Вычисляя, находим $P_0/P = (1 + 0,003 \cdot 100) = 1,3$.

Ответ: $P_0/P = 1,3$.

8. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и ЭДС 12 В подключены две последовательно соединённые лампочки сопротивлением 5 Ом каждая. Определить мощность, выделяющуюся в одной лампочке. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$R_{\text{Л}} = 5 \text{ Ом}$$

Найти:

$$P_{\text{Л}} = ?$$

Решение:

Мощность, выделяющаяся в одной лампочке, можно рассчитать по формуле $P_{\text{Л}} = I^2 R_{\text{Л}}$.

Ток I , текущий в цепи, найдём из закона Ома для замкнутой цепи: $I = \varepsilon / (R + r)$,

где R – сопротивление нагрузки, состоящей из двух последовательно соединённых ламп

$$R = R_{\text{Л}} + R_{\text{Л}} = 2R_{\text{Л}}.$$

Произведём подстановку в выражение для мощности и получим

$$P_{\text{Л}} = \varepsilon^2 \cdot R_{\text{Л}} / (2R_{\text{Л}} + r)^2.$$

Вычислим: $P_{\text{Л}} = 12^2 \cdot 5 / (10 + 2)^2 = 5 \text{ Вт}$.

Ответ: $P_{\text{Л}} = 5 \text{ Вт}$.

9. Три одинаковых проводника соединили параллельно и включили в сеть. При этом за 40 с выделилось 200 Дж теплоты. Сколько времени потребуется для выделения 200 Дж теплоты, если эти же проводники соединить последовательно и включить в ту же сеть? Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$t_1 = 40 \text{ с}$$

$$Q = 200 \text{ Дж}$$

Найти:

$$t_2 = ?$$

Решение:

Рассмотрим два случая включения сопротивлений в цепи с неизменным внешним напряжением U .

1. При параллельном соединении проводников их общее сопротивление R_1 определяется из выражения:

$$1/R_1 = 1/R + 1/R + 1/R = 3/R, \quad R_1 = R/3,$$

где R – сопротивление каждого проводника. Количество тепла, выделяющегося в проводниках можно найти по формуле:

$$Q = U^2 \cdot t_1 / R_1 = 3U^2 \cdot t_1 / R.$$

2. При последовательном соединении проводников их общее сопротивление R_2 определяется как $R_2 = R + R + R = 3R$. Количество тепла, выделяющегося в проводниках в этом случае, можно найти по формуле:

$$Q = U^2 \cdot t_2 / R_2 = U^2 \cdot t_2 / 3R.$$

Так как, по условию, количество тепла в обоих случаях выделяется одинаковое, то приравняем полученные выражения и выразим искомое значение времени t_2 : $t_2 = 9t_1$.

Вычисляя, получим $t_2 = 9 \cdot 40 = 360 \text{ с}$.

Ответ: $t_2 = 360 \text{ с}$.

10. Чему равен коэффициент полезного действия источника тока, если при увеличении в два раза внешнего сопротивления, на которое он замкнут, разность потенциалов на обкладках источника увеличивается на 10 %? Ответ дать в процентах, округлив до целого числа.

Дано:

$$R_2 = 2R_1$$

$$U_2 = 1,1U_1$$

Найти:

$$\eta_1 = ?$$

Решение:

Коэффициент полезного действия источника тока определяется выражением:

$$\eta_1 = R_1 / (R_1 + r) = (1 + r/R_1)^{-1},$$

где R_1 – сопротивление нагрузки, а r – внутреннее сопротивление источника. В итоге, нужно найти отношение r/R_1 .

Запишем закон Ома для полной цепи в первом и втором случае:

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = U_1 + I_1r, \quad \varepsilon = I_2(R_2 + r) = U_2 + I_2r.$$

Отсюда, $I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$ (*).

Учитывая условие задачи $R_2 = 2R_1$ и $U_2 = 1,1U_1$, найдём:

$$2I_2R_1 = 1,1 \cdot I_1R_1, \quad I_2 = 0,55 \cdot I_1.$$

Возвращаясь к выражению (*), получим:

$$\begin{aligned} I_1(R_1 + r) &= 0,55I_1(2R_1 + r), & R_1 + r &= 1,1R_1 + 0,55r, \\ 0,1R_1 &= 0,45r, & r/R_1 &= 2/9. \end{aligned}$$

Подставляя отношение r/R_1 в выражение для КПД, найдём:

$$\eta_1 = (1 + 2/9)^{-1} = 9/11 = 0,818 \approx 82 \, \%.$$

Ответ: $\eta_1 = 82 \, \%$.
