

10-11 классы, подготовка к теоретическому туру

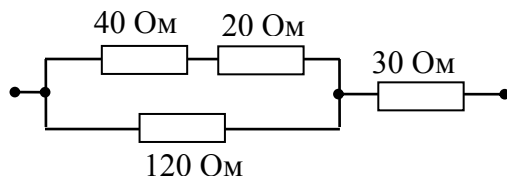
олимпиады школьников «Робофест» по физике

Задачи к вводному занятию 7.

Тема: «ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА».

Задача 1 (1 балл) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения]

Найти общее сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке. Ответ запишите в омах.



Подсказка 1: Сопротивление последовательно соединенных резисторов 40 Ом и 20 Ом равно 60 Ом.

Подсказка 2: Сопротивление параллельно соединенных участков 60 Ом и 120 Ом определяется соотношением $\frac{1}{R} = \frac{1}{60\text{Ом}} + \frac{1}{120\text{Ом}}$.

Подсказка 3: Нужно прибавить сопротивление оставшегося резистора.

Решение: Сопротивление последовательно соединенных резисторов 40 Ом и 20 Ом равно 60 Ом. Сопротивление параллельно соединенных участков 60 Ом и 120 Ом определяется

соотношением $\frac{1}{R} = \frac{1}{60\text{Ом}} + \frac{1}{120\text{Ом}}$, откуда $R = 40\text{Ом}$. Прибавляя сопротивление оставшегося резистора, равное 30 Ом, находим, что полное сопротивление равно 70 Ом.

ОТВЕТ: 70.

Задача 2 (2 балла) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения, закон Ома]

Однородный провод подключили к клеммам идеального источника ЭДС, и по нему потек ток 1,5 А. Потом его разрезали на три одинаковые части, и подключили их параллельно к клеммам того же источника. Найдите полный ток, создаваемый источником. Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.

Подсказка 1: Сопротивление трети провода в три раза меньше, чем сопротивление целого провода.

Подсказка 2: Идеальный источник ЭДС всегда создает на своих клеммах одно и то же напряжение.

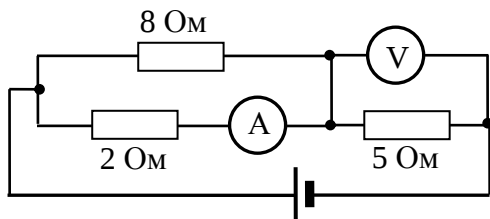
Подсказка 3: При параллельном соединении токи складываются.

Решение: Сопротивление трети провода в три раза меньше, чем сопротивление целого провода. Поэтому при подключении трети провода к тому же идеальному источнику (который всегда создает на своих клеммах одно и то же напряжение) сила тока в ней будет в три раза больше и равна 4,5 А. Когда три участка провода подключены параллельно, токи складываются, и полный ток будет равен 13,5 А.

ОТВЕТ: 13,5.

Задача 3 (3 балла) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения, закон Ома]

В схеме, показанной на рисунке, практически идеальный амперметр показывает силу тока, равную 1,6 А. Каковы показания вольтметра, который также можно считать идеальным? Ответ запишите в вольтах, при необходимости округлив до целого значения.



Подсказка 1: В двух параллельно соединенных ветвях токи обратно пропорциональны сопротивлениям.

Подсказка 2: Поэтому в ветви с сопротивлением в 8 Ом ток в 4 раза меньше, чем в ветви с сопротивлением 2 Ом.

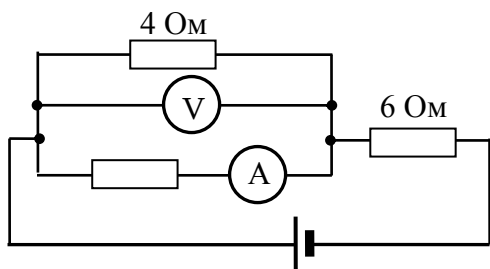
Подсказка 3: Суммарный ток этих ветвей течет через резистор 5 Ом.

Решение: В двух параллельно соединенных ветвях токи обратно пропорциональны сопротивлениям (причем сопротивлением амперметра мы пренебрегаем, так как он по условию идеален), поэтому в ветви с сопротивлением в 8 Ом ток в 4 раза меньше, чем в ветви с сопротивлением 2 Ом. Таким образом, в ветви с резистором 8 Ом течет ток 0,4 А, и суммарный ток в этих ветвях равен 2 А. Через идеальный вольтметр ток не течет, и поэтому весь этот ток течет через резистор 5 Ом. Вольтметр показывает напряжение на этом резисторе, которое по закону Ома равно $2 \text{ А} \times 5 \text{ Ом} = 10 \text{ В}$.

ОТВЕТ: 10.

Задача 4 (3 балла) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения, закон Ома, ЭДС]

В схеме, показанной на рисунке, вольтметр показывает напряжение 11 В, а амперметр – силу тока 2,25 А. ЭДС источника равна 44 В. Чему равно внутреннее сопротивление источника? Вольтметр имеет очень большое внутреннее сопротивление, а внутреннее сопротивление амперметра равно 0,2 Ом. Измерительные приборы можно считать идеальными. Ответ запишите в Омах, с точностью до десятых.



Подсказка 1: Вольтметр показывает напряжение на резисторе 4 Ом, поэтому ток через этот резистор, согласно закону Ома равен $11 \text{ В} : 4 \text{ Ом} = 2,75 \text{ А}$.

Подсказка 2: Этот ток складывается с током из ветви с амперметром, и через резистор 6 Ом течет ток 5 А.

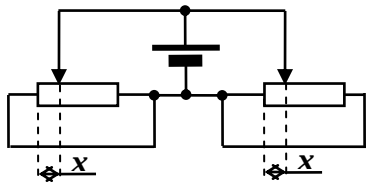
Подсказка 3: Напряжение на внутреннем сопротивлении источника $44 \text{ В} - (11 \text{ В} + 30 \text{ В}) = 3 \text{ В}$.

Решение: Вольтметр показывает напряжение на резисторе 4 Ом, поэтому ток через этот резистор, согласно закону Ома равен $11 \text{ В} : 4 \text{ Ом} = 2,75 \text{ А}$. Этот ток складывается с током из ветви с амперметром, и через резистор 6 Ом течет ток 5 А. Значит, напряжение на этом резисторе равно $5 \text{ А} \times 6 \text{ Ом} = 30 \text{ В}$. Следовательно, напряжение на внутреннем сопротивлении источника $44 \text{ В} - (11 \text{ В} + 30 \text{ В}) = 3 \text{ В}$ и при этом через источник течет ток 5 А. Таким образом, внутреннее сопротивление источника равно 0,6 Ом.

ОТВЕТ: 0,6.

Задача 5 (4 балла) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения, закон Ома, ЭДС]

В схеме, показанной на рисунке, оба реостата одинаковы: их максимальное сопротивление $R_m = 36$ Ом, длина $L = 24$ см. Положение движков тоже одинаково: они поставлены в $x = 8$ см от крайних левых положений. Найти ток в ветви с источником, напряжение на которой $U = 20$ В. Ответ запишите в амперах, при необходимости округлив до целого значения.



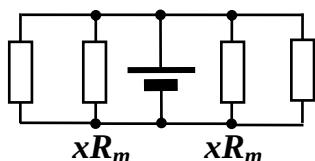
Подсказка 1: Здесь важно заметить, что в схеме обе части каждого реостата подключены к источнику параллельно друг другу.

Подсказка 2: Таким образом, к источнику подключены две пары параллельно соединенных резисторов: один – с сопротивлением $\frac{x}{L} R_m$, другой – с $\frac{L-x}{L} R_m$.

Подсказка 3: Суммарный ток через обе части одного реостата $I_1 = \frac{L^2}{x(L-x)} \frac{U}{R_m} = 2,5$ А.

Решение: Здесь важно заметить, что в схеме обе части каждого реостата подключены к источнику параллельно друг другу. Значит, каждый реостат эквивалентен одному резистору с

сопротивлением $R = \frac{xR_m \cdot (L-x)R_m}{L[xR_m + (L-x)]R_m} = \frac{x(L-x)}{L^2} R_m = 8$ Ом.



Суммарный ток через обе части одного реостата $I_1 = \frac{U}{R} = \frac{L^2}{x(L-x)} \frac{U}{R_m} = 2,5$ А. Такой же ток

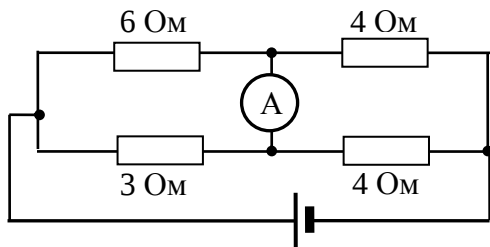
течет и через обе части второго реостата, поэтому полный ток в ветви с источником

$I = 2I_1 = \frac{2L^2}{x(L-x)} \frac{U}{R_m} = 5$ А. Следует обратить внимание, что ответ не зависит от внутреннего сопротивления источника.

ОТВЕТ: 5.

Задача 6 (4 балла) [сопротивление, параллельное и последовательное соединения, закон Ома, ЭДС]

В схеме, показанной на рисунке, ЭДС источника равна 15 В, а его внутреннее сопротивление равно 1 Ом? Каковы показания амперметра, внутреннее сопротивление которого много меньше 0,01 Ом? Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.

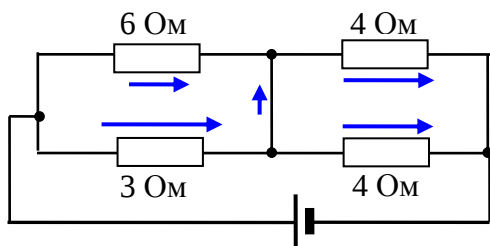


Подсказка 1: Сопротивление амперметра настолько мало, что при требуемой точности им можно пренебречь.

Подсказка 2: $\frac{1}{R} = \frac{1}{3\text{Ом}} + \frac{1}{6\text{Ом}} \Rightarrow R = 2\text{Ом}$ и $\frac{1}{R} = \frac{1}{4\text{Ом}} + \frac{1}{4\text{Ом}} \Rightarrow R = 2\text{Ом}$.

Подсказка 3: Сила тока в резисторе 6 Ом равна 1 А, а в резисторе 3 Ом – 2 А, а в обоих резисторах 4 Ом по 1,5 А.

Решение: Сопротивление амперметра настолько мало, что при требуемой точности им можно пренебречь: при расчете токов в других ветвях можно считать его равным 0, то есть рассматривать следующую схему:



Сопротивления обеих пар параллельно соединенных резисторов одинаковы:

$\frac{1}{R} = \frac{1}{3\text{Ом}} + \frac{1}{6\text{Ом}} \Rightarrow R = 2\text{Ом}$ и $\frac{1}{R} = \frac{1}{4\text{Ом}} + \frac{1}{4\text{Ом}} \Rightarrow R = 2\text{Ом}$. Вместе с внутренним

сопротивлением источника полное сопротивление цепи равно 5 Ом, и сила тока в ветви с источником $15\text{ В} : 5\text{ Ом} = 3\text{ А}$. Этот ток между параллельно соединенными резисторами делится обратно пропорционально их сопротивлениям: сила тока в резисторе 6 Ом равна 1 А, а в резисторе 3 Ом – 2 А, а в обоих резисторах 4 Ом по 1,5 А. Теперь используем непрерывность тока. Тогда понятно, что по «перемычке», в которой расположен амперметр, должен течь ток $I = 2\text{ А} - 1,5\text{ А} = 0,5\text{ А}$.

ОТВЕТ: 0,5.

Задача 7 (4 балла) [закон Ома, ЭДС, закон Джоуля-Ленца]

Номинальное напряжение аккумулятора равняется $U_0 = 12\text{ В}$. Из-за частичной разрядки это напряжение уменьшилось – при подключении к клеммам аккумулятора вольтметра с очень большим сопротивлением этот вольтметр показывает напряжение $U_1 = 10\text{ В}$. Аккумулятор поставили на зарядку от внешнего источника, который независимо от тока зарядки поддерживает на клеммах аккумулятора напряжение, равное номинальному. Мощность, затрачиваемая внешним источником, равна $P = 5,4\text{ Вт}$. Какое количество тепла выделится в схеме за первые 3 секунды зарядки (считать, что это время значительно меньше времени, необходимого для зарядки)?

Подсказка 1: Поскольку заданное время «значительно меньше времени, необходимого для зарядки», то изменением напряжения на аккумуляторе за это время можно пренебречь.

Подсказка 2: Тогда сила тока, протекающего через аккумулятор в это время, $I = \frac{U_0 - U}{r}$, где r – сопротивление контура зарядки аккумулятора.

Подсказка 3: Мощность, расходуемая зарядным устройством, $P = U_0 I$.

Решение: Поскольку заданное время «значительно меньше времени, необходимого для зарядки», то изменением напряжения на аккумуляторе за это время можно пренебречь. Пусть сопротивление контура зарядки аккумулятора равно r . Тогда сила тока, протекающего через аккумулятор, $I = \frac{U_0 - U}{r}$. Мощность, расходуемая зарядным устройством, $P = U_0 I$, а

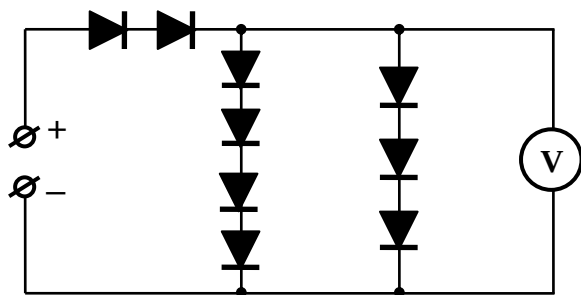
мощность тепловыделения $P' = I^2 r = \frac{U_0 - U}{U_0} P$. Поэтому искомое количество теплоты

$$Q = P' \tau = \left(1 - \frac{U}{U_0}\right) P \tau = 13,5 \text{ Дж.}$$

ОТВЕТ: 13,5.

Задача 8 (4 балла) [параллельное и последовательное соединения, нелинейный элемент]

В цепи, схема которой показана на рисунке, все 8 диодов одинаковы и являются нелинейными элементами – сила тока для них растет пропорционально квадрату приложенного напряжения. Идеальный вольтметр в этой схеме показывает напряжение 24 В. Какое напряжение покажет вольтметр, если, не меняя схемы, подключить его непосредственно к клеммам источника? Ответ дайте в вольтах, округлив при необходимости до целого значения.



Подсказка 1: Напряжение на каждом из диодов в ветви с тремя диодами равно $24 \text{ В} : 3 = 8 \text{ В}$, а на каждом диоде в ветви с четырьмя диодами $24 \text{ В} : 4 = 6 \text{ В}$.

Подсказка 2: По условию ток через диод пропорционален квадрату приложенного напряжения, то ток в ветви с четырьмя диодами равен $(6 \text{ В} / 8 \text{ В})^2 \cdot I = 9 I / 16$, где I – ток в ветви с тремя диодами.

Подсказка 3: Ток через каждый из диодов в ветви источника равен $I + (9 I / 16) = 25 I / 16$, то есть в $25/16$ раза отличается от тока через каждый из диодов в ветви с тремя диодами.

Решение: Пусть ток в ветви с тремя диодами равен I . Напряжение на каждом из этих диодов равно $24 \text{ В} : 3 = 8 \text{ В}$, а на каждом диоде в ветви с четырьмя диодами $24 \text{ В} : 4 = 6 \text{ В}$. Так как по условию ток через диод пропорционален квадрату приложенного напряжения, то ток в ветви с четырьмя диодами равен $(6 \text{ В} / 8 \text{ В})^2 \cdot I = 9 I / 16$. С учетом непрерывности тока находим, что ток через каждый из диодов в ветви источника равен $I + (9 I / 16) = 25 I / 16$, то есть в $25/16$ раза отличается от тока через каждый из диодов в ветви с тремя диодами. Напряжение на диоде, очевидно, пропорционально корню квадратному из силы тока, поэтому напряжение на каждом из этих диодов равно $(5/4) \cdot 8 \text{ В} = 10 \text{ В}$. Значит, напряжение на клеммах источника равно $24 \text{ В} + 10 \text{ В} + 10 \text{ В} = 44 \text{ В}$. Именно это значение покажет идеальный вольтметр, подключенный непосредственно к клеммам источника.

ОТВЕТ: 44.