

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ВТОРОГО ТУРА ОЛИМПИАДЫ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

### 10 КЛАСС

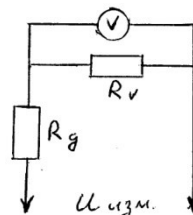
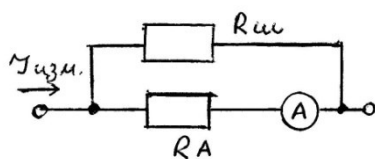
1. Применение различных шунтов и добавочных сопротивлений позволяют использовать миллиамперметр как для измерения токов в различных цепях электронных схем, так и напряжений. Если к миллиамперметру, рассчитанному на измерение максимальной силы тока 2 мА, подключить шунт сопротивлением 5 Ом, то цена деления шкалы прибора увеличится в 10 раз. Какое добавочное сопротивление необходимо подключить к миллиамперметру, чтобы его можно было бы использовать как вольтметр для измерения напряжений до 20 В?

РЕШЕНИЕ:

Дано:  $I_A = 2 \text{ мА}$ ,  $R_{ш} = 5 \text{ Ом}$ ,  $I_{изм.} = 10I_A$ ,  $U_{изм.} = 20 \text{ В}$ .

$R_{доб.} = ?$

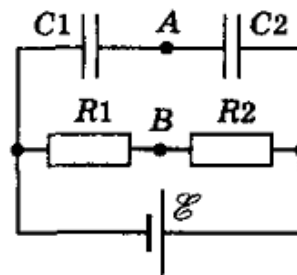
Как видно из схемы подключения шунта, при измеряемом токе  $I_{изм.} = 20 \text{ мА}$ , через миллиамперметр течет ток  $I_A = 2 \text{ мА}$ , а через шунт – ток шунта  $I_{ш.} = I_{изм.} - I_A = 18 \text{ мА}$ , т.е.  $9I_A$ . Падения напряжений на сопротивлении шунта  $R_{ш.}$  и на сопротивлении амперметра  $R_A$  равны:  $I_A \cdot R_A = I_{ш.} \cdot R_{ш.} = 9I_A \cdot R_{ш.}$ . Значит  $R_A = 9R_{ш.} = 45 \text{ Ом}$ .



При измерении напряжений сопротивление вольтметра  $R_V$  равно сопротивлению миллиамперметра  $R_A$ , ток протекающий через вольтметр соответствует току миллиамперметра  $I_A$ . Следовательно, падение напряжения на внутреннем сопротивлении вольтметра  $R_V$  равно  $U_V = I_A \cdot R_A = 0,09 \text{ В}$ . Значит, на добавочном сопротивлении падение напряжения равно  $U_{доб.} = U_{изм.} - U_V = 20 - 0,09 = 19,91 \text{ В}$ . Значит,  $R_{доб.} = U_{доб.}/I_A = 19,91/2 \cdot 10^{-3} = 9955 \text{ Ом}$ .

Ответ: необходимо подключить  $R_{доб.} = 9955 \text{ Ом}$ .

2. На рисунке представлен участок схемы электронного прибора. Определите разность потенциалов между точками В и А. Параметры элементов схемы: резистор  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ , резистор  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ , конденсатор  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ , конденсатор  $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ , ЭДС источника постоянного тока  $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



РЕШЕНИЕ:

Дано:  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $C_1 = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ ,  $C_2 = 4 \text{ мкФ} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ ,  
ЭДС источника  $E = 10 \text{ В}$ ,  $r = 0$ .

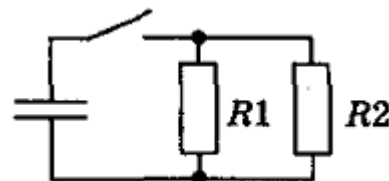
---

$\Phi_B - \Phi_A - ?$

Так как ток течет от положительного полюса источника к отрицательному, то примем за нуль потенциал отрицательного полюса. Из схемы видно, что  $\Phi_A = U_{C1}$ ,  $\Phi_B = U_{R1}$ . Вычислим эти напряжения. Так как конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно, то их заряды равны, значит,  $C_1 U_{C1} = C_2 U_{C2}$ . Откуда следует, что  $\frac{U_{C1}}{U_{C2}} = \frac{C_2}{C_1} = 4$ . Значит,  $U_{C1} = 4 U_{C2}$ . Из схемы видно, что  $U_{C1} + U_{C2} = E = 5 U_{C2} = 10$  В, значит  $U_{C2} = 2$  В,  $U_{C1} = \Phi_A = 8$  В. Вычислим  $\Phi_B = U_{R1} = \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_2} \approx 0,91$  В. Таким образом,  $\Phi_B - \Phi_A = 0,91$  В  $- 8$  В =  $-7,09$  В.

Ответ: разность потенциалов  $\Phi_B - \Phi_A = -7,09$  В.

3. На рисунке показан конденсатор емкостью 200 мкФ, заряженный от источника постоянного тока до напряжения 100 В. Конденсатор подключают с помощью ключа к двум параллельно соединенным резисторам сопротивлениями  $R_1 = 10$  Ом и  $R_2 = 20$  Ом. Какое количество теплоты выделится на каждом резисторе при полной разрядке конденсатора?



РЕШЕНИЕ:

Дано:  $C = 200$  мкФ =  $2 \cdot 10^{-4}$  Ф,  $U_C = 100$  В,  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом.

---

$Q_1 - ?$ ,  $Q_2 - ?$ .

Согласно закону сохранения энергии, энергия заряженного конденсатора перейдет в тепловую энергию, которая выделится на резисторах. Поэтому можно записать  $\frac{CU_C^2}{2} = Q_1 + Q_2$ , причем,

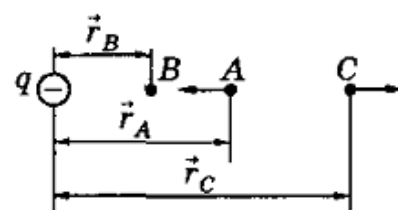
$Q_1 = I_1^2 \cdot R_1 \cdot t$ ,  $Q_2 = I_2^2 \cdot R_2 \cdot t$ . Вычислим  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I_1^2 \cdot R_1}{I_2^2 \cdot R_2}$ . Так как резисторы включены параллельно, то

$I_1 R_1 = I_2 R_2$ , откуда  $I_1 = \frac{I_2 R_2}{R_1}$ . Поэтому  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I_2^2 \cdot R_2^2 \cdot R_1}{R_1^2 \cdot I_2^2 \cdot R_2} = \frac{R_2}{R_1} = 2$ , откуда следует, что  $Q_1 = 2 Q_2$ ,

поэтому  $3Q_2 = \frac{CU_C^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{2} = 1$  Дж. Значит,  $Q_2 = 1/3$  Дж,  $Q_1 = 2/3$  Дж.

Ответ: на резисторе  $R_1$  выделится теплоты  $Q_1 = 2/3$  Дж, на резисторе  $R_2$  -  $Q_2 = 1/3$  Дж/

4. В некоторой точке вакуумного электронного прибора находится неподвижный точечный заряд  $q = -0,1$  нКл. Электрон, приближаясь к заряду, в точке  $A$ , удаленной от заряда на расстояние  $r_A = 0,2$  м, имеет скорость  $v = 10^6$  м/с. На какое минимальное расстояние  $r_B$  электрон сможет приблизиться к заряду? Какой будет скорость электрона в точке  $C$ , удаленной от заряда на расстояние  $r_C = 0,5$  м?



РЕШЕНИЕ:

Дано:  $q = -0,1$  нКл =  $10^{-10}$  Кл,  $r_A = 0,2$  м,  $v = 10^6$  м/с,  $r_C = 0,5$  м.

$r_B$  - ?  $v_C$  - ?

Так как электрон движется в направлении силовых линий электрического поля к отрицательному заряду  $q$ , то его кинетическая энергия  $W_{кин.}$  убывает и в точке  $B$  будет равна нулю, значит потенциальная энергия электрона в точке  $B$   $W_{B\text{ пот.}}$  увеличивается по сравнению с потенциальной энергией в точке  $A$   $W_{A\text{ пот.}}$  на величину кинетической энергии в точке  $A$   $W_{A\text{ кин.}}$ .

Поэтому можно записать:  $W_{B\text{ пот.}} = W_{A\text{ пот.}} + W_{A\text{ кин.}}$ .  $W_{B\text{ пот.}} = \Phi_B \cdot q_e = \frac{kqq_e}{r_B} = \frac{m_e v_A^2}{2} + \frac{kqq_e}{r_A}$ , откуда

следует, что

$$r_B = \frac{kqq_e}{\frac{m_e v_A^2}{2} + \frac{kqq_e}{r_A}} = \frac{2r_A kqq_e}{r_A m_e v_A^2 + 2kqq_e} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-10} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{0,2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{12} + 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-10} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,123 \text{ м.}$$

После остановки в точке  $B$ , электрон движется против силовых линий к точке  $C$ , поэтому его кинетическая энергия возрастает и в точке  $C$  будет равна уменьшению потенциальной энергии

по сравнению с точкой  $B$ :  $W_{C\text{ кин.}} = q_e (\Phi_B - \Phi_C) = \frac{m_e v_C^2}{2}$ , откуда следует, что

$$v_C = \sqrt{\frac{2W_{C\text{ кин.}}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2q_e kq \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C} \right)}{m_e}} = 1,41 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Ответ: электрон сможет приблизиться к заряду на минимальное расстояние  $r_B \approx 0,123$  м,

скорость электрона в точке  $C$  равна  $v_C = 1,41 \cdot 10^6$  м/с.

5. Во внешнем однородном поле напряженностью  $E$  находится незаряженный плоский воздушный конденсатор. Площадь каждой пластины конденсатора равна  $S$ . Силовые линии электрического поля перпендикулярны пластинам. Какой заряд  $q$  окажется на каждой пластине конденсатора, если их накоротко замкнуть проводником?

РЕШЕНИЕ:

На пластинах незаряженного конденсатора будут индуцироваться заряды, поверхностная плотность которых равна  $\sigma = q/S$ . Поверхностная плотность заряда пластины зависит от

напряженности электрического поля  $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{q}{2S\varepsilon_0}$ . Замыкание пластин конденсатора коротким проводником приведет к увеличению площади заряда в 2 раза, т.к. любой проводник делает соединенные поверхности эквипотенциальными. Поэтому можно записать:  $E = \frac{q}{2\varepsilon_0 S} + \frac{q}{2\varepsilon_0 S} = \frac{q}{\varepsilon_0 S}$ . Откуда следует, что  $q = \varepsilon_0 SE$ .

Ответ: на каждой пластине конденсатора окажется заряд  $q = \varepsilon_0 SE$ .

6. В экспериментальной установке имеется стеклянный сосуд из которого выкачан воздух. В сосуде вдоль своей оси вращения перемещается металлическая пластина-мембрана. Предложите способ бесконтактного измерения расстояния от стенки сосуда до мембраны. Нарушать вакуум и вносить механические элементы внутрь сосуда нельзя.

РЕШЕНИЕ:

Перед нами типичная инженерная задача, для решения которой необходимо вспомнить, какие параметры меняются при движении мембраны? Один из приемлемых вариантов решения – измерять расстояние по изменению электрической емкости конденсатора, образованного подвижной мембраной и неподвижной стенкой сосуда (туда нужно поместить вторую обкладку). Также вполне применим оптический способ измерения расстояния. Оценивается оригинальность подхода и наличие вариантов решения.

7. При разработке интерактивной системы возникла необходимость изготовить датчик, способный на расстоянии (0,5...1м) определить присутствие человека. Предложите устройство оригинального датчика, при условии, что ультразвуковые и инфракрасные излучатели использовать нельзя.

РЕШЕНИЕ:

Один из возможных способов – использовать датчик изменения электрической емкости. Подобный эффект заложен в принцип работы интересного музыкального инструмента – терменвокса. Оценивается оригинальность подхода и наличие вариантов решения.