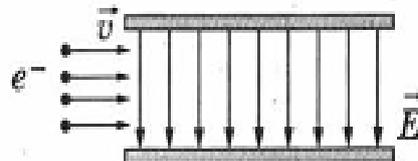


РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВТОРОГО ТУРА ОЛИМПИАДЫ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ
2017 /2018 учебный год.

9 КЛАСС

1. Принцип действия многих электронных приборов основан на движении электронов в электрическом поле. На рисунке показан поток электронов, ускоренных разностью потенциалов 1200 В, и влетающих в пространство между двумя параллельными металлическими пластинами длиной 5 см каждая. Расстояние между пластинами 5 мм. Определите разность потенциалов между пластинами, если из пространства между ними вылетает половина электронов. Пластины и поток электронов находятся в вакууме.



РЕШЕНИЕ:

Дано:

$$U = 1200 \text{ В}$$

$$l = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$

$$d = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$$

$$N_k = N_n/2, \text{ где } N_k, N_n -$$

конечное и начальное количество

электронов, влетающих в пространство

между пластинами.

$\Delta\varphi$ - ?

На электрон, влетающий в пространство между пластинами, действует силой F электрическое поле напряженностью E . Известно, что эта сила F много больше силы тяжести электрона. Сила F сообщает каждому электрону ускорение a . Согласно второму закону Ньютона можно записать:



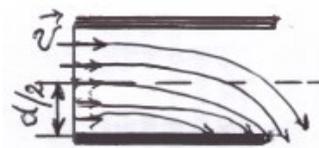
$$F = ma = qE = q \frac{\Delta\varphi}{d} \quad (1)$$

Из уравнения (1) можно вычислить искомую величину $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = \frac{dma}{q} \quad (2)$$

где: d – расстояние между пластинами, m – масса электрона, a – ускорение электрона в электрическом поле, q – заряд электрона.

Движение каждого электрона в этом случае – это движение тела брошенного горизонтально под действием силы F . Из кинематики известно, что траектория движения – ветвь параболы с вершиной в точке вхождения электрона в поле. Т.к. скорость всех электронов по горизонтали остается одинаковой и равной v (сила $F \perp v$), то дальность полета электронов зависит от времени полета t , которое определяется движением электронов по вертикали. Т.к. из пространства между пластинами вылетает половина электронов, то это значит, что, полагая поток электронов равномерным, вылетают только те электроны, которые влетают на расстоянии не менее $d/2$ от нижней пластины. Поэтому можно записать:



$$\frac{d}{2} = \frac{at^2}{2} \text{ откуда } a = \frac{d}{t^2} \quad (3)$$

Время t можно вычислить из условия, что по горизонтали электроны со скоростью v проходят путь, равный длине пластины l :

$$t = \frac{l}{v} \quad (4)$$

Скорость v вычислим из условия, что электроны прошли ускоряющую разность потенциалов, т.е. напряжение U :

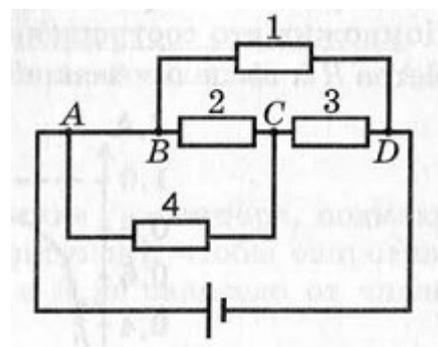
$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (5)$$

С учетом (2) – (5) для $\Delta\varphi$ можно записать:

$$\Delta\varphi = \frac{dmd2qU}{ql^2m} = \frac{2d^2U}{l^2} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 1200}{25 \cdot 10^{-4}} = 24 \text{ В.} \quad (6)$$

ОТВЕТ: разность потенциалов между пластинами равна 24 В.

2. Резисторы являются одним из самых массовых элементов, применяемых в различных электронных схемах. Применение резисторов позволяет получить необходимые токи и напряжения в цепях электронных схем. На рисунке показан участок схемы, состоящий из четырех резисторов $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ Ом}$. Напряжение между узлами A и D равно 25 В. Найдите силу тока в проводнике AB . Сопротивлением проводов можно пренебречь.



РЕШЕНИЕ:

Дано:

$$R_1 = 100 \text{ Ом,}$$

$$R_2 = R_4 = 40 \text{ Ом,}$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом,}$$

$$U_{AD} = 25 \text{ В.}$$

I_{AB} - ?

Так как сопротивление участка AB равно нулю, то применить закон Ома для участка цепи нельзя. Тогда рассмотрим токи, втекающие в узел A и вытекающие из узла B . Из схемы видно, что

$$I_{AB} = I_A - I_{R4} \quad (1)$$

Для вычисления тока I_{AB} рассчитаем общее сопротивление цепи между узлами A и D . Из схемы видно, что резисторы 2 и 4 соединены параллельно и их общее сопротивление R_{24} равно 20 Ом. Тогда сопротивление цепи R_{AD} равно:

$$R_{AD} = \frac{R_1(R_{24} + R_3)}{R_1 + R_{24} + R_3} = \frac{100(20 + 5)}{100 + 20 + 5} = 20 \text{ Ом.} \quad (2)$$

Тогда ток I_A равен:

$$I_A = \frac{U_{AD}}{R_{AD}} = \frac{25}{20} = 1,25 \text{ A.} \quad (3)$$

Для нахождения тока I_{R4} вычислим ток I_{CD} :

$$I_{CD} = \frac{U_{AD}}{R_{24} + R_3} = \frac{25}{20+5} = 1 \text{ A.} \quad (4)$$

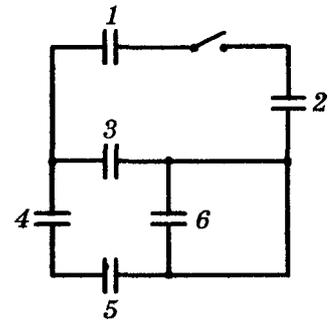
Так как $R_2 = R_4$, то ток I_{R4} равен $\frac{I_{CD}}{2} = 0,5 \text{ A}$.

Таким образом, ток $I_{AB} = 1,25 - 0,5 = 0,75 \text{ A}$.

ОТВЕТ: ток в проводнике АВ равен 0,75 А.

10 КЛАСС

- Конденсаторы используются во многих электронных схемах, выполняя важную функцию накопителя электрических зарядов. На рисунке представлена схема из шести одинаковых конденсаторов, емкостью C каждый. Конденсатор 1 заряжен до напряжения U_0 , остальные конденсаторы не заряжены. С начала ключ разомкнут. Определите напряжение на каждом конденсаторе после замыкания ключа.



РЕШЕНИЕ:

Дано:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = C, U_{C1} = U_0.$$

$$U_1 - ?, U_2 - ?, U_3 - ?, U_4 - ?, U_5 - ?, U_6 - ?$$

Как видно из рисунка конденсатор C_6 закорочен, поэтому напряжение U_6 будет равно нулю после замыкания ключа и этот конденсатор можно исключить из схемы при дальнейшем рассмотрении. Рассчитаем емкость конденсаторной батареи $C_1 - C_2 - C_3 - C_4 - C_5$.

Конденсаторы $C_4 - C_5$ соединены последовательно, поэтому их общая емкость C_{4-5} равна:

$$C_{4-5} = \frac{C_4 \cdot C_5}{C_4 + C_5} = \frac{C}{2} \quad (1)$$

Конденсатор C_3 соединен с общей емкостью C_{4-5} параллельно, поэтому эта общая емкость C_{3-4-5} равна:

$$C_{3-4-5} = C_3 + C_{4-5} = C + \frac{C}{2} = \frac{3C}{2} \quad (2)$$

Конденсатор C_2 соединен последовательно с емкостью C_{3-4-5} , поэтому их общая емкость равна:

$$C_{2-3-4-5} = \frac{C_{3-4-5} \cdot C_2}{C_{3-4-5} + C_2} = \frac{\frac{3C}{2} \cdot C}{\frac{3C}{2} + C} = \frac{3}{5} C \quad (3)$$

После замыкания ключа к этой батарее конденсаторов $C_{2-3-4-5}$ подключится параллельно конденсатор C_1 . Поэтому заряд конденсатора C_1 , обозначим его $q_0 = CU_0$, распределится между этим конденсатором и батареей конденсаторов $C_{2-3-4-5}$, причем напряжения U_1 на конденсаторе C_1 и батарее конденсаторов будут равны. Поэтому можно записать:

$$CU_0 = (C + C_{2-3-4-5})U_1 \quad (4)$$

Откуда следует, что

$$U_1 = \frac{CU_0}{C + C_{2-3-4-5}} = \frac{5U_0}{8} \quad (5)$$

Вычислим заряд q_2 конденсатора C_2 и батареи конденсаторов $C_{2-3-4-5}$. т.к. общий заряд последовательно соединенных конденсаторов равен заряду конденсатора C_2 и батареи конденсаторов C_{3-4-5} :

$$q_2 = C_{2-3-4-5} \cdot U_1 = \frac{3CU_0}{8} \quad (6)$$

Из (6) находим напряжение U_2 :

$$U_2 = \frac{q_2}{C} = \frac{3U_0}{8} \quad (7)$$

Вычислим напряжение U_3 :

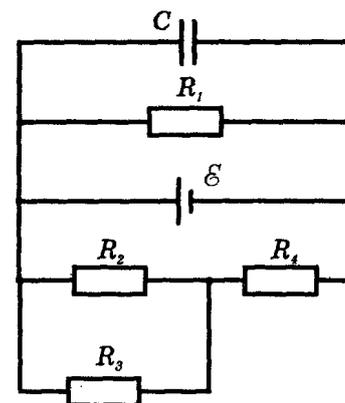
$$U_3 = U_1 - U_2 = \frac{5U_0}{8} - \frac{3U_0}{8} = \frac{U_0}{4} \quad (8)$$

Так как конденсаторы C_4 и C_5 соединены последовательно, то $U_4 + U_5 = U_3$, поэтому

$$U_4 = U_5 = U_3 / 2 = \frac{U_0}{8}.$$

ОТВЕТ: $U_1 = \frac{5U_0}{8}$, $U_2 = \frac{3U_0}{8}$, $U_3 = \frac{U_0}{4}$, $U_4 = U_5 = \frac{U_0}{8}$, $U_6 = 0$.

2. На приведенной схеме конденсатор C емкостью 5 мкФ, имеет заряд 1,08 мКл. Резистор $R_1 = 90$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $R_4 = 40$ Ом, внутреннее сопротивление источника $r = 1$ Ом. Определите ЭДС источника.



РЕШЕНИЕ:

Дано:

$C = 5$ мкФ, $q = 1,08$ мКл, $R_1 = 90$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $R_4 = 40$ Ом, $r = 1$ Ом.

$\mathcal{E} - ?$

ЭДС источника \mathcal{E} можно определить по закону Ома для полной цепи:

$$\mathcal{E} = I(R_{\text{общ.}} + r) \quad (1)$$

Вычислим $R_{\text{общ.}}$. Как видно из схемы резисторы R_2 и R_3 , соединенные параллельно, включены последовательно с резистором R_4 :

$$R_{234} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4 = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} = 60 \text{ Ом}, \quad (2)$$

$$R_{\text{общ.}} = \frac{R_{234} R_1}{R_{234} + R_1} = \frac{60 \cdot 90}{60 + 90} = 36 \text{ Ом}.$$

Чтобы найти ток в цепи I , надо вычислить напряжение U на источнике, которое равно напряжению на конденсаторе U_C , так как он подключен параллельно источнику:

$$U = U_C = \frac{q}{C} = \frac{1,08 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} = 216 \text{ В.} \quad (3)$$

Тогда ток в цепи I равен:

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ.}}} = \frac{216}{36} = 6 \text{ А.}$$

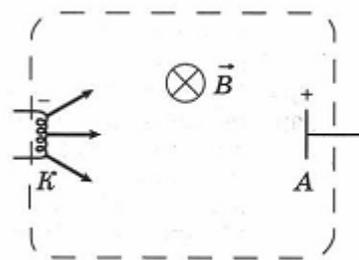
Таким образом, ЭДС источника равна:

$$\mathcal{E} = I(R_{\text{общ.}} + r) = 6(36 + 1) = 222 \text{ В.}$$

ОТВЕТ: ЭДС источника равна 222 В.

11 КЛАСС

1. В электронике используются явления, основанные на движении электронов в магнитном поле. На приведенном рисунке электроны, испускаемые катодом K под разными углами, движутся к аноду A в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} . При каком минимальном значении магнитной индукции электроны не достигнут анода, если максимальная скорость электронов равна v_0 а расстояние между катодом и анодом равно L ?



РЕШЕНИЕ:

Дано:
 B, v_0, L

$B_{\min} - ?$

Как известно, на заряженные частицы, движущиеся в магнитном поле, действует сила Лоренца, перпендикулярная вектору скорости, поэтому не меняющая модуль вектора скорости частицы и направляющая частицу по дуге окружности радиусом R , который можно вычислить из уравнения по второму закону Ньютона, с учетом выражения силы Лоренца и центростремительного ускорения:

$$qvB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}, \text{ откуда следует, что } B = \frac{mv}{Rq \sin \alpha} \quad (1)$$

где: q - заряд частицы, v - скорость, m - масса частицы, B - индукция магнитного поля, α - угол между векторами \vec{B} и \vec{v} .

Из формулы (1) следует, что минимальному значению B_{\min} при максимальной скорости электронов v_0 соответствуют максимальные значения R и $\sin \alpha$. Чтобы электроны не достигли

анода, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности диаметром L , надо считать $R_{max} = L/2$, а $\sin\alpha = 1$. Таким образом,

$$B_{min} = \frac{2mv_0}{qL}. \quad (2)$$

ОТВЕТ: минимальное значение индукции магнитного поля, при котором электроны не достигнут анода, равно $B_{min} = \frac{2mv_0}{qL}$.

2. Три конденсатора $C_1 = 400$ мкФ, $C_2 = 800$ мкФ и $C_3 = 800$ мкФ соединены последовательно. Эта конденсаторная батарея заряжена до напряжения 10 В. В момент времени $t_0 = 0$ к батарее подключают катушку индуктивностью 200 мкГн так, что образуется колебательный контур. В момент времени $t_1 = 2\pi \cdot 10^{-4}$ с конденсатор C_1 пробивается и сопротивление между его обкладками становится равным нулю. Чему равна амплитуда q_0 колебаний заряда на непробитых конденсаторах?

РЕШЕНИЕ:

Дано:

$$C_1 = 400 \text{ мкФ}, C_2 = 800 \text{ мкФ}, C_3 = 800 \text{ мкФ}, U = 10 \text{ В}, L = 200 \text{ мкГн}, \\ t_0 = 0, t_1 = 2\pi \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

q_0 - ?

Если к заряженной конденсаторной батарее емкостью $C_{общ.}$ подключить индуктивность L , то в получившемся колебательном контуре возникнут электромагнитные колебания частотой ω , энергия которых равна $W_{нач.}$:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_{общ.}}}, W_{нач.} = \frac{C_{общ.}U^2}{2} \quad (1)$$

Вычислим эти величины. С начала вычислим $C_{общ.}$ трех последовательно соединенных конденсаторов:

$$\frac{1}{C_{общ.}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = 10^6 \left(\frac{1}{400} + \frac{1}{800} + \frac{1}{800} \right), \text{ откуда } C_{общ.} = 200 \text{ мкФ}.$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Гц}, W_{нач.} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^2}{2} = 10^{-2} \text{ Дж}.$$

При последовательном соединении конденсаторов, заряд каждого конденсатора равен заряду батареи. Вычислим этот заряд q :

$$q = C_{общ.}U = C_1U_1 = C_2U_2 = C_3U_3 = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 10 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}.$$

Напряжение $u(t)$ на конденсаторах меняется по закону:

$$u(t) = U \cos \omega t \quad (2)$$

Значит, для напряжения $u_1(t)$ на конденсаторе C_1 можно записать:

$$u_1(t) = U_1 \cos \omega t, \text{ где } U_1 = \frac{C_{общ.}U}{C_1} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 10}{4 \cdot 10^{-4}} = 5 \text{ В}.$$

$$u_1(t) = 5 \cos 5 \cdot 10^3 t$$

Вычислим энергию W_1 конденсатора C_1 в момент времени t_1 :

$$W_1 = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2} \cos^2 \omega t_1 = \frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 5}{2} \cdot \cos^2 5 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Так как в этот момент конденсатор C_1 пробивается, то его энергия W_1 переходит во внутреннюю, поэтому энергия контура уменьшается на эту величину и будет равна $W_{кон.}$:

$$W_{\text{кон.}} = W_{\text{нач.}} - W_I = 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Это значит, что амплитудное значение колебаний заряда в контуре q_0 можно вычислить по формуле:

$$q_0 = \sqrt{2C_{\text{кон}} W_{\text{кон}}}, \text{ где } C_{\text{кон.}} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = 400 \text{ мкФ}, \quad (3)$$

$$\text{поэтому } q_0 = \sqrt{2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 2 \text{ мКл.}$$

ОТВЕТ: амплитуда колебаний заряда на непробитых конденсаторах равна 2 мКл.