

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ВТОРОГО ТУРА ОЛИМПИАДЫ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ**

**11 КЛАСС**

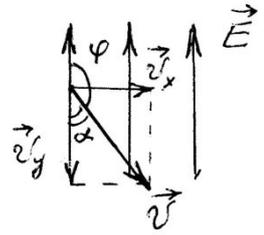
1. Движение заряженных частиц в электрических полях находит широкое применение в различных устройствах электроники. Пусть некая заряженная частица массой  $m = 10^{-12}$  кг и зарядом  $q = -2 \cdot 10^{-11}$  Кл влетает в однородное электрическое поле напряженностью  $E = 40$  В/м под углом  $\varphi = 120^\circ$  к его силовым линиям со скоростью  $v_0 = 220$  м/с. Через какой промежуток времени частица сместится вдоль силовой линии на расстояние  $\Delta x = 3$  м? Чему равна скорость частицы  $v$  в этот момент времени?

РЕШЕНИЕ:

Дано:  $m = 10^{-12}$  кг,  $q = -2 \cdot 10^{-11}$  Кл,  $E = 40$  В/м,  $\varphi = 120^\circ$ ,  $v_0 = 220$  м/с,  $\Delta x = 3$  м.

$t - ?$ ,  $v - ?$

Как видно из рисунка, отрицательно заряженная частица движется против силовых линий поля, значит, она ускоряется полем. Разложим вектор скорости  $v_0$  на составляющие  $v_y$ , параллельную силовым линиям поля и  $v_x$ , перпендикулярную силовым линиям поля. Изменение скорости частицы обусловлено увеличением составляющей  $v_y$ , т.к. сила  $F$ , действующая на частицу, направлена вдоль силовых линий поля. Вычисли  $v_y = v_0 \cos \alpha = 220 \cdot 0,5 = 110$  м/с. Вычислим силу  $F = qE = -2 \cdot 10^{-11} \cdot 40 = -8 \cdot 10^{-10}$  Н, т.е. в направлении движения частицы  $F = 8 \cdot 10^{-10}$  Н. Вычислим ускорение движения частицы  $a = F/m = 800$  м/с<sup>2</sup>. Составим



уравнение для пройденного пути  $\Delta x = v_y t + \frac{at^2}{2}$ , или  $400t^2 + 110t - 3 = 0$ , откуда

$$t_{1,2} = \frac{-110 \pm \sqrt{12100 + 4800}}{800} = \frac{-110 \pm 130}{800}, \text{ т.е. время } t = 0,025 \text{ с} = 25 \text{ мс.}$$

Вычислим проекцию вектора скорости к этому времени:  $v_{yt} = v_y + at = 110 + 800 \cdot 0,025 = 130$  м/с.

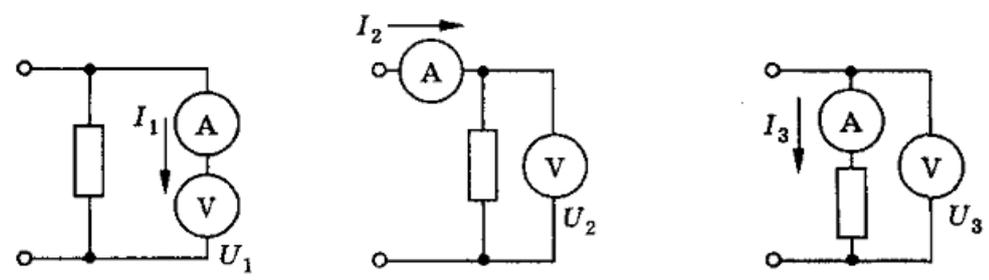
Проекция вектора скорости, в направлении, перпендикулярном силовым линиям,  $v_x =$

$v_0 \sin \alpha = 110 \sqrt{3}$  м/с, не меняется. Вычислим скорость частицы  $v =$

$$\sqrt{v_x^2 + v_{yt}^2} = \sqrt{16900 + 36300} \approx 230,65 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $t = 25$  мс,  $v = 230,65$  м/с.

2. На рисунке показаны три различные схемы подключения одних и тех же приборов амперметра, вольтметра и резистора. Показания приборов соответственно равны  $U_1, I_1; U_2, I_2$  и  $U_3, I_3$ . Вычислите по результатам измерений сопротивление вольтметра  $R_V$ , сопротивление амперметра  $R_A$  и сопротивление резистора  $R$ .



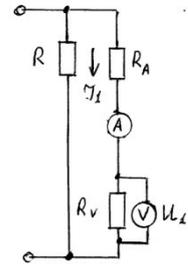
РЕШЕНИЕ:

Дано:  $U_1, I_1; U_2, I_2; U_3, I_3$ .

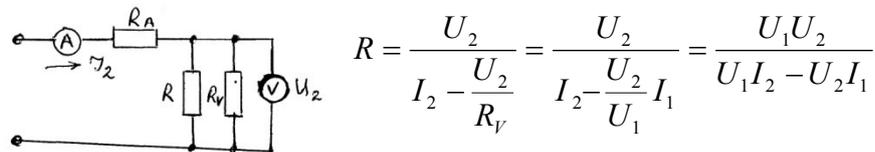
$R_V - ? R_A - ? R - ?$

Преобразуем первую схему – вынесем внутренние сопротивления приборов  $R_A$  и  $R_V$ , полагая в дальнейшем, что приборы – идеальные. Из данной схемы видно, что внутреннее сопротивление вольтметра

$$R_V = \frac{U_1}{I_1}.$$



Аналогично преобразуем вторую схему, из которой видно что:

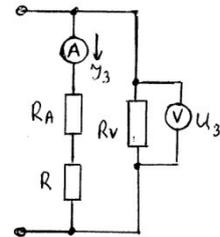


$$R = \frac{U_2}{I_2 - \frac{U_2}{R_V}} = \frac{U_2}{I_2 - \frac{U_2}{U_1} I_1} = \frac{U_1 U_2}{U_1 I_2 - U_2 I_1}$$

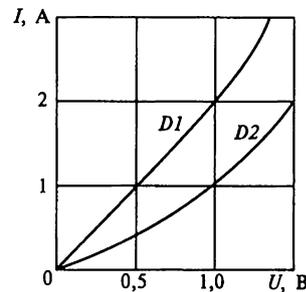
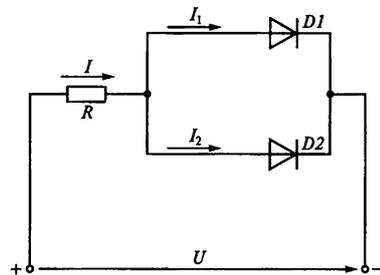
Преобразуем аналогично третью схему, из которой вычислим  $R_A$ :

$$R_A = \frac{U_3 - R I_3}{I_3} = \frac{U_3}{I_3} - \frac{U_1 U_2}{U_1 I_2 - U_2 I_1}.$$

Ответ:  $R_V = \frac{U_1}{I_1}, R_A = \frac{U_3}{I_3} - \frac{U_1 U_2}{U_1 I_2 - U_2 I_1}, R = \frac{U_1 U_2}{U_1 I_2 - U_2 I_1}$



3. Участок электронной схемы содержит диоды  $D1$  и  $D2$ , включенные как показано на рисунке. Диоды имеют ВАХ (вольт-амперные характеристики), приведенные на графике. Какое сопротивление должен иметь добавочный резистор и последовательно с каким диодом его надо включить, чтобы при общем токе  $I = 4$  А токи диодов  $I_1$  и  $I_2$  были равны по 2 А?



РЕШЕНИЕ:

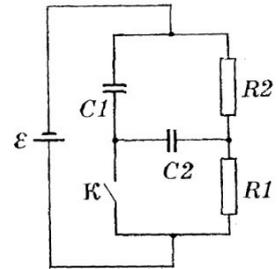
Из ВАХ видно, что необходимый ток 2 А протекает через диоды при разных напряжениях на них: через диод  $D1$  – при напряжении  $U_1 = 1,0$  В, через диод  $D2$  – при напряжении  $U_2 =$

1,5 В. Так как диоды включены параллельно, то общее напряжение  $U$  для них одинаковое. Поэтому, чтобы через диод D2 протекал ток  $I_2 = 2$  А, общее напряжение  $U = U_2 = 1,5$  В. Чтобы через диод D1 протекал ток  $I_1 = 2$  А, надо получить напряжение на нем  $U_1 = 1,0$  В, следовательно, добавочный резистор  $R_{доб.}$  надо включить последовательно с диодом D1. Падение напряжения на этом резисторе равно  $U_{R_{доб.}} = U - U_1 = 1,5$  В – 1,0 В = 0,5 В.

Значит,  $R_{доб.} = U_{R_{доб.}}/I_1 = 0,25$  Ом.

Ответ: добавочный резистор 0,25 Ом надо включить последовательно с диодом D1.

4. Определите, какой заряд протечет через ключ К при его замыкании в схеме, приведенной на рисунке. Элементы схемы R1, R2, C1 и C2 считать известными, внутреннее сопротивление источника тока достаточно мало. ЭДС источника равно  $E$ .



РЕШЕНИЕ:

Как видно из схемы, до замыкания ключа,  $U_{C1} + U_{C2} = U_{R2}$ ,

$$U_{R2} = IR_2 = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2}. \text{ Конденсаторы } C_1 \text{ и } C_2$$

соединены последовательно, поэтому их заряды равны по модулю, т.к. через резистор  $R_2$  соединяются разнополярно заряженные пластины конденсаторов :  $|q_1| = |q_2| = q$ .

Вычисли заряд  $q$ . Запишем:  $\frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} = \frac{q(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}$ , откуда

$$q = \frac{ER_2 C_1 C_2}{(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)}.$$

После замыкания ключа  $K$  конденсатор  $C_1$  подключается параллельно источнику тока, поэтому его заряд будет равен  $q'_1 = EC_1$ , а конденсатор  $C_2$  подключается параллельно

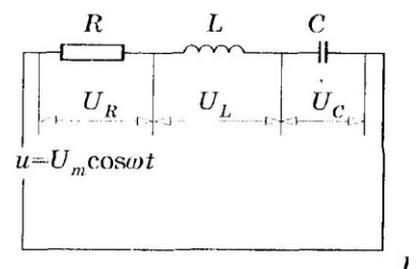
резистору  $R_2$ , поэтому его заряд  $q'_2 = \frac{ER_2 C_2}{R_1 + R_2}$ . Теперь заряды  $q'_1$  и  $q'_2$  одноименные.

Вычислим, какой заряд  $\Delta q$  протечет через ключ  $K$  после его замыкания:  $\Delta q = (q'_1 - q_1) + (q'_2 - (-q_2)) = q'_1 - q_1 + q'_2 + q_2 =$

$$= q'_1 + q'_2 = EC_1 + \frac{ER_2 C_2}{R_1 + R_2} = \frac{EC_1(R_1 + R_2) + ER_2 C_2}{R_1 + R_2}.$$

Ответ:  $\Delta q = \frac{EC_1(R_1 + R_2) + ER_2 C_2}{R_1 + R_2}$ .

5. На рисунке представлена цепь, состоящая из резистора  $R = 100$  Ом, индуктивности  $L = 0,51$  Гн и конденсатора  $C = 2$  мкФ. Цепь подключена к источнику переменного тока



напряжением  $U = 220$  В, частотой  $\nu = 50$  Гц. Определите силу тока в цепи и падения напряжений на ее элементах. При какой емкости  $C$  в цепи наступит резонанс напряжений?

РЕШЕНИЕ:

Дано:  $R = 100$  Ом,  $L = 0,51$  Гн,  $C = 2$  мкФ,  $U = 220$  В,  $\nu = 50$  Гц.

---

$I$  - ?,  $U_R$  - ?,  $U_L$  - ?,  $U_C$  - ?  $C_{рез.}$  - ?

Действующее значение тока в цепи  $I$  вычислим по закону Ома для цепи переменного тока:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}} = \frac{220}{\sqrt{100^2 + (160 - 1600)^2}} \approx 0,152 \text{ А.}$$

Вычислим падения напряжений на элементах цепи:  $U_R = IR = 15,2$  В.  $U_L = IX_L = I \cdot 2\pi\nu L = 24,3$  В.

$$U_C = IX_C = I \cdot (2\pi\nu C)^{-1} = 243 \text{ В.}$$

Резонанс напряжений в цепи наступает при условии  $X_L = X_C$ . Т.е.  $2\pi\nu L = \frac{1}{2\pi\nu C}$ , откуда

$$C_{рез.} = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 L} = \frac{2}{4 \cdot 3,14 \cdot 3,14 \cdot 2500 \cdot 0,51} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} = 20 \text{ мкФ.}$$

Ответ:  $I = 0,152$  А,  $U_R = 15,2$  В,  $U_L = 24,3$  В,  $U_C = 243$  В,  $C_{рез.} = 20$  мкФ.

6. Для многоканальной аудиосистемы, монтируемой в концертном зале, большие расстояния до акустических систем не позволяют использовать проводные линии связи. Предложите как минимум два варианта построения беспроводной аудиосистемы для данного случая.

РЕШЕНИЕ:

При решении данной задачи необходимо руководствоваться тем, что при построении аудиосистемы, в ней должны быть минимизированы задержки сигнала звука. Самое очевидное решение – проводная линия по условиям задания не реализуемо. Альтернативными вариантами могут быть: использование радиоканала для передачи звукового сигнала, а также использование оптической системы передачи сигнала, например с помощью лазера, в этом случае необходимо, чтобы приемник и передатчик находились в прямой видимости.

7. При разработке четырехколесной машины-робота возникла задача определения ситуации, когда машина упирается в неподвижное препятствие. Использование дальномеров, сонаров не дает должного эффекта, поскольку препятствие может быть низким (ступенька). Предложите альтернативное решение.

РЕШЕНИЕ:

В этой задаче по условию робот упирается в препятствие, но пытается ехать дальше. Может быть предложено решение определения скорости (или просто самого факта) вращения колес, при наличии команды «ехать вперед». Очевидно, имеет смысл анализировать состояние ведомых колес, которые останавливаются, если машина упирается в неподвижное препятствие. Также хороший вариант решения - оценка тока потребления ведущего двигателя. При наличии подобной системы, факт остановки будет определен по возросшему потреблению тока двигателем.