

**Пример решения заданий олимпиады по электротехнике  
«ЭлТех» 2020**

**1. Задание (10 баллов).**

Вычислите напряжение, которое показывает второй вольтметр  $V_2$  в схеме на рисунке, если известны сопротивления:  $R_0 = 1 \text{ Ом}$ ;  $R_1 = 8 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ , а вольтметр  $V_0$  показывает 100 В.

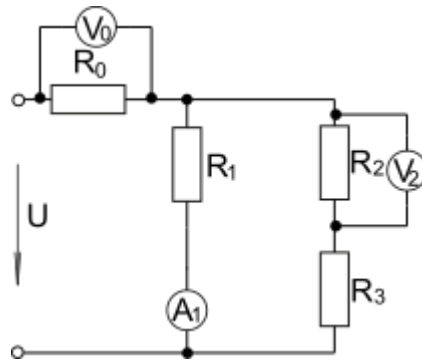


Рисунок к заданию 1

**Решение.**

Ток в неразветвленной части схемы:

$$I_0 = \frac{U_{V_0}}{R_0} = \frac{100}{1} = 100 \text{ A.}$$

Ток в ветви с последовательным соединением резисторов  $R_2$  и  $R_3$ :

$$I_{23} = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_{23}} = 100 \cdot \frac{8}{8 + 10 + 7} = 32 \text{ A.}$$

Падение напряжения на резисторе  $R_2$ :

$$U_{V_2} = I_{23} \cdot R_2 = 32 \cdot 10 = 320 \text{ В.}$$

**Ответ:  $U_{V_2} = 320 \text{ В}$ .**

**2. Задание (5 баллов)**

На заряд  $Q = 16 \cdot 10^{-8}$  Кл действует сила  $F = 2,4 \cdot 10^{-3}$  Н. Найти напряженность электрического поля в данной точке. Определить заряд  $Q_0$ , создающий это поле, если он удален от этой точки на расстояние  $r = 0,3$  м в вакууме.

**Решение.**

Напряженность поля в данной точке

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-8}} = 0,15 \cdot 10^5 \text{ В/м.}$$

Значение заряда  $Q_0$  при данной напряженности

$$Q_0 = E4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2 = 0,15 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,3^2 = 15 \cdot 10^{-8} \text{ Кл.}$$

Ответ.  $Q_0 = 15 \cdot 10^{-8}$  Кл.

### 3. Задание (10 баллов)

На цепь, схема которой представлена на рисунке, действует напряжение 10 В. Определить величину  $R_x$ , чтобы общий ток цепи был равен 1 А.  $R_1=5$  Ом,  $R_2=10$  Ом.

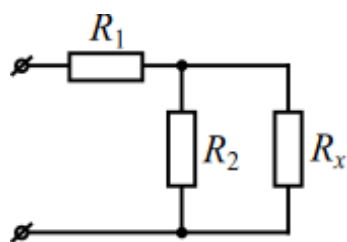


Рисунок к заданию 3

**Решение.**

Общее сопротивление цепи можно найти из выражения:

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_x}{R_2 + R_x},$$

также его можно найти, используя закон Ома:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Решим уравнение:

$$\frac{U}{I} = R_1 + \frac{R_2 R_x}{R_2 + R_x},$$

$$\frac{10}{1} = 5 + \frac{10R_x}{10 + R_x},$$

$$5 = \frac{10R_x}{10 + R_x},$$

$$50 + 5R_x = 10R_x,$$

$$5R_x = 50,$$

$$R_x = \frac{50}{5} = 10 \text{ Ом.}$$

**Ответ:**  $R_x = 10$  Ом.

#### 4. Задание (15 баллов)

Определить потенциал точки *b* электрической цепи, изображенной на рисунке, если  $E_{11} = 42$  В,  $\varphi_d = 7$  В,  $R_{11} = 36$  Ом,  $R_{21} = 8$  Ом,  $R_{31} = 14$  Ом,  $R_{32} = 10$  Ом.

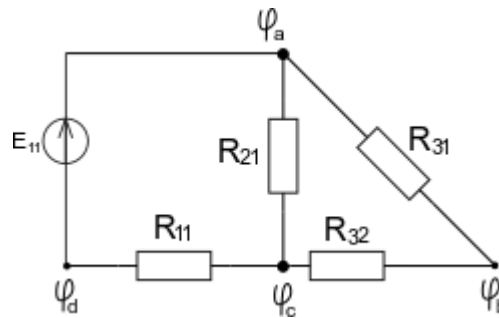


Рисунок к заданию 4

#### Решение.

Эквивалентное сопротивление цепи

$$R_{\text{эКВ}} = R_{11} + R_{21} \cdot (R_{31} + R_{32}) / (R_{21} + R_{31} + R_{32}) = 36 + 8 \cdot (14 + 10) / (8 + 14 + 10) = 42 \text{ Ом.}$$

Общий ток

$$I_1 = E_{11} / R_{\text{эКВ}} = 42 / 42 = 1 \text{ А.}$$

Напряжение

$$U_{11} = R_{11} \cdot I = 36 \text{ В.}$$

Напряжение на параллельных ветвях

$$U_{21} = U_3 = E_{11} - U_{11} = 42 - 36 = 6 \text{ В.}$$

Ток в ветви с последовательным соединением резисторов  $R_{31}$  и  $R_{32}$

$$I_3 = U_3 / (R_{31} + R_{32}) = 6 / (14 + 10) = 0,25 \text{ А.}$$

Напряжение на резисторе  $R_{32}$

$$U_{32} = I_3 \cdot R_{32} = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ В.}$$

Потенциал точки *b*

$$\varphi_b = \varphi_d + U_{11} + U_{32} = 7 + 36 + 2,5 = 45,5 \text{ В.}$$

**Ответ.**  $\varphi_b = 45,5$  В.

### 5. Задание (20 баллов)

В цепи, изображённой на рисунке, сопротивления резисторов равны между собой:  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ . При разомкнутом ключе  $K$  через резистор  $R_3$  течёт ток  $I_0 = 1,4$  А. Загорится ли лампа после замыкания ключа, если она загорается при силе тока  $I = 0,5$  А? Сопротивление лампы в этом режиме  $R_{л} = 3R$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь, диод считать идеальным.

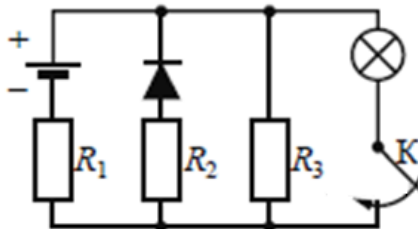


Рисунок к заданию 5

#### Решение.

1. Из рисунка видно, что диод включен противоположно направлению тока. Так как диод идеальный, то ток через него и резистор  $R_2$  не потечёт.

2. При разомкнутом ключе резисторы  $R_1$  и  $R_3$  подключены последовательно, а значит, сила тока в этом случае по закону Ома равна

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{2R} \Leftrightarrow \varepsilon = 2I_0R.$$

3. Когда ключ замыкают, лампа включается параллельно резистору  $R_3$ , а значит, сопротивление участка с параллельным соединением  $R_3$  и лампы будет:

$$R_K = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4}R.$$

Ток в цепи в этом случае:

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_K + R} = \frac{4\varepsilon}{7R}.$$

Напряжение на параллельных участках одинаково и равно

$$U = I_2 R_K = \frac{3}{7}\varepsilon.$$

Тогда через лампу будет проходить ток:

$$I_{л} = \frac{\frac{3}{7}\varepsilon}{3R} = \frac{3 \cdot 2I_0R}{7 \cdot 3R} = \frac{2I_0}{7} = 0,4 \text{ А},$$

что меньше величины необходимого тока, а значит, лампа не загорится.

**Ответ.** Лампа не загорится

## 6. Задача (25 баллов)

Линия передачи электрической энергии переменного тока (рис.) обладает активным сопротивлением  $R_{л} = 15$  Ом и индуктивностью  $L_{л} = 0,191$  Гн. В конце этой линии присоединен приемник энергии, потребляющий мощность  $P_2 = 84$  кВт при напряжении  $U_2 = 5,1$  кВ и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ). Частота тока  $f = 50$  Гц. Определить напряжение  $U_1$  и кпд сети.

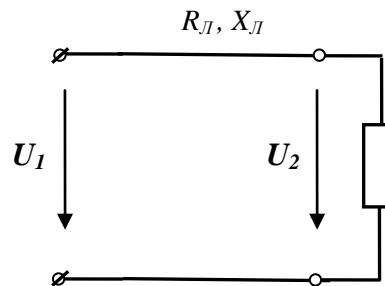


Рисунок к задаче 7

### Решение

$$U_1 = \sqrt{U_a^2 + U_p^2},$$

где  $U_a, U_p$  – активная и реактивная составляющие напряжения сети.

$$U_a = U_{а пр} + U_{а л},$$

$U_{а пр}$  – активное напряжение приемника;  $U_{а л}$  – активное напряжение линии.

$$U_{а пр} = U_2 \cos \varphi_2 = 5100 \cdot 0,8 = 4080 \text{ В.}$$

Реактивное напряжение приемника

$$U_{р пр} = \sqrt{U_2^2 - U_{а пр}^2} = \sqrt{5100^2 - 4080^2} = 3060 \text{ В.}$$

Ток линии

$$I = \frac{P_2}{U_2 \cos \varphi_2} = \frac{84000}{5100 \cdot 0,8} = 20,59 \text{ А.}$$

Тогда

$$U_{а л} = I \cdot R_{л} = 20,59 \cdot 15 = 308,85 \text{ В.}$$

Реактивное сопротивление линии

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,191 = 59,974 \approx 60 \text{ Ом.}$$

Реактивное напряжение линии

$$U_{p.l} = I \cdot X_L = 20,59 \cdot 60 = 1235,4 \text{ В.}$$

Активное напряжение сети

$$U_a = U_{a.p.p} + U_{a.l} = 4080 + 308,85 = 4388,85 \text{ В.}$$

Реактивное напряжение сети

$$U_p = U_{p.p.p} + U_{p.l} = 3060 + 1235,4 = 4295,4 \text{ В.}$$

Получаем

$$U_1 = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = \sqrt{4388,85^2 + 4295,4^2} = 6141 = 6,141 \text{ кВ.}$$

Кпд сети

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

где  $P_1$  – мощность, поступающая в сеть.

$$P_1 = P_2 + P_{л.}$$

Активная мощность линии

$$P_{л.} = I^2 \cdot R_{л.} = 20,59^2 \cdot 15 = 6359,22 \text{ Вт.}$$

Тогда

$$P_1 = P_2 + P_{л.} = 84000 + 6359,22 = 90359,22.$$

Получаем

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{84000}{90359,22} = 0,93.$$

**Ответ:  $U_1 = 6141 \text{ В} = 6,141 \text{ кВ}; \quad \eta = 0,93.$**

## 7. Задание (15 баллов)

Ученик собрал схему, изображённую на первом рисунке. После её подключения к идеальному источнику постоянного напряжения оказалось, что амперметр показывает ток  $I_1 = 0,9$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 20$  В. Когда ученик переключил один из проводников вольтметра от точки 1 к точке 2 (см. второй рисунок), вольтметр стал показывать напряжение  $U_2 = 19$  В, а амперметр – ток  $I_2 = 1$  А. Во сколько раз сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра?

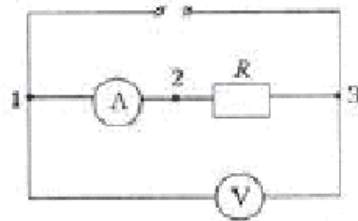


рис.1

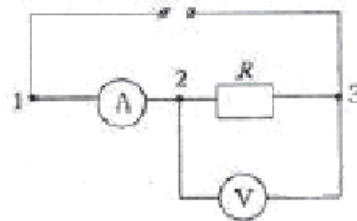


рис.2

### Решение.

Вольтметр в первом случае (рис.1) показывает постоянное напряжение источника, равное  $U_1 = 20$  В. Во втором случае (рис.2) это напряжение равно сумме падения напряжения на амперметре и показаний вольтметра:  $U_1 = U_A + U_2$ , откуда  $U_A = U_1 - U_2 = 1$  В, и по закону Ома сопротивление амперметра, через который течёт ток  $I_2 = 1$  А, равно:

$$R_A = \frac{U_1 - U_2}{I_2} = 1 \text{ Ом.}$$

В первом случае по закону Ома для участка цепи, содержащего резисторы,  $U_1 = I_1(R_A + R)$ . Откуда:

$$R = \frac{U_1}{I_1} - R_A = \frac{20}{0,9} - 1 \approx 21,2 \text{ Ом.}$$

Во втором случае ток  $I_2$  разветвляется в точке 2 на два тока — через вольтметр и через резистор, равные в сумме току  $I_2$  по закону сохранения электрического заряда для цепей постоянного тока. Поэтому ток через вольтметр равен:

$$I_B = I_2 - \frac{U_2}{R} \approx 0,105 \text{ А,}$$

а сопротивление вольтметра равно:

$$R_B = \frac{U_2}{I_B} \approx 181,5 \text{ Ом.}$$

Подставляя все записанные выражения, получаем:

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_2 [U_1 (I_2 - I_1) + U_2 I_1]}{U_1 (U_1 - U_2) (I_2 - I_1)} = 181,45$$

**Ответ.** Таким образом, сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра в 181,45 раза.