

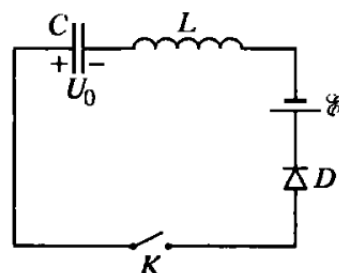
Диод и катушка

ЗАДАЧА 1. (МФТИ, 1999) В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 12$ В. ЭДС аккумулятора $\mathcal{E} = 5$ В. Индуктивность катушки $L = 2$ Гн.

1) Чему равен ток, установившийся в цепи после замыкания ключа?

2) Чему равен максимальный ток в цепи после замыкания ключа?

Внутренним сопротивлением аккумулятора и омическим сопротивлением катушки пренебречь. D — идеальный диод.



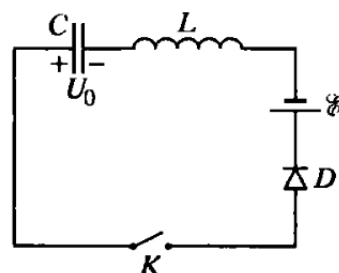
$$I_{\text{max}} = (\mathcal{E} - U_0) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ А}$$

ЗАДАЧА 2. (МФТИ, 1999) В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 10$ В. ЭДС аккумулятора $\mathcal{E} = 15$ В, индуктивность катушки $L = 0,1$ Гн.

1) Чему равен установившийся ток в цепи после замыкания ключа?

2) Чему равен максимальный ток в цепи после замыкания ключа?

Внутренним сопротивлением аккумулятора и омическим сопротивлением катушки пренебречь. D — идеальный диод.

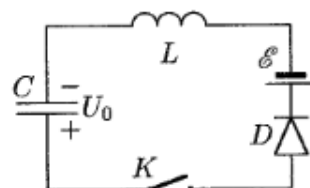


$$I_{\text{max}} = (U_0 - \mathcal{E}) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ А}$$

ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 2004) В схеме, приведённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 8$ В. Индуктивность катушки $L = 0,2$ Гн, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 3$ В, диод D — идеальный.

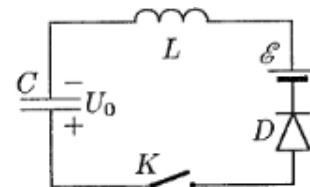
1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?



$$I_{\text{max}} = (\mathcal{E} - U_0) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ А}$$

Задача 4. (МФТИ, 2004) В схеме, приведённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 2$ В. Индуктивность катушки $L = 0,1$ Гн, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 5$ В, диод D — идеальный.

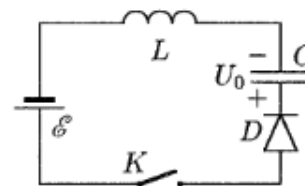


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{L} \sqrt{(\mathcal{E} + U_0) \cdot L} = 70 \text{ mA}; \quad U = \mathcal{E} + U_0 = 7 \text{ V}$$

Задача 5. (МФТИ, 2004) В схеме, приведённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 30$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 4$ В. Индуктивность катушки $L = 0,3$ Гн, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 10$ В, диод D — идеальный.

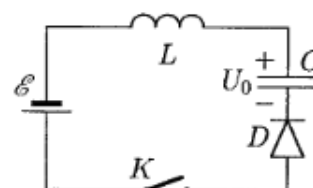


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{L} \sqrt{(\mathcal{E} - U_0) \cdot L} = 60 \text{ mA}; \quad U = \mathcal{E} - U_0 = 6 \text{ V}$$

Задача 6. (МФТИ, 2004) В схеме, приведённой на рисунке, при разомкнутом ключе K конденсатор ёмкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 5$ В. Индуктивность катушки $L = 0,4$ Гн, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 2$ В, диод D — идеальный.

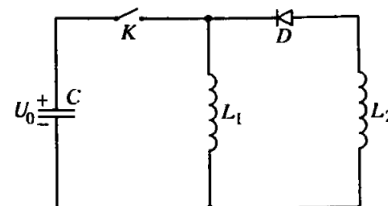


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{L} \sqrt{(\mathcal{E} + U_0) \cdot L} = 70 \text{ mA}; \quad U = \mathcal{E} + U_0 = 7 \text{ V}$$

Задача 7. (МФТИ, 1998) В схеме, изображённой на рисунке, катушки L_1 и L_2 закорочены через идеальный диод D . В начальный момент ключ K разомкнут, а конденсатор ёмкости C заряжен до напряжения U_0 . Через некоторое время после замыкания ключа K напряжение на конденсаторе станет равным нулю.



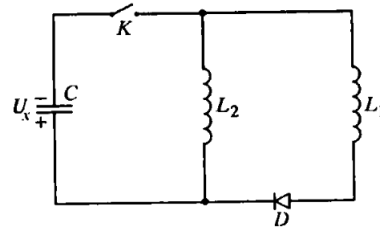
1) Найти ток через катушку L_1 в этот момент времени.

Затем конденсатор перезарядится до некоторого максимального напряжения.

2) Чему будут равны в этот момент токи в катушках?

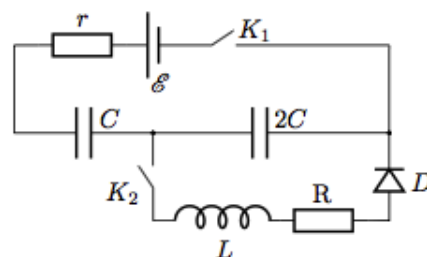
$$I = \frac{U_0}{L_1} \sqrt{\frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}} = 1 \text{ A}; \quad U = \frac{L_2}{L_1 + L_2} U_0 = 1 \text{ V}$$

ЗАДАЧА 8. (МФТИ, 1998) В схеме, изображённой на рисунке, катушки с индуктивностями L_1 и L_2 и пренебрежимо малыми сопротивлениями закорочены через идеальный диод D . В начальный момент ключ K разомкнут, а конденсатор ёмкости C заряжен до неизвестного напряжения U_x . Через некоторое время τ после замыкания ключа напряжение на конденсаторе станет равным нулю, а затем конденсатор перезарядится до некоторого максимального напряжения, и в этот момент через диод D будет течь ток, равный I_0 .



$$\frac{U_x C}{(L_1 + L_2) I_0} = \frac{L_1}{L_2} \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1} \right)^2 = \frac{L_1 + L_2}{L_1} \quad (1)$$

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2011, РЭ, 11) Электрическая цепь состоит из идеального источника тока с ЭДС \mathcal{E} , двух конденсаторов ёмкостью C и $2C$, катушки индуктивности L , сопротивлений R и r , идеального диода D и двух ключей K_1, K_2 (см. рисунок). В начальный момент времени конденсаторы не заряжены, а ключи разомкнуты. Сначала замыкают ключ K_1 . Найдите:



1) напряжение U_{2C} , установившееся на конденсаторе $2C$;

2) работу A , совершённую источником тока.

После того как конденсаторы зарядятся, ключ K_1 размыкают, а ключ K_2 замыкают. Затухание в получившемся RLC -контуре мало, то есть теплота, которая выделяется на резисторе R за полпериода колебаний, намного меньше начальной энергии, запасённой в конденсаторе ёмкостью $2C$.

3) Найдите зависимость силы тока $I = I(t)$ от времени.

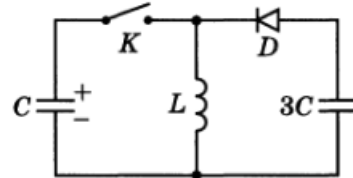
4) Постройте соответствующий график.

5) Определите количество теплоты Q_R , которое выделится на резисторе.

6) Вычислите установившееся напряжение U_D на диоде.

$$\frac{U_{2C}}{\mathcal{E}} = \frac{2C}{C+2C} = \frac{2}{3} \quad \left. \begin{array}{l} \text{при } \omega L \ll r \text{ и } \omega L \ll R \\ \text{при } \omega L \gg r \text{ и } \omega L \gg R \end{array} \right\} I = \frac{\mathcal{E}}{r+R} \frac{2C}{C+2C} = \frac{2}{3} \frac{\mathcal{E}}{r+R} = \frac{2}{3} \frac{\mathcal{E}}{r+R} \quad (1)$$

ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 1998, ОЭ, 11) Цепь, показанная на рисунке, содержит два конденсатора, ёмкости которых равны C и $3C$, катушку индуктивности L , идеальный диод D и ключ K . В начальный момент конденсатор ёмкости C заряжен до напряжения U_0 , конденсатор ёмкости $3C$ не заряжен, ключ K разомкнут, ток в катушке не течёт.

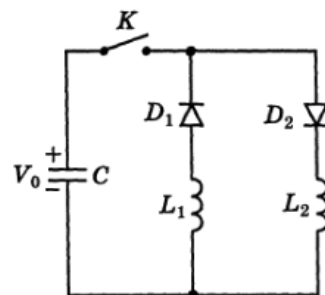


1) Через какое время после замыкания цепи ключом K напряжение на конденсаторе C окажется первый раз равным нулю?

2) Постройте графики зависимостей от времени напряжений на конденсаторах после замыкания ключа K с указанием координат характерных точек (экстремумы и нули функции). Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.

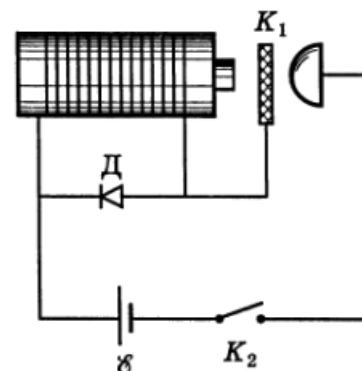
$$U_C = U_0 \cos \omega t \quad (1)$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2001, финал, 11) Электрическая цепь состоит из конденсатора ёмкостью C , идеальных диодов D_1 и D_2 и катушек с индуктивностями L_1 и $L_2 = 4L_1$. В начальный момент ключ разомкнут, а конденсатор заряжен до напряжения V_0 (рис.). Найдите зависимость силы тока через катушку L_2 от времени после замыкания ключа и постройте график этой зависимости.



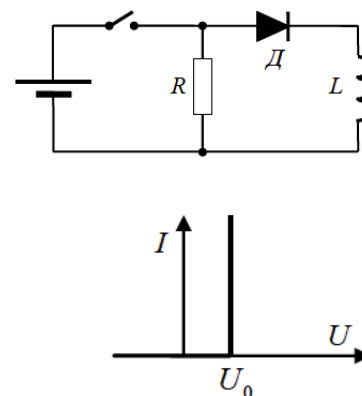
$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial I_2}{\partial t} < 0 \text{ если } \left(\left(\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial T} \right) \wedge \right) \text{ со} + \frac{1}{\varepsilon_T} \frac{\varepsilon_T + 1}{T} \frac{\varepsilon_T}{\partial} \wedge \theta_A \\ \frac{\partial I_2}{\partial t} < 0 \text{ если } \left(\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial T} \right) \text{ и} \frac{\varepsilon_T}{\partial} \wedge \theta_A \end{array} \right\} = \varepsilon_T$$

ЗАДАЧА 12. (Всеросс., 1996, финал, 11) Электромагнитное реле через ключ K_1 подключено к батарее, ЭДС которой равна \mathcal{E} . Ключ K_1 нормально замкнут и размыкается при срабатывании реле (рис.). Омическое сопротивление обмотки реле $R = 50$ Ом, индуктивность обмотки $L = 0,5$ Гн. Когда сила тока достигает значения $I_2 = \frac{2}{3} \frac{\mathcal{E}}{R}$, реле срабатывает и ключ K_1 размыкается. Через некоторое время, когда сила тока в цепи реле становится равной $I_1 = \frac{1}{3} \frac{\mathcal{E}}{R}$, ключ K_1 снова замыкается. Определите период срабатывания реле в установившемся режиме работы. Считайте диод D идеальным. Внутренним сопротивлением батареи можно пренебречь.



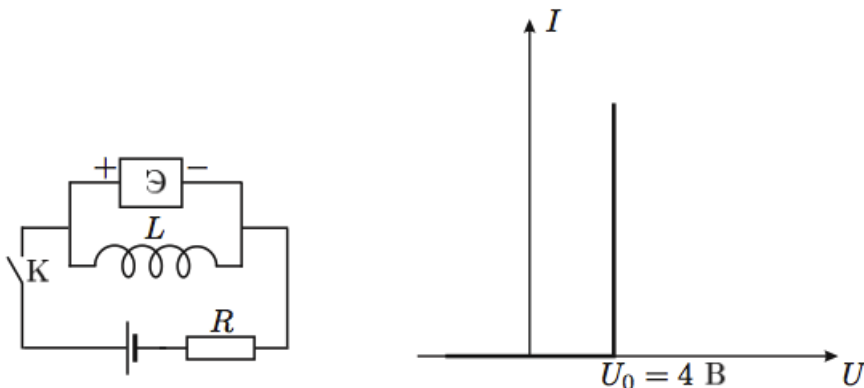
$$\text{он } \tau I = 2 \text{ и} \frac{\mathcal{E}}{R} = L$$

ЗАДАЧА 13. («Покори Воробьёвы горы!», 2015, 10–11) В схеме, показанной на рисунке сверху, диод D не является идеальным — его вольт-амперная характеристика показана на рисунке снизу. В некоторый момент времени, когда ток в катушке был равен нулю, ключ замкнули. Найти силу тока, который будет течь через резистор спустя достаточно большой промежуток времени. ЭДС и внутреннее сопротивление источника равны соответственно \mathcal{E} и r , омическое сопротивление катушки равно по величине внутреннему сопротивлению источника, сопротивление резистора R и пороговое напряжение диода U_0 считать известными.



$$\left. \begin{array}{l} \left(\frac{\mathcal{E}}{r} + 1 \right) \theta < \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ если } \frac{\mathcal{E}}{R} \\ \left(\frac{\mathcal{E}}{r} + 1 \right) \theta > \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ если } \frac{\mathcal{E}}{R} \end{array} \right\} = I_R$$

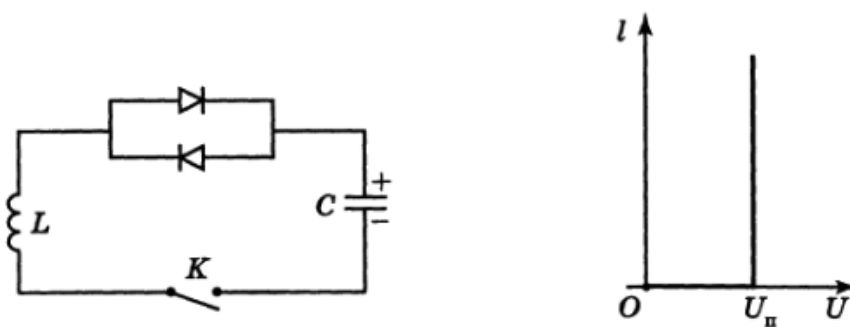
ЗАДАЧА 14. (Всеросс., 2003, финал, 11) В цепи (рис. слева) электродвижущая сила источника $\mathcal{E} = 12$ В, сопротивление резистора $R = 4$ Ом, индуктивность катушки $L = 0,5$ Гн, а нелинейный элемент \mathcal{E} имеет известную вольт-амперную характеристику $I(U)$ (рис. справа). В начальный момент ключ K разомкнут, ток в катушке не течёт.



- 1) Какое количество теплоты выделится на нелинейном элементе после замыкания ключа?
- 2) Построить качественный график зависимости тока в катушке от времени. Укажите характерные точки на графике. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

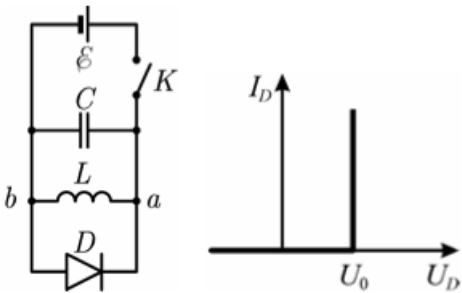
$$Q = \int I(U) U dt = 0$$

ЗАДАЧА 15. (Всеросс., 1994, финал, 11) В колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности $L = 0,1$ Гн и конденсатора ёмкости $C = 10$ мкФ, включён «электронный ключ», составленный из двух одинаковых диодов (рис. слева). Вольт-амперная характеристика диодов показана на рисунке справа. Пороговое напряжение, при котором диод открывается, $U_{\text{п}} = 0,7$ В. Перед замыканием ключа K напряжение на конденсаторе равно $U_0 = 4,5$ В. Через какое время после замыкания ключа K колебания в контуре прекратятся и установится стационарный режим? Чему будет равно установившееся (остаточное) напряжение на конденсаторе? Постройте график зависимости напряжения U_0 на конденсаторе от времени.



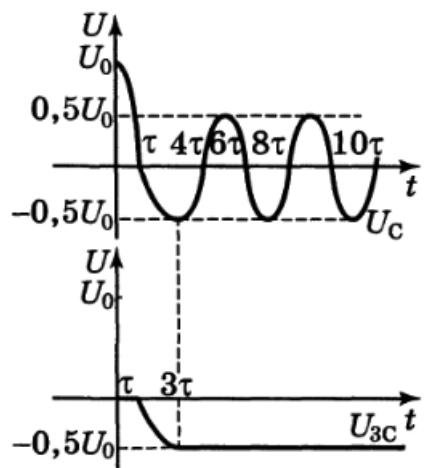
$$\tau = 3\pi\sqrt{LC} = 9,42 \text{ мс}; U_C = -0,3 \text{ В}; C_{\text{м. конц. диода}}$$

Задача 16. (МОШ, 2014, 11) В цепи, схема которой изображена на рисунке, катушка имеет индуктивность L , ёмкость конденсатора равна C , сопротивление источника, активное сопротивление катушки и сопротивления проводов пренебрежимо малы. Вольт-амперная характеристика диода D изображена на графике (I_D — сила текущего через диод тока; $U_D = \varphi_b - \varphi_a$, где φ_a и φ_b — потенциалы соответствующих точек цепи). В начальный момент ключ K разомкнут, а конденсатор C не заряжен. Ключ K замыкают на время $t_0 < \sqrt{LC}$, а затем снова размыкают. Определите отношение ЭДС источника \mathcal{E} к напряжению U_0 , при котором открывается диод, если заряд, прошедший через диод после размыкания ключа, в n раз больше заряда, прошедшего через катушку за время t_0 , пока ключ был замкнут.



$$\frac{(\mathcal{E} + U_0)\tau}{(\mathcal{E} + U_0)\mathcal{E} + U_0^2} = \frac{U_0}{\mathcal{E}}$$

Ответ к задаче 10



Ответ к задаче 15

