

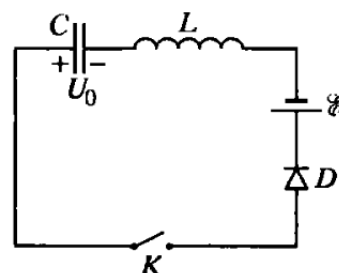
## Диод и катушка

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.



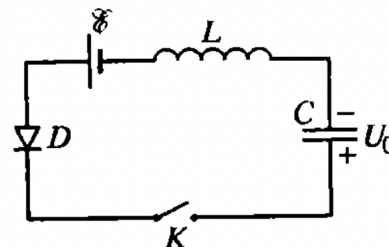
$$I_{\text{max}} = (\mathcal{E} - U_0) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ А}$$

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.

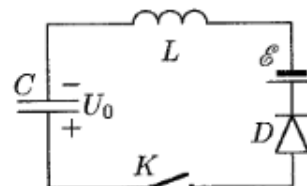


$$I_{\text{max}} = (U_0 - \mathcal{E}) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ А}$$

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.

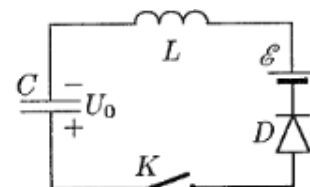
1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа  $K$ .

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.

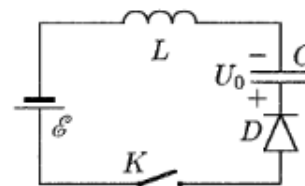


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа  $K$ .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\mathcal{E} + U_0)^2} = 70 \text{ mA}; \quad U = U_0 + \mathcal{E} = 7 \text{ V}$$

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.

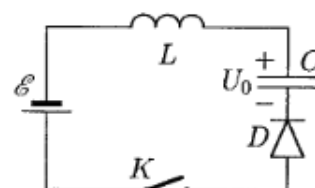


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа  $K$ .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\mathcal{E} - U_0)^2} = 60 \text{ mA}; \quad U = U_0 - \mathcal{E} = 16 \text{ V}$$

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.

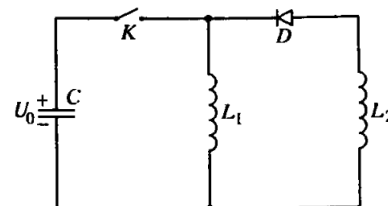


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа  $K$ .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\mathcal{E} + U_0)^2} = 70 \text{ mA}; \quad U = U_0 + \mathcal{E} = 7 \text{ V}$$

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.



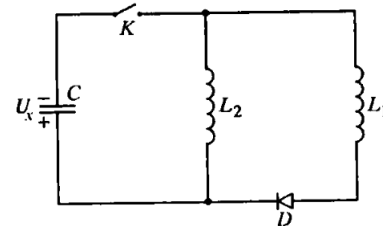
1) Найти ток через катушку  $L_1$  в этот момент времени.

Затем конденсатор перезарядится до некоторого максимального напряжения.

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

$$I = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2}}; \quad I_1 = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

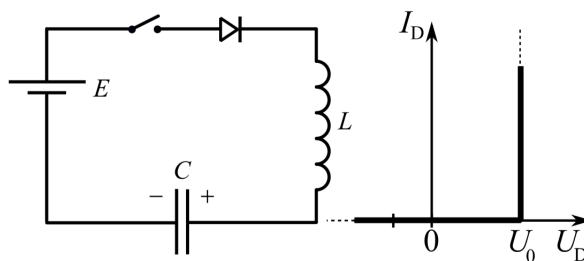
ЗАДАЧА 8. (МФТИ, 1998) В схеме, изображённой на рисунке, катушки с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  и пренебрежимо малыми сопротивлениями закорочены через идеальный диод  $D$ . В начальный момент ключ  $K$  разомкнут, а конденсатор ёмкости  $C$  заряжен до неизвестного напряжения  $U_x$ . Через некоторое время  $\tau$  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  $I_0$ .



- 1) Определить  $\tau$ .
- 2) Определить начальное напряжение  $U_x$ .

$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \left( 1 - e^{-\frac{L_2}{L_1 + L_2} \frac{U_x}{U_0} \tau} \right)$$

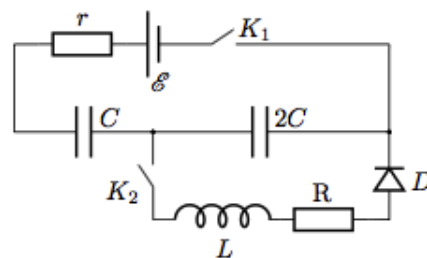
ЗАДАЧА 9. («Физтех», 2020, 11) В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника  $E = 9$  В, конденсатор ёмкостью  $C = 40$  мкФ заряжен до напряжения  $U_1 = 5$  В, индуктивность идеальной катушки  $L = 0,1$  Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода  $U_0 = 1$  В. Ключ замыкают.



1. Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
2. Найти максимальный ток после замыкания ключа.
3. Найти установившееся напряжение  $U_2$  на конденсаторе после замыкания ключа.

$$I_{\text{max}} = \frac{E - U_0}{L} \left( 1 - e^{-\frac{L}{C} \frac{U_1 - U_0}{E - U_0}} \right)$$

ЗАДАЧА 10. (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.

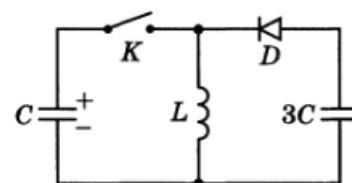
4) Постройте соответствующий график.

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

6) Вычислите установившееся напряжение  $U_D$  на диоде.

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

ЗАДАЧА 11. (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.

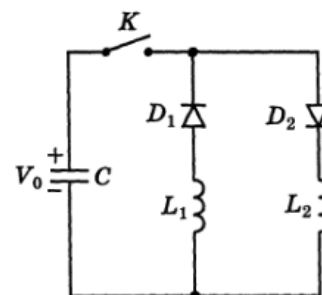


1) Через какое время после замыкания цепи ключом  $K$  напряжение на конденсаторе  $C$  окажется первый раз равным нулю?

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.

$$(1) \tau = \frac{1}{\omega} \sqrt{LC}; (2) \text{ см. конец листа}$$

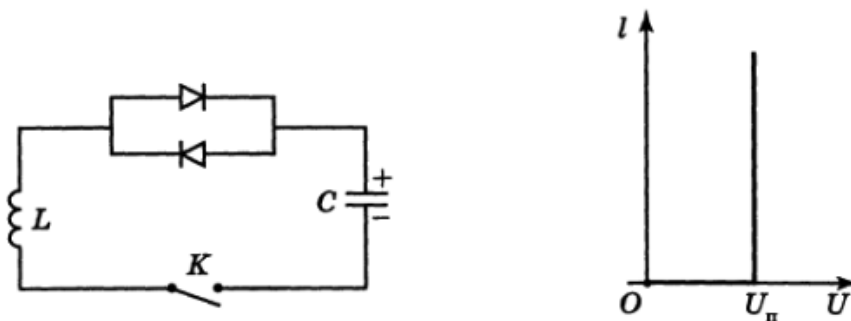
ЗАДАЧА 12. (Всеросс., 2001, финал, 11) Электрическая цепь состоит из конденсатора ёмкостью  $C$ , идеальных диодов  $D_1$  и  $D_2$  и катушек с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2 = 4L_1$ . В начальный момент ключ разомкнут, а конденсатор заряжен до напряжения  $V_0$  (рис.). Найдите зависимость силы тока через катушку  $L_2$  от времени после замыкания ключа и постройте график этой зависимости.



$$I = \frac{V_0}{L_2} \left\{ \begin{array}{l} \cos\left(\frac{t}{\tau}\right) + \frac{L_1}{L_2} \frac{t}{\tau} \quad \text{если } \frac{t}{\tau} < \frac{L_2}{L_1} \\ \frac{L_1}{L_2} \frac{t}{\tau} \quad \text{если } \frac{t}{\tau} > \frac{L_2}{L_1} \end{array} \right.$$

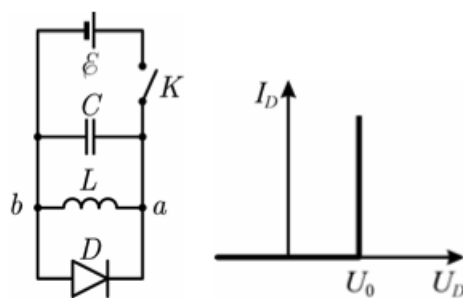


ЗАДАЧА 16. (Всеросс., 1994, финал, 11) В колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности  $L = 0,1$  Гн и конденсатора ёмкости  $C = 10$  мкФ, включён «электронный ключ», составленный из двух одинаковых диодов (рис. слева). Вольт-амперная характеристика диодов показана на рисунке справа. Пороговое 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.



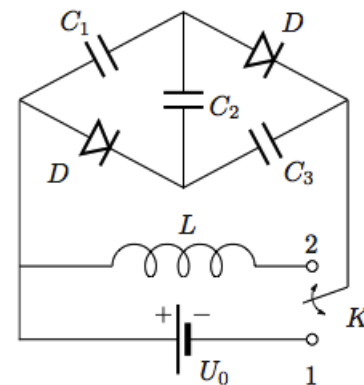
$$\tau = 3\pi\sqrt{LC} = 9,42 \text{ мс}; U_C = -0,3 \text{ В}; C_{\text{м. конденсатора}}$$

ЗАДАЧА 17. (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  $\varphi_a$  и  $\varphi_b$  — 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.



$$\frac{(Ct + \frac{q}{I})\tau}{(Ct + \frac{q}{I})\tau + \sqrt{LC} + \frac{q}{I}\tau} = \frac{q}{\mathcal{E}}$$

ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 2019, финал, 11) Электрическая схема состоит из трех конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  одинаковой емкости  $C$ , катушки с индуктивностью  $L$ , двух идеальных диодов, источника постоянного напряжения  $U_0$ , ключа  $K$  (рис.). Первоначально перед замыканием ключа конденсаторы не заряжены. Затем ключ переводят в положение 1, и, после установления равновесия, переключают в положение 2.



- 1) Чему равны напряжения на конденсаторах  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  перед переключением ключа в положение 2?
- 2) Чему равно максимальное значение  $I_D$  тока через диоды после переключения ключа в положение 2?
- 3) В каких пределах

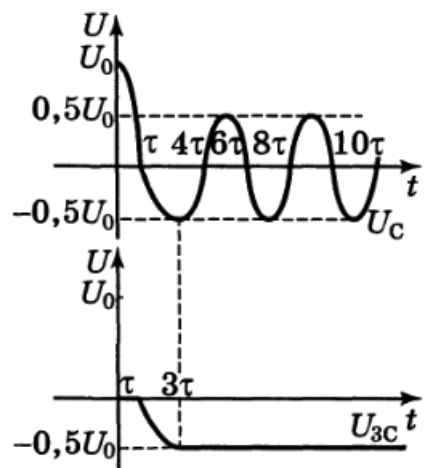
$$([U_1^{\min}, U_1^{\max}], [U_2^{\min}, U_2^{\max}], [U_3^{\min}, U_3^{\max}])$$

изменяются напряжения на конденсаторах после переключения ключа в положение 2?

- 4) Качественно изобразите график зависимости силы тока  $I$ , протекающего через индуктивность, от времени.
  - 5) Чему равен период колебаний  $T$  тока  $I$ ?
- Активным сопротивлением индуктивности и проводов можно пренебречь.

$$\frac{\partial T}{\partial \epsilon} \wedge \nu z = L \left( \epsilon : \left[ {}^0\Omega : \frac{\epsilon}{\sigma\Omega} \right] ; \left[ {}^0\Omega : \frac{\epsilon}{\sigma\Omega\epsilon} : {}^0\Omega \right] ; \left[ {}^0\Omega : \frac{\epsilon}{\sigma\Omega} \right] \right) \left( \epsilon : {}^0 \left( z : {}^0\Omega \right) \right)$$

Ответ к задаче 11



Ответ к задаче 16

