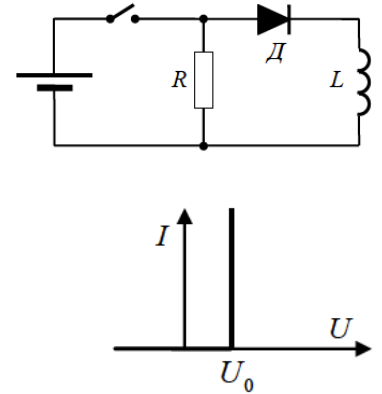


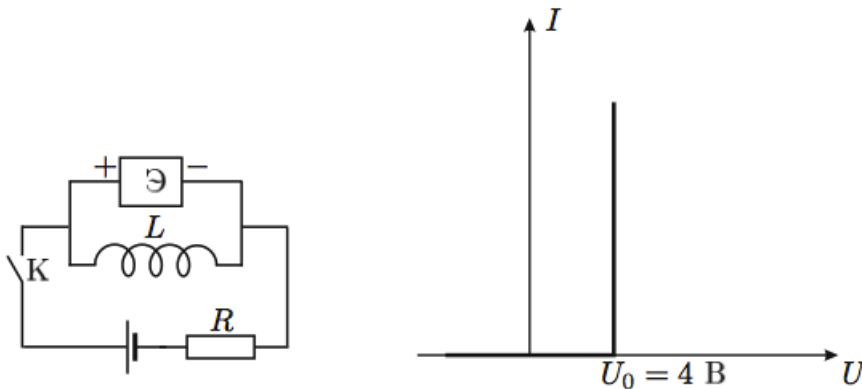
Диод и колебательный контур

ЗАДАЧА 1. («Покори Воробьёвы горы!», 2015, 10–11) В схеме, показанной на рисунке сверху, диод D не является идеальным — его вольтамперная 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.



$$\left. \begin{array}{l} \left(\frac{U}{r} + 1 \right) \mathcal{E} \leq \mathcal{E} \text{ и } r \leq \mathcal{E} \\ \left(\frac{U}{r} + 1 \right) \mathcal{E} > \mathcal{E} \text{ и } r > \mathcal{E} \end{array} \right\} = \mathcal{E} I$$

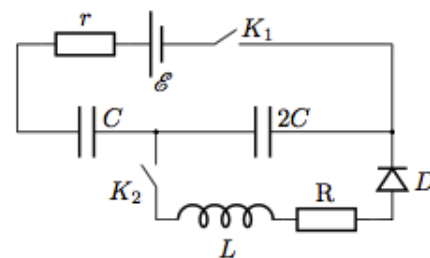
ЗАДАЧА 2. (Всеросс., 2003, финал, 11) В цепи (рис. слева) электродвижущая сила источника $\mathcal{E} = 12$ В, сопротивление резистора $R = 4$ Ом, индуктивность катушки $L = 0,5$ Гн, а нелинейный элемент \mathcal{E} имеет известную вольт-амперную характеристику $I(U)$ (рис. справа). В начальный момент 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.

$$\mathcal{E} I = \frac{\mathcal{E}^2}{r(\mathcal{E} - \mathcal{E})} = \mathcal{E}$$

ЗАДАЧА 3. (Всеросс., 2011, регион, 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.

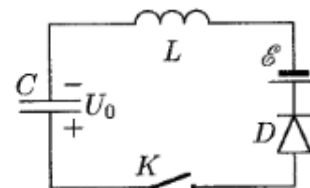
4) Постройте соответствующий график.

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

6) Вычислите установившееся напряжение U_D на диоде.

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_{2C}}{1} = \dots \\ \dots \end{aligned} \right\} = I \dots = V \dots = \dots$$

ЗАДАЧА 4. (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.

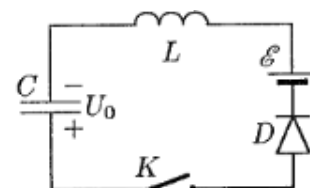


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \dots$$

ЗАДАЧА 5. (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.

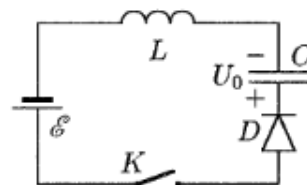


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$I_{\max} = \dots$$

Задача 6. (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.

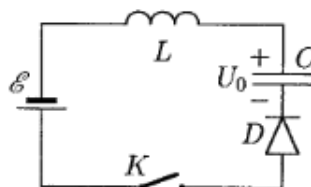


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$(I_{\max} = \frac{\mathcal{E} - U_0}{\sqrt{L/C}}) \quad (z; \sqrt{L/C} = \frac{1}{\sqrt{L/C}})$$

Задача 7. (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.

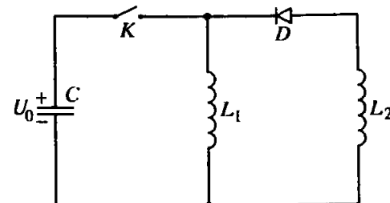


1) Определить максимальный ток в цепи после замыкания ключа K .

2) Какое напряжение установится на конденсаторе после замыкания ключа?

$$(I_{\max} = \frac{\mathcal{E} + U_0}{\sqrt{L/C}}) \quad (z; \sqrt{L/C} = \frac{1}{\sqrt{L/C}})$$

Задача 8. (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.



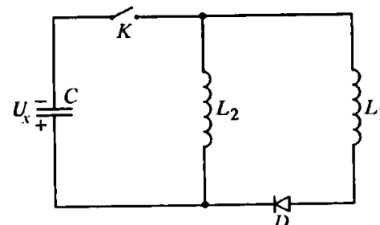
1) Найти ток через катушку L_1 в этот момент времени.

Затем конденсатор перезарядится до некоторого максимального напряжения.

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

$$(I = \frac{U_0}{\sqrt{L_1/L_2}}) \quad (z; \sqrt{L_1/L_2} = \frac{1}{\sqrt{L_1/L_2}})$$

Задача 9. (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 .



1) Определить τ .

2) Определить начальное напряжение U_x .

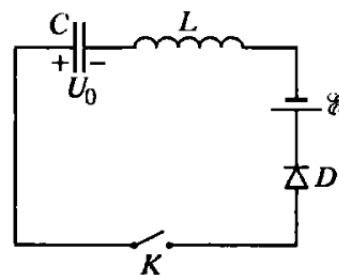
$$(I_0 = \frac{U_x}{\sqrt{L_1/L_2}}) \quad (z; \sqrt{L_1/L_2} = \frac{1}{\sqrt{L_1/L_2}})$$

ЗАДАЧА 10. (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.



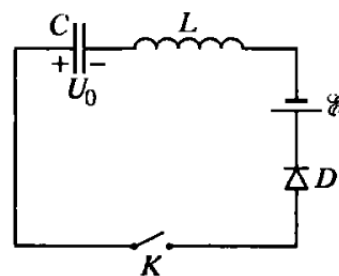
$$I_{\text{уст}} = (\mathcal{E} - U_0) \frac{1}{L} = 0,22 \text{ A} \quad (I_{\text{max}} = I_{\text{уст}})$$

ЗАДАЧА 11. (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?

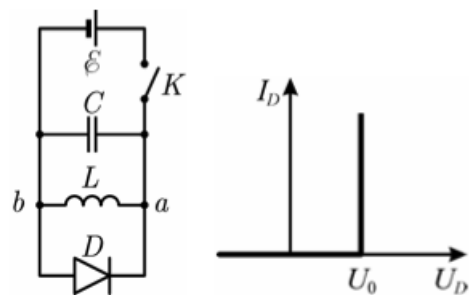
2) Чему равен максимальный ток в цепи после замыкания ключа?

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



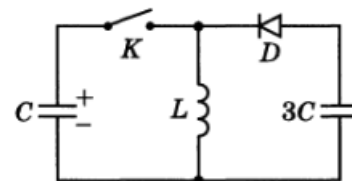
$$I_{\text{уст}} = (U_0 - \mathcal{E}) \frac{1}{L} = 0,5 \text{ A} \quad (I_{\text{max}} = I_{\text{уст}})$$

ЗАДАЧА 12. (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.



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

ЗАДАЧА 13. (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.

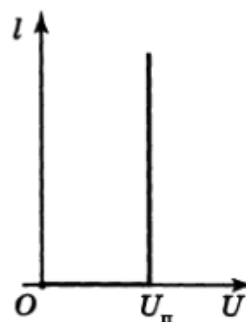
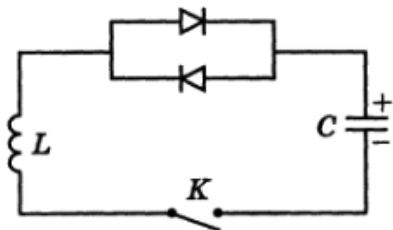


1) Через какое время после замыкания цепи ключом K напряжение на конденсаторе C окажется первый раз равным нулю?

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.

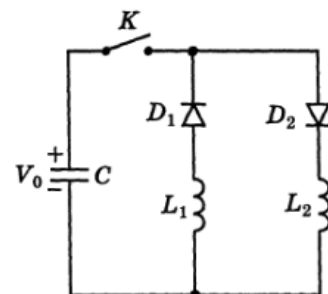
$$(1) \tau = \sqrt{LC} \sqrt{\frac{2}{3}}; \text{ см. конец листа}$$

ЗАДАЧА 14. (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.



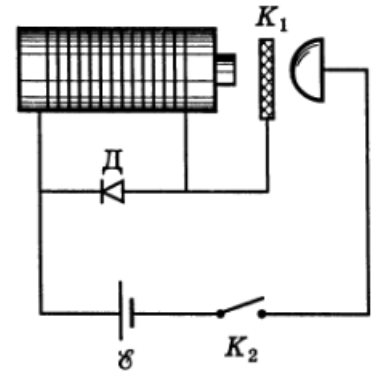
$$\tau = 3\pi\sqrt{LC} = 9,42 \text{ мс}; U_C = -0,3 \text{ В}; \text{ см. конец листа}$$

ЗАДАЧА 15. (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.



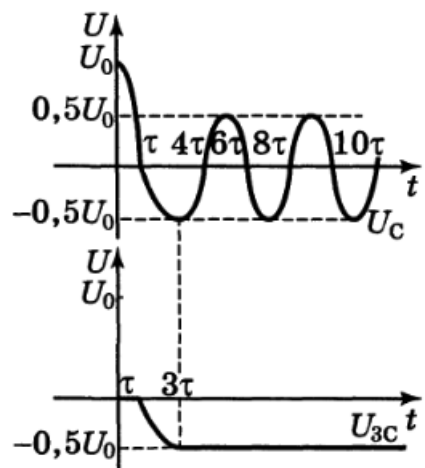
$$\left. \begin{aligned} & \left(\frac{\partial I}{\partial t} \right)_{t=0} = \frac{V_0}{L_2} \left(\frac{L_1}{L_1 + L_2} \right) \text{ если } \frac{\partial I}{\partial t} > 0 \\ & \left(\frac{\partial I}{\partial t} \right)_{t=0} = 0 \text{ если } \frac{\partial I}{\partial t} < 0 \end{aligned} \right\} = \frac{\partial I}{\partial t}$$

Задача 16. (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.



$$L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E} - IR$$

Ответ к задаче 13



Ответ к задаче 14

