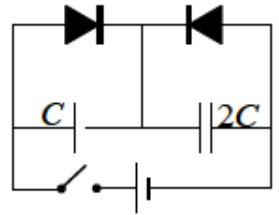


Диод и конденсаторы

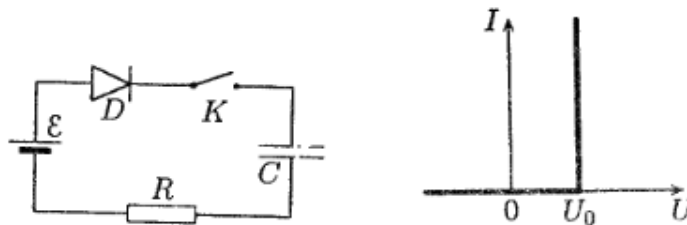
ЗАДАЧА 1. («Росатом», 2017, 11) Электрическая цепь составлена из источника ЭДС \mathcal{E} , двух диодов и двух первоначально незаряженных конденсаторов с ёмкостями C и $2C$ (см. рисунок). Ключ замыкают. Найти заряды конденсаторов q_C и q_{2C} после установления равновесия. Затем ключ размыкают, меняют полярность источника и снова замыкают ключ. Найти новые заряды конденсаторов q'_C и q'_{2C} . Диоды идеальны: их сопротивление электрическому току в направлении стрелки в обозначении диода на схеме равно нулю, в обратном направлении — бесконечности.



$$q_C = \frac{\mathcal{E}C}{4}, q_{2C} = \frac{\mathcal{E}C}{4}; q'_C = \frac{\mathcal{E}C}{4}, q'_{2C} = \frac{\mathcal{E}C}{4}$$

ЗАДАЧА 2. (МФТИ, 2000) В схеме, изображённой на левом рисунке, в начальный момент ключ K разомкнут, а конденсатор ёмкостью $C = 100$ мкФ не заряжен. Вольт-амперная характеристика диода D изображена на правом рисунке. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 6$ В, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В, сопротивление резистора $R = 1$ кОм.

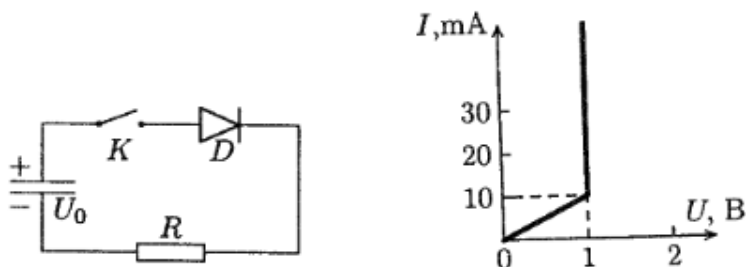
- 1) Чему равен ток в цепи сразу после замыкания ключа?
 - 2) Какой заряд протечёт через диод после замыкания ключа?
 - 3) Какое количество теплоты выделится на резисторе R после замыкания ключа?
- Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{6}{1000} = 6 \text{ мА}; q = C(\mathcal{E} - U_0) = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (6 - 1) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}; Q = I_0^2 R t = 36 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 3.6 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 2000) В схеме, изображённой на левом рисунке, конденсатор ёмкостью $C = 100 \text{ мкФ}$, заряженный до напряжения $U_0 = 5 \text{ В}$, подключается через диод D к резистору сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$. Вольт-амперная характеристика диода изображена на правом рисунке. В начальный момент ключ K разомкнут. Затем ключ замыкают.

- 1) Чему равен ток в цепи сразу после замыкания ключа?
- 2) Чему равно напряжение на конденсаторе, когда ток в цепи будет равен 10 мА ?
- 3) Какое количество теплоты выделится на диоде после замыкания ключа?

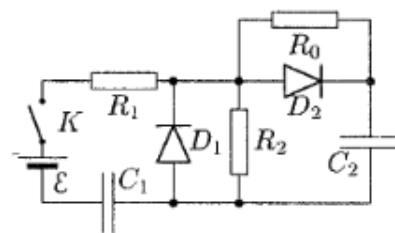


$$I = \begin{cases} 0 & U < 1 \\ 10(U - 1) & U \geq 1 \end{cases}$$

ЗАДАЧА 4. (МФТИ, 2001) В электрической цепи, представленной на рисунке, диоды D_1 и D_2 идеальные. Считая параметры элементов цепи известными, определить:

- 1) ток через батарею сразу после замыкания ключа K ;
- 2) количество теплоты, выделившееся в схеме после замыкания ключа K .

Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

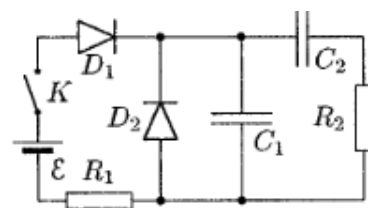


$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2001) В электрической цепи, представленной на рисунке, диоды D_1 и D_2 идеальные. Известные параметры элементов электрической цепи указаны на рисунке.

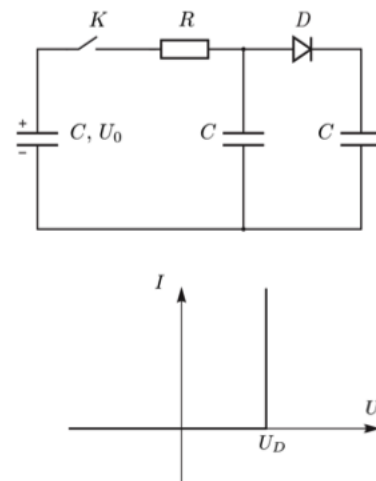
- 1) Определить ЭДС батареи, если ток через неё сразу после замыкания ключа K равен I_0 .
- 2) Определить количество теплоты, выделившееся в схеме после замыкания ключа K .

Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\varepsilon = I_0(R_1 + R_2)$$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 2015, РЭ, 11) Три одинаковых конденсатора ёмкостью C , резистор сопротивлением R и диод включены в схему, представленную на верхнем рисунке. Вольт-амперная характеристика диода представлена на нижнем рисунке. Первоначально левый (на рисунке) конденсатор заряжен до напряжения U_0 , при этом заряд верхней пластины — положительный. Два других конденсатора не заряжены, ключ разомкнут. Затем ключ замыкают.

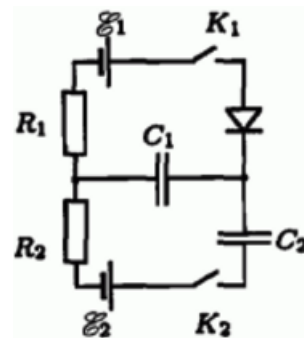


Определите:

1. напряжение на конденсаторах через большой промежуток времени после замыкания ключа;
2. тепло, которое выделится в схеме к этому моменту времени;
3. тепло, выделившееся к этому моменту на диоде;
4. тепло, выделившееся к этому моменту на резисторе.

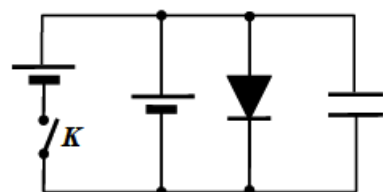
См. конспект

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 2002, финал, 10) В цепи (рис.) батарейки и диод идеальные. Ключи разомкнуты, конденсаторы разряжены. Сначала замыкают ключ K_1 . После завершения переходных процессов в цепи замыкают ключ K_2 . Найдите теплоты Q_1 и Q_2 , выделившиеся на резисторах R_1 и R_2 с момента замыкания ключа K_1 . Известно, что $\mathcal{E}_2 = 2\mathcal{E}_1 = 2\mathcal{E}$, $C_1 = C_2 = C$. Заданы только величины C и \mathcal{E} .



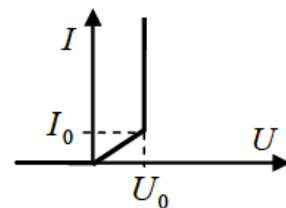
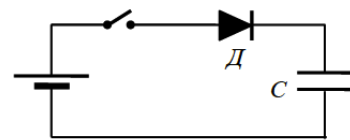
$$\frac{v}{\tau \mathcal{E} C} = \tau \mathcal{E} ; \frac{\tau}{\tau \mathcal{E} C} = \tau \mathcal{E}$$

ЗАДАЧА 8. («Покори Воробьёвы горы!», 2017, 10–11) В схеме, показанной на рисунке, оба источника одинаковы. Диод существенно отличается от идеального: его вольт-амперная характеристика (связь протекающего тока с напряжением) в открытом состоянии описывается выражением $I(U) = I_0 \left(\frac{U}{\mathcal{E}}\right)^2$, где I_0 — ток короткого замыкания каждого из источников, а \mathcal{E} — величина ЭДС. Пока ключ K разомкнут, конденсатор заряжен до заряда q_1 . Какой заряд будет на конденсаторе в установившемся режиме после замыкания ключа?



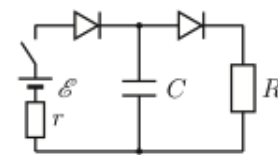
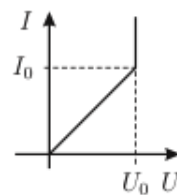
$$I_0 \frac{1-\mathcal{E}^\wedge}{(1-\mathcal{E}^\wedge)^2} = \tau b$$

Задача 9. («Покори Воробьёвы горы!», 2015, 10–11) В схеме, показанной на рисунке сверху, диод D не является идеальным — его вольтамперная характеристика показана на рисунке снизу. Перед сборкой схемы конденсатор ёмкости $C = 20$ мкФ был разряжен. После замыкания ключа он заряжается от источника с ЭДС $\mathcal{E} = 24$ В. Какое количество тепла выделится в схеме в процессе зарядки? Какая часть этого тепла (в процентах) выделится в диоде? Пороговое напряжение диода U_0 в $n = 10$ раз меньше ЭДС источника, величина I_0 в $k = 5$ раз меньше тока короткого замыкания источника.



$$\Delta Q = \int_{U_0}^{\mathcal{E}} I dU = \int_{U_0}^{\mathcal{E}} \frac{U - U_0}{U_0 - I_0} dU = \frac{1}{2} (\mathcal{E} - U_0) I_0 = \frac{1}{2} \mathcal{E} I_0 \left(1 - \frac{U_0}{\mathcal{E}}\right)$$

Задача 10. (МОШ, 2006, 11) Два одинаковых неидеальных диода с вольтамперной характеристикой, приведённой на графике, включены вместе с конденсатором, двумя резисторами, идеальной батареей и ключом в электрическую цепь, изображённую на рисунке. Сопротивления резисторов $R = 16$ Ом, $r = 4$ Ом, ЭДС батарейки $\mathcal{E} = 4$ В, электрическая ёмкость конденсатора $C = 100$ мкФ, параметры вольтамперной характеристики диода: $U_0 = 1$ В, $I_0 = 50$ мА.



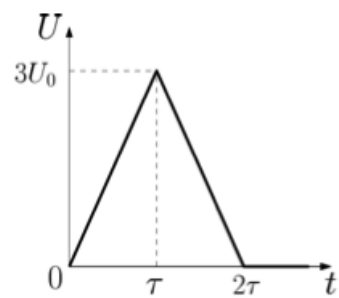
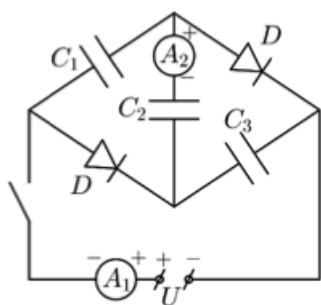
- Ключ в цепи замкнули. До какого напряжения зарядится конденсатор?
- После зарядки конденсатора ключ разомкнули. Какое количество теплоты выделится при разрядке конденсатора на резисторе R ? А на каждом из диодов?

См. конец листка

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2017, финал, 10) Электрическая цепь (рисунок слева) составлена из трёх одинаковых конденсаторов ёмкостью $C_1 = C_2 = C_3 = C$, двух одинаковых диодов, двух идеальных амперметров, ключа и регулируемого источника напряжения. Зависимость силы тока через диод от напряжения на нём представлена на рисунке в центре.

1) Пусть напряжение источника постоянно и равно $3U_0$. Сколько теплоты выделится в цепи при замыкании ключа K ?

2) Пусть напряжение источника зависит от времени $U = U(t)$ так, как показано на рисунке справа. Ключ K постоянно замкнут. Определите зависимости от времени $I_1(t)$ и $I_2(t)$ показаний амперметров A_1 и A_2 . Нарисуйте графики зависимости $I_1(t)$ и $I_2(t)$ с указанием значений характерных точек на графике. Полярность источника и полярность подключения амперметров указаны на рисунке слева. Во всех случаях в начальный момент времени конденсаторы не заряжены.



$$I_1(t) = \begin{cases} \frac{3U(t)}{2C} & 0 \leq t < \tau \\ 0 & \tau \leq t < 2\tau \\ \frac{3U(t)}{2C} & 2\tau \leq t \leq 3\tau \end{cases}$$

Ответ к задаче 6

Если $U_0 \leq 2U_D$, то:

1. $U_1 = U_2 = U_0/2$, $U_3 = 0$ (конденсаторы нумеруются слева направо);
2. $Q = \frac{1}{4}CU_0^2$;
3. $Q_D = 0$;
4. $Q_R = Q$.

Если $U_0 > 2U_D$, то:

1. $U_1 = U_2 = \frac{U_0+U_D}{3}$, $U_3 = \frac{U_0-2U_D}{3}$;
2. $Q = \frac{1}{3}C(U_0^2 - U_D^2)$;
3. $Q_D = \frac{1}{3}CU_D(U_0 - 2U_D)$;
4. $Q_R = \frac{1}{3}C(U_0^2 - U_0U_D + U_D^2)$.

Ответ к задаче 10

а) $U_C = \frac{rU_0 + R(\mathcal{E} - U_0)}{r + R} = 2,6 \text{ В};$

б) $Q_R = \frac{1}{2}CR^2 \left(\left(\frac{\mathcal{E} - 2U_0}{r + R} \right)^2 + \frac{U_0 I_0}{R} \right) = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ Дж},$

на левом диоде тепло не выделяется,

на правом диоде: $Q = \frac{1}{2}CU_0R \left(\frac{(2\mathcal{E} - 3U_0)R + U_0r}{R(r + R)} - I_0 \right) = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}.$

Ответ к задаче 11

