

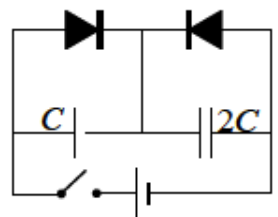
# Диод и конденсаторы

## Содержание

1	Идеальный диод	1
2	Неидеальный диод	2

### 1 Идеальный диод

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.

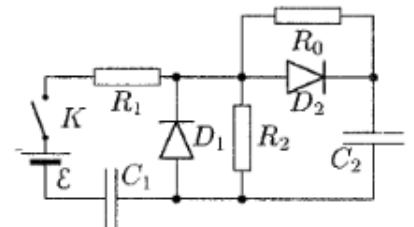


$$q_C = \frac{\mathcal{E}C}{2}, q_{2C} = \frac{\mathcal{E}C}{4}; q'_C = \frac{\mathcal{E}C}{2}, q'_{2C} = \frac{\mathcal{E}C}{4}$$

ЗАДАЧА 2. (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.

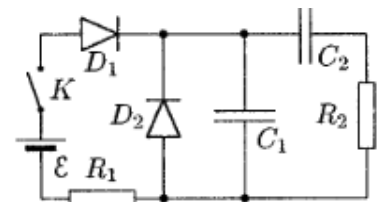


$$\frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2} = I \quad (\mathcal{E} = I R_1)$$

ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 2001) В электрической цепи, представленной на рисунке, диоды  $D_1$  и  $D_2$  идеальные. Известные параметры элементов электрической цепи указаны на рисунке.

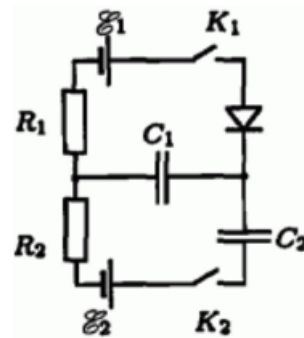
- 1) Определить ЭДС батареи, если ток через неё сразу после замыкания ключа  $K$  равен  $I_0$ .
- 2) Определить количество теплоты, выделившееся в схеме после замыкания ключа  $K$ .

Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2} = I_0 \quad (\mathcal{E} = I_0 R_1)$$

ЗАДАЧА 4. (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  $\mathcal{E}$ .



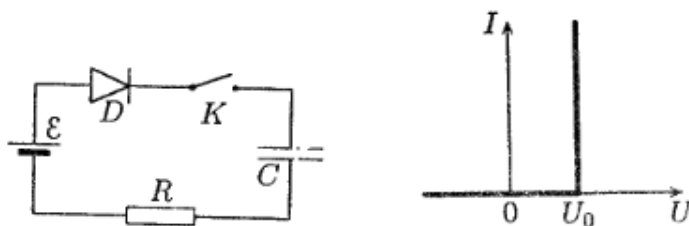
$$\frac{R}{\tau \mathcal{E} C} = \tau \mathcal{E} ; \frac{C}{\tau \mathcal{E} C} = 1 \mathcal{E}$$

## 2 Неидеальный диод

ЗАДАЧА 5. (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?

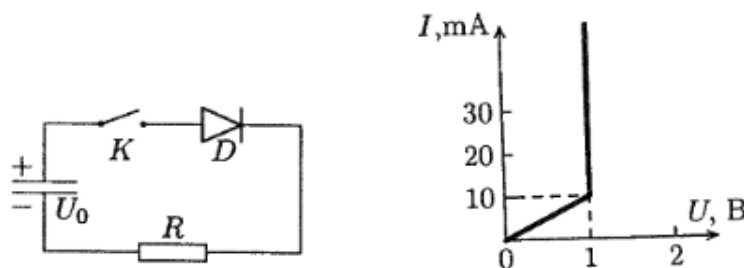
Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$I_0 = \frac{\mathcal{E} - U_0}{R} = \frac{6 - 1}{1000} = 5 \text{ mA}; \quad Q = C(U - U_0) = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}; \quad Q_{\text{теп}} = I_0^2 R t = 5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4} = 2.5 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$$

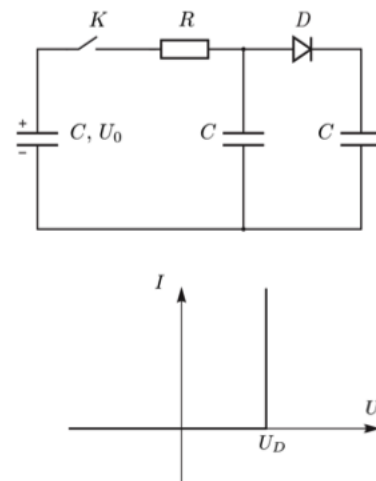
ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2000) В схеме, изображённой на левом рисунке, конденсатор ёмкостью  $C = 100$  мкФ, заряженный до напряжения  $U_0 = 5$  В, подключается через диод  $D$  к резистору сопротивлением  $R = 100$  Ом. Вольт-амперная характеристика диода изображена на правом рисунке. В начальный момент ключ  $K$  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?



$$I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{5}{100} = 50 \text{ mA}; \quad Q_{\text{теп}} = I_0^2 R t = 50^2 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 2.5 \text{ Дж}; \quad Q_{\text{теп}} = I_0^2 R t = 50^2 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 2.5 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 7. (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.

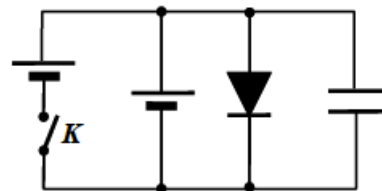


Определите:

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.

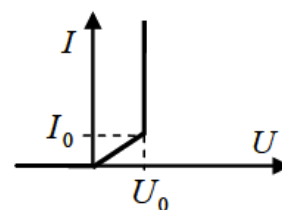
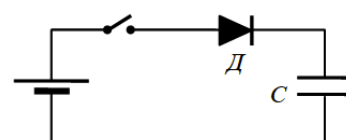
См. конспект

ЗАДАЧА 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?



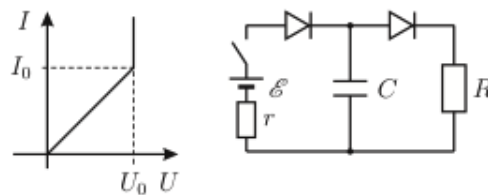
$$I_0 \frac{1 - \xi^2}{(1 - \xi^2)^2} = \tau b$$

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.



$$\% \Delta I = \frac{\partial I}{\partial U} \cdot \frac{U}{I} = \frac{\partial}{\partial U} \left( \frac{\tau}{2} \frac{U - U_0}{\mathcal{E}} \right) \cdot \frac{U}{I} = \frac{\tau}{2} \frac{U - U_0}{\mathcal{E}^2} \cdot \frac{U}{I} = \frac{\tau}{2} \frac{U - U_0}{\mathcal{E}^2} \cdot \frac{U}{\frac{\tau}{2} \frac{U - U_0}{\mathcal{E}}} = \frac{U}{\mathcal{E}}$$

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  $R = 16 \text{ Ом}$ ,  $r = 4 \text{ Ом}$ , ЭДС батарейки  $\mathcal{E} = 4 \text{ В}$ , электрическая ёмкость конденсатора  $C = 100 \text{ мкФ}$ , параметры вольтамперной характеристики диода:  $U_0 = 1 \text{ В}$ ,  $I_0 = 50 \text{ мА}$ .

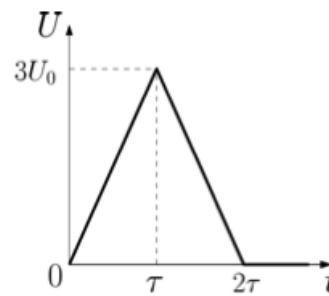
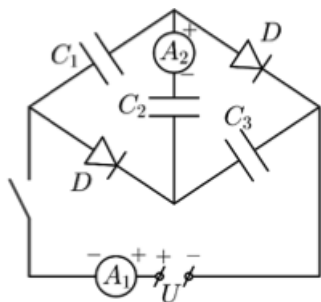


- а) Ключ в цепи замкнули. До какого напряжения зарядится конденсатор?
- б) После зарядки конденсатора ключ разомкнули. Какое количество теплоты выделится при разрядке конденсатора на резисторе  $R$ ? А на каждом из диодов?

См. конспект

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.

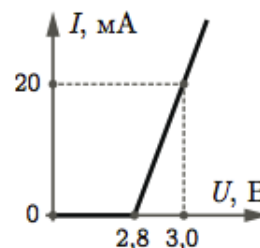
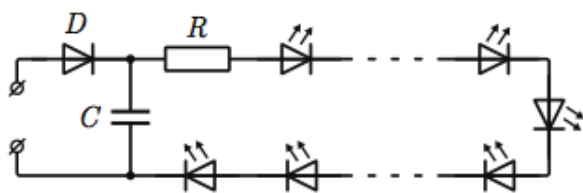
- 1) Пусть напряжение источника постоянно и равно  $3U_0$ . Сколько теплоты выделится в цепи при замыкании ключа  $K$ ?
- 2) Пусть напряжение источника зависит от времени  $U = U(t)$  так, как показано на рисунке справа. Ключ  $K$  постоянно замкнут. Определите зависимости от времени  $I_1(t)$  и  $I_2(t)$  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.



См. конспект (1)  $\tau = \frac{2}{12} C U_0^2 = \frac{1}{6} C U_0^2$

Задача 12. (МОШ, 2019, 11) По схеме, показанной на рисунке, решили изготовить светодиодный светильник, работающий от сети переменного напряжения ( $\nu = 50$  Гц,  $U = 230$  В,  $U_{\max} = 325$  В). Диод  $D$  можно считать идеальным. Всего используется 60 одинаковых светодиодов. Вольт-амперная характеристика одного светодиода показана на рис. Ток через светодиод не должен превышать 20 мА. Имеются резисторы и конденсаторы с номиналами, указанными в таблице.  $W$  — максимально допустимая мощность, выделяющаяся в резисторе, при работе в штатном режиме.  $U$  — максимальное напряжение, которое выдерживает конденсатор без повреждения.

№	1	2	3	4	5	6	7
$R, \text{кОм}; W, \text{Вт}$	0,91; 5	1,2; 5	7,5; 2	4,7; 5	6,8; 1	8,2; 5	75; 2
$C, \text{мкФ}; U, \text{В}$	0,1; 450	100; 250	20; 350	15; 350	4,7; 300	10; 350	6,8; 300



Желательно, чтобы при работе светильника максимальное отклонение тока через светодиод от среднего значения составляло не более 5%, при этом световой поток был бы максимальным. Выберите подходящие резистор и конденсатор из указанных в таблице. Если подходящих элементов несколько — укажите номера всех.

С.М. КОНЕЦ ЛИСТКА

### Ответ к задаче 7

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

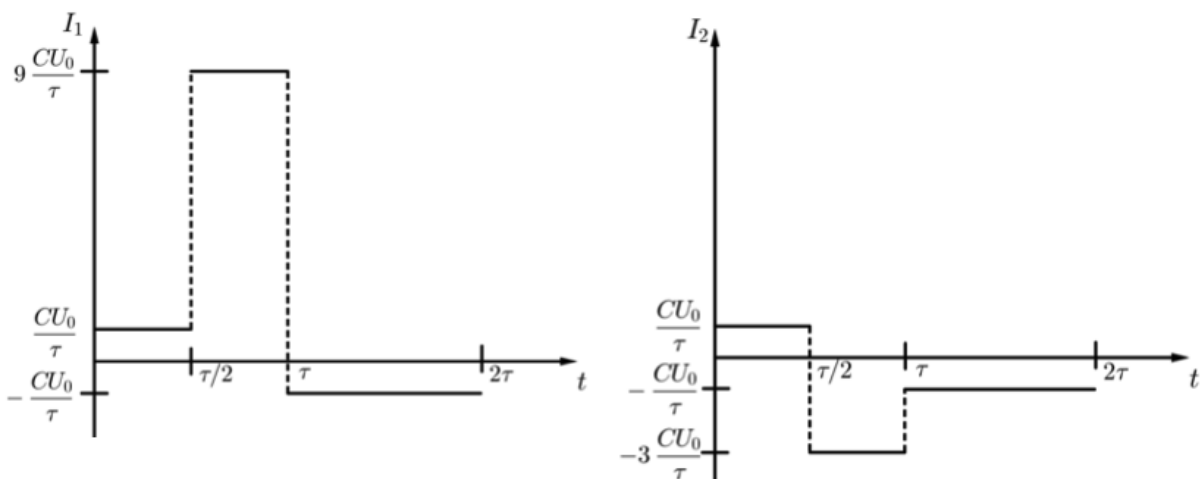
а)  $U_C = \frac{rU_0 + R(\mathcal{E} - U_0)}{r + R} = 2,6 \text{ В};$

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



### Ответ к задаче 12

Подходит резистор с сопротивлением 8,2 кОм, рассчитанный на 5 Вт; лучший выбор — конденсатор емкостью 20 мкФ, но конденсаторы емкостью 10 мкФ и 15 мкФ тоже подходят.