

Переходные процессы в RC-цепях

Содержание

1	МФТИ и «Физтех»	4
2	«Курчатов»	11
3	«Покори Воробьёвы горы!»	11
4	Всероссийская олимпиада школьников по физике	11
5	Московская олимпиада школьников по физике	17

В данной листовке рассматриваются задачи на расчёт количества теплоты, которое выделяется в цепях, состоящих из резисторов и конденсаторов. При решении задач необходимо помнить следующее.

1. Заряженный конденсатор ёмкостью C обладает энергией

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где U — напряжение на конденсаторе, q — заряд конденсатора.

2. Если через источник тока с ЭДС \mathcal{E} проходит заряд q , то сторонние силы источника совершают работу

$$A_{\text{ист}} = q\mathcal{E}.$$

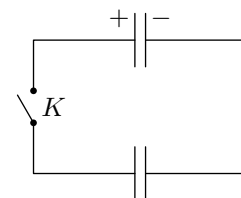
Эта работа называется *работой источника*.

3. Работа источника идёт на изменение энергии конденсаторов, включённых в цепь, а также превращается в тепло, выделяющееся на резисторах цепи:

$$A_{\text{ист}} = \Delta W + Q.$$

Обычно предполагается, что сопротивления резисторов достаточно велики, так что токи после замыкания ключа возрастают достаточно медленно и поэтому потерями на излучение можно пренебречь¹ (в противном случае см. задачу 1).

ЗАДАЧА 1. Конденсатор ёмкостью C , заряд которого равен q , соединён через разомкнутый ключ K с таким же незаряженным конденсатором (см. рисунок). Ключ замыкают. Найдите суммарную энергию конденсаторов после установления равновесия. Куда «исчезла» половина начальной энергии?



$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} = M$$

¹Если заряженная частица движется с ускорением, то она излучает электромагнитные волны. Эти волны уносят тем больше энергии, чем больше ускорение частицы.

ЗАДАЧА 2. Разности потенциалов на конденсаторах ёмкостями C_1 и C_2 равны U_1 и U_2 . Конденсаторы через резистор соединяют между собой. Найдите энергию, которая выделится при перезарядке конденсаторов в двух случаях:

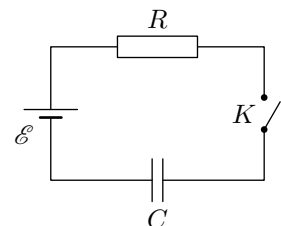
- а) соединены одноимённо заряженные пластины;
- б) соединены разноимённо заряженные пластины.

$$\frac{\varepsilon_0 + 1 \varrho}{\varepsilon(\varepsilon n + 1 n) \varepsilon_0 \varrho} = \vartheta \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon_0 + 1 \varrho}{\varepsilon(\varepsilon n - 1 n) \varepsilon_0 \varrho} = \vartheta \quad (\text{в})$$

ЗАДАЧА 3. Плоский воздушный конденсатор заполнили жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε и зарядили, сообщив ему энергию W . Затем конденсатор отсоединили от источника, слили диэлектрик и разрядили. Какая энергия выделилась при разрядке?

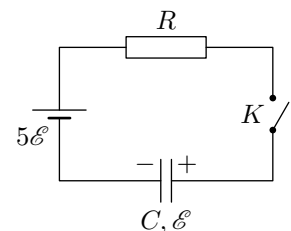
$$M^3 = \vartheta$$

ЗАДАЧА 4. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} , резистор с большим сопротивлением R и конденсатор ёмкостью C подключены последовательно друг с другом через ключ K (см. рисунок). Вначале ключ разомкнут и конденсатор не заряжен. Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи после замыкания ключа в процессе зарядки конденсатора.



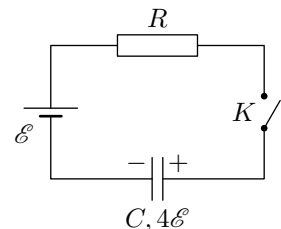
$$\frac{\tau}{\tau \mathcal{E} C} = \vartheta$$

ЗАДАЧА 5. Конденсатор ёмкостью C , заряженный до напряжения \mathcal{E} , подключается через резистор с большим сопротивлением R к батарее с ЭДС $5\mathcal{E}$ (см. рисунок). Определите количество теплоты, которое выделится в цепи при зарядке конденсатора до напряжения $5\mathcal{E}$.



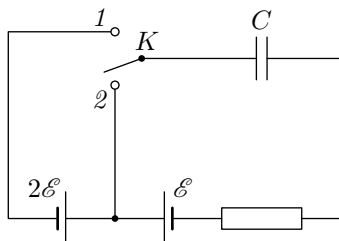
$$\tau \mathcal{E} C 8 = \vartheta$$

ЗАДАЧА 6. Конденсатор ёмкостью C , заряженный до напряжения $4\mathcal{E}$, разряжается через резистор с большим сопротивлением R и батарею с ЭДС \mathcal{E} (см. рисунок). Найдите количество теплоты, выделившейся при разрядке конденсатора.



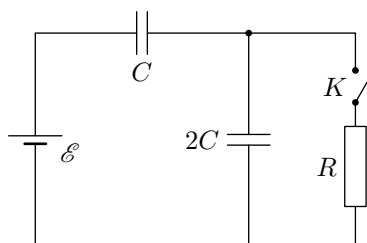
$$\frac{\tau}{\tau \mathcal{E} C 6} = \vartheta$$

ЗАДАЧА 7. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



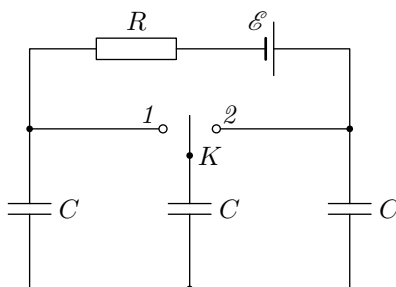
$$\tau \mathcal{E} C 7 = \vartheta$$

ЗАДАЧА 8. Какое количество теплоты выделится на резисторе R после замыкания ключа K (см. рисунок)? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



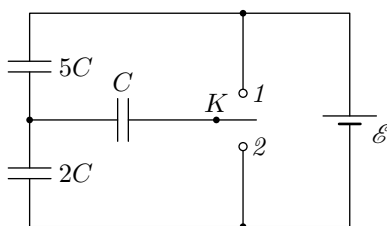
$$\frac{9}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 9. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



$$\frac{\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 10. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



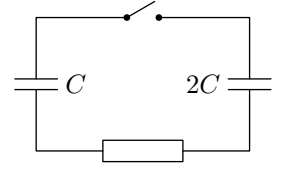
$$\frac{9\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 11. Между обкладками плоского конденсатора расположена диэлектрическая пластина ($\varepsilon = 3$), заполняющая весь объём конденсатора. Конденсатор через последовательно соединённый резистор подключён к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В. Пластину быстро удаляют так, что заряд на конденсаторе не успевает измениться. Какая энергия выделится после этого в цепи в виде теплоты? Ёмкость незаполненного конденсатора $C_0 = 100$ мкФ.

$$\frac{9\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

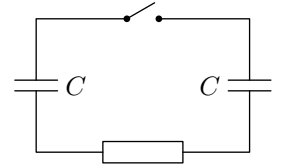
1 МФТИ и «Физтех»

ЗАДАЧА 12. («Физтех», 2008) В цепи, показанной на рисунке, ёмкости конденсаторов равны C и $2C$. Конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 , конденсатор ёмкостью $2C$ не заряжен. Какое количество теплоты выделится в резисторе после замыкания ключа?



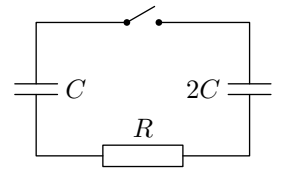
$$\frac{\varepsilon}{\rho \Omega \mathcal{D}} = \partial$$

ЗАДАЧА 13. («Физтех», 2008) В цепи, показанной на рисунке, ёмкость каждого конденсатора равна C . Левый конденсатор заряжен до напряжения U_0 , а правый — до напряжения $3U_0$. У обоих конденсаторов положительный заряд находится на верхней обкладке. Найдите U_0 , если известно, что в резисторе после замыкания ключа выделилось количество теплоты Q .



$$\frac{\partial}{\partial} \Lambda = {}^0 \Omega$$

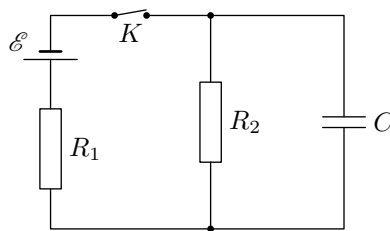
ЗАДАЧА 14. («Физтех», 2009) В цепи, показанной на рисунке, конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 , а конденсатор ёмкостью $2C$ — до напряжения $3U_0$. Одноимённо заряженные обкладки соединены резистором с сопротивлением R . Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают.



- 1) Найдите ток в цепи сразу после замыкания ключа.
- 2) Какое количество теплоты выделилось в цепи, если в момент размыкания ключа ток в цепи был в два раза меньше начального?

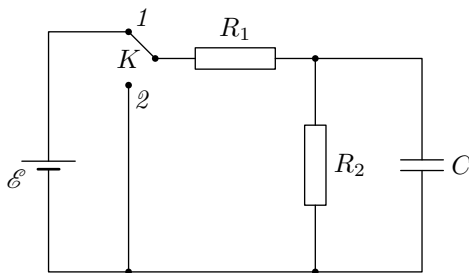
$$\frac{\rho \Omega \mathcal{D}}{\tau} = \partial \left(\tau : \frac{\mathcal{H}}{\rho \Omega \varepsilon} = {}^0 \Gamma \right)$$

ЗАДАЧА 15. (МФТИ, 1995) Какое количество теплоты выделится в схеме (см. рисунок) после размыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\left(\frac{\tau \mathcal{H} + \Gamma \mathcal{H}}{\tau} \right) \frac{\varepsilon}{\rho \Omega \mathcal{D}} = \partial$$

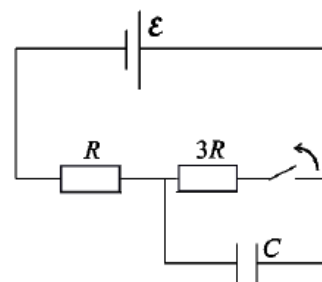
ЗАДАЧА 16. (МФТИ, 1995) Какое количество теплоты выделится на резисторе R_2 в схеме, изображённой на рисунке, после перемещения ключа K из положения 1 в положение 2? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\frac{\mathcal{E}(\tau R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \tau \mathcal{Q} = \vartheta$$

ЗАДАЧА 17. («Физтех», 2016, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны, ключ замкнут, режим установился.

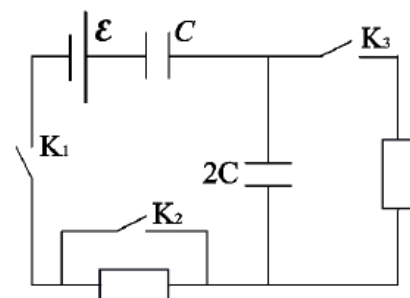
- 1) Найти напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 2) Найти ток через источник сразу после размыкания ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



$$\tau \mathcal{Q} \frac{\mathcal{E}}{I} = \vartheta \quad (\mathcal{E} : \frac{R}{\rho} = I \quad \tau : \frac{R}{\mathcal{E}} = \Omega \quad I)$$

ЗАДАЧА 18. («Физтех», 2016, 11) В электрической цепи (см. рисунок) все элементы идеальные, их параметры указаны, ключи разомкнуты, конденсаторы не заряжены. Сначала замыкают ключ K_1 . После установления режима в цепи замыкают ключ K_2 . Затем замыкают ключ K_3 и размыкают его, когда напряжение на конденсаторе C становится в 4 раза больше напряжения на конденсаторе $2C$.

- 1) Найти отношение зарядов на конденсаторе $2C$ после размыкания K_3 и перед замыканием K_3 .
- 2) Найти количество теплоты, которое выделится в цепи при замкнутом ключе K_3 .



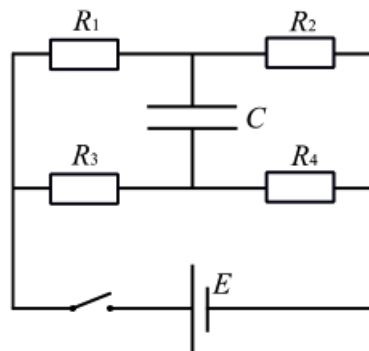
$$\tau \mathcal{Q} \frac{\mathcal{E}}{I} = \vartheta \quad (\tau : \mathcal{E} / \mathcal{E} \quad I)$$

ЗАДАЧА 19. («Физтех», 2017, 11) В цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы можно считать идеальными, ЭДС батареи E , сопротивления резисторов $R_1 = r$, $R_2 = 4r$, $R_3 = 3r$, $R_4 = 2r$. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают, а затем через большой промежуток времени ключ размыкают.

1) Найти напряжение U на конденсаторе в установившемся режиме при замкнутом ключе.

2) Найти количество Q теплоты, выделившейся на резисторе R_1 после размыкания ключа.

3) Найти ток I_0 , текущий через конденсатор сразу после замыкания ключа.



$$\frac{U_C}{E} = 0,1 \quad (\varepsilon; z; \mathcal{E} C \frac{0,9z}{3} = \partial \quad (z; \mathcal{E} \frac{9}{2} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 20. (МФТИ, 1995) Батарея с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r включена через ключ K в схему, параметры которой указаны на рисунке. В начальный момент времени ключ K разомкнут, конденсаторы не заряжены. Ключ замыкают.

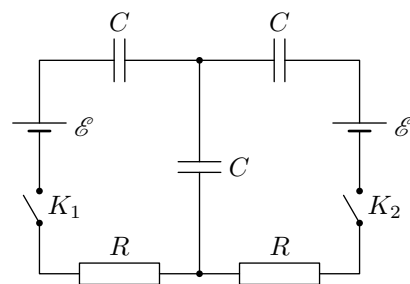
- 1) Определить начальный ток через батарею.
- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключа?

$$z \mathcal{E} C + z C + 1 C \frac{\mathcal{E}}{1} = \partial \quad (z; \frac{1}{\mathcal{E}} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 21. (МФТИ, 1995) Две батареи с ЭДС \mathcal{E} каждая включены в схему, параметры которой указаны на рисунке. В начальный момент ключи K_1 и K_2 разомкнуты, конденсаторы не заряжены. Ключи одновременно замыкают.

- 1) Найти начальный ток через батарею.
- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключей?

Внутренним сопротивлением батарей пренебречь.

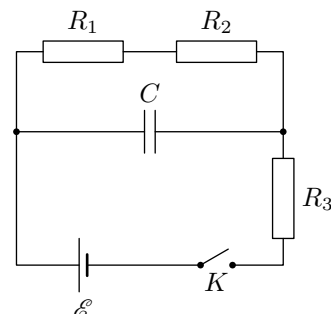


$$z \mathcal{E} C \frac{\mathcal{E}}{1} = \partial \quad (z; \frac{1}{\mathcal{E}} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 22. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут.

- 1) Какое количество тепла выделится в цепи после размыкания ключа?
- 2) Какое количество тепла выделится на резисторах R_1 , R_2 и R_3 ?

Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , ёмкость конденсатора C и ЭДС батареи \mathcal{E} считать заданными. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



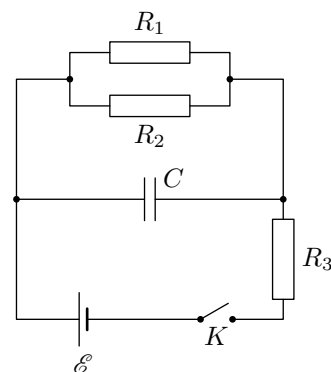
$$0 = \varepsilon \partial, \quad z \frac{(\varepsilon R_1 + z R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = z \partial, \quad z \frac{(\varepsilon R_1 + R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = 1 \partial \quad (z; \frac{z(\varepsilon R_1 + R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = \partial) \quad (1)$$

Задача 23. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут. После размыкания ключа на резисторе R_1 выделяется тепло Q_1 .

- 1) Какое количество тепла выделится на резисторе R_2 ?
- 2) Чему равна ЭДС батареи \mathcal{E} ?

Сопротивления R_1, R_2, R_3 и ёмкость конденсатора C известны.

$$\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H + 1_H} \frac{Q}{1 \partial z} \wedge \frac{\varepsilon_H 1_H}{\varepsilon_H \varepsilon_H + \varepsilon_H 1_H + \varepsilon_H 1_H} = \mathcal{E} \quad (\varepsilon : \frac{\varepsilon_H}{1_H} 1 \partial = \varepsilon \partial \quad (1$$

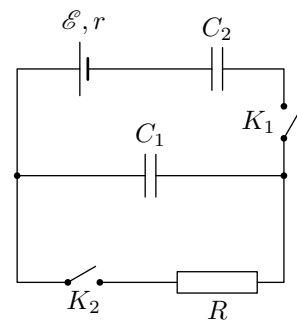


Задача 24. (МФТИ, 1999) В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутых ключах K_1 и K_2 конденсаторы с ёмкостями C_1 и C_2 не заряжены. ЭДС батареи \mathcal{E} , внутреннее сопротивление — r . Сначала замыкают ключ K_1 , а после установления стационарного состояния в схеме замыкают ключ K_2 .

- 1) Чему равен ток через батарею сразу после замыкания ключа K_1 ?

- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключа K_2 ?

$$\frac{(\varepsilon \partial + 1 \partial) \varepsilon}{\varepsilon \mathcal{E} \varepsilon \partial} = \partial \quad (\varepsilon : \frac{\varepsilon}{\mathcal{E}} = 0 \Gamma \quad (1$$

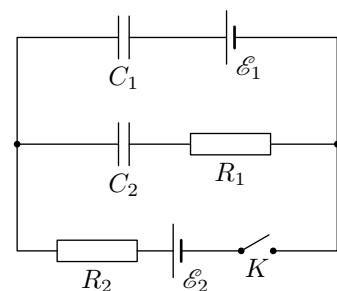


Задача 25. (МФТИ, 2003) В электрической схеме, представленной на рисунке, ключ K разомкнут. ЭДС батарей равны \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Ёмкости конденсаторов — $C_1 = C_2 = C$.

- 1) Найти заряд, протекший через батарею с ЭДС \mathcal{E}_2 после замыкания ключа K .

- 2) Какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа K ?

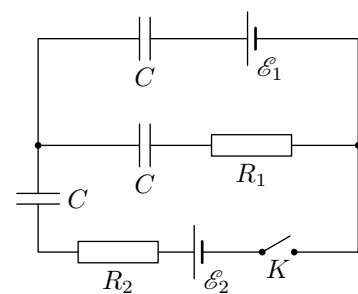
$$\varepsilon (1 \mathcal{E} - \varepsilon \mathcal{E} \varepsilon) \partial \frac{\varepsilon}{1} = \partial \quad (\varepsilon : (1 \mathcal{E} - \varepsilon \mathcal{E} \varepsilon) \partial = b \quad (1$$



Задача 26. (МФТИ, 2003) В электрической схеме, представленной на рисунке, ключ K разомкнут. ЭДС батарей связаны условием $\mathcal{E}_1 \neq 2\mathcal{E}_2$. После замыкания ключа K батарея с ЭДС \mathcal{E}_1 совершила работу A .

- 1) Найти ёмкости конденсаторов C .
- 2) Найти работу батареи с ЭДС \mathcal{E}_2 после замыкания ключа K .

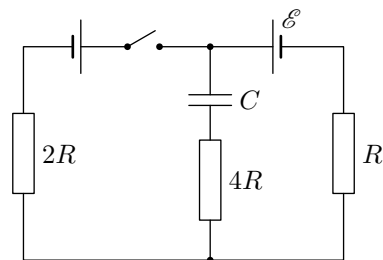
$$\frac{1 \mathcal{E}}{\varepsilon} \varepsilon \varepsilon = A \quad (\varepsilon : \frac{(\varepsilon \mathcal{E} \varepsilon - 1 \mathcal{E}) 1 \mathcal{E}}{6} = \partial \quad (1$$



Задача 27. («Физтех», 2013) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, известные параметры элементов указаны на рисунке, неизвестная ЭДС больше \mathcal{E} . Ключ замыкают и ждут установления стационарного режима. Затем ключ размыкают, после чего в схеме выделяется количество теплоты, равное $\frac{1}{72}C\mathcal{E}^2$.

1) Какое количество теплоты выделилось в резисторе $4R$ после размыкания ключа?

2) Найдите силу тока, протекавшего в схеме в стационарном режиме.

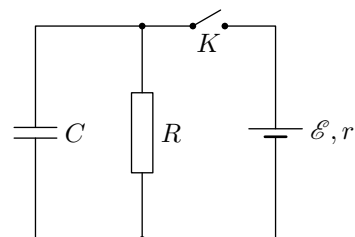


$$\frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} = I \left(r + \frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} \right) = \mathcal{E} \frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} \quad (1)$$

Задача 28. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из батарейки с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора сопротивлением $R = 4r$ (см. рисунок). Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают. После размыкания ключа в схеме выделилось количество теплоты Q .

1) Найдите ток, текущий через источник непосредственно перед размыканием ключа.

2) Найдите ток, текущий через конденсатор в этот же момент.

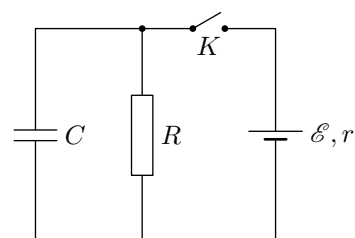


$$\frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} \Big|_{\mathcal{E}=\mathcal{E}_0} - \frac{Q}{\mathcal{E}_0} = \mathcal{E}_0 I \left(r + \frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} \Big|_{\mathcal{E}=\mathcal{E}_0} - \frac{Q}{\mathcal{E}_0} \right) = \mathcal{E}_0 I \quad (1)$$

Задача 29. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из батарейки с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора сопротивлением $R = 5r$ (см. рисунок). Ключ K замыкают, а затем размыкают в момент, когда токи через конденсатор и резистор сравниваются по величине.

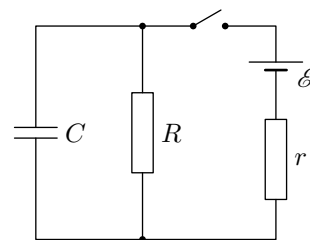
1) Какую мгновенную мощность развивает источник непосредственно перед размыканием ключа?

2) Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?



$$\mathcal{E} \frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} = \mathcal{E} \left(r + \frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} \right) = \mathcal{E} I \quad (1)$$

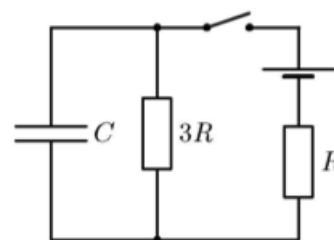
Задача 30. («Физтех», 2011) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. Оказалось, что величина тока через конденсатор непосредственно перед размыканием ключа в три раза больше, чем сразу после размыкания.



- 1) Найдите ток через конденсатор сразу после замыкания ключа.
- 2) Найдите напряжение на конденсаторе сразу после размыкания ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделилось в цепи после размыкания ключа?

$$\left(\frac{4\epsilon + R}{R}\right) \frac{\epsilon}{C} = \epsilon \left(\frac{4\epsilon + R}{R} = 0\right) \left(\tau : \frac{\epsilon}{R} = 0\right) I$$

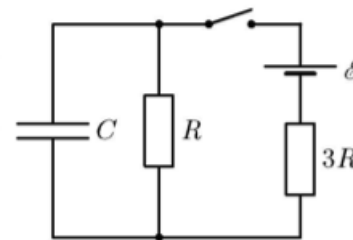
Задача 31. («Физтех», 2015, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. Сразу после замыкания ключа ток через конденсатор равен I_0 . Сразу после размыкания ключа ток через конденсатор равен $I_0/5$.



- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи после размыкания ключа.
- 3) Найдите ток, текущий через источник непосредственно перед размыканием ключа.

$$0I \frac{\epsilon}{C} = I \left(\epsilon : \tau \frac{0}{R} I C \frac{0\epsilon}{R} = \epsilon\right) \left(\tau : \tau \frac{0}{R} = \epsilon\right) I$$

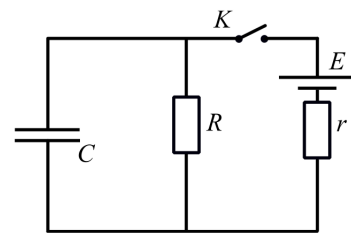
Задача 32. («Физтех», 2015, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через резистор R протёк заряд q_0 . После размыкания ключа через тот же резистор протёк заряд $q_0/2$.



- 1) Найдите ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи после размыкания ключа.
- 3) Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи при замкнутом ключе.

$$\frac{0\epsilon}{0\epsilon} - \epsilon \frac{0\epsilon}{R} = \tau \epsilon \left(\epsilon : \frac{0\epsilon}{R} = \tau\right) \left(\tau : \frac{\epsilon}{R} = 0\right) I$$

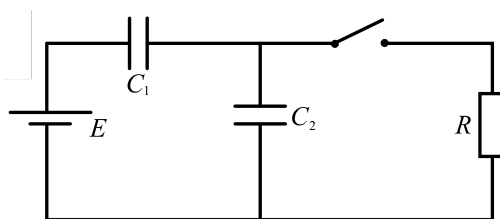
ЗАДАЧА 33. («Физтех», 2020, 11) В электрической цепи (см. рис.) все элементы идеальные, конденсатор не заряжен. Величины E , R , C известны, $r = R$. Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают, когда скорость роста энергии конденсатора максимальна.



1. Найти ток, текущий через конденсатор, сразу после замыкания ключа.
2. Найти ток, текущий через конденсатор, сразу после размыкания ключа.
3. Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

$$\frac{E}{R} \left(\frac{R}{E} \left(\frac{R}{E} \right) \right)$$

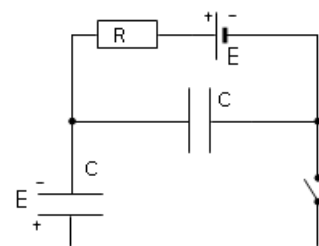
ЗАДАЧА 34. («Физтех», 2021, 11) Цепь собрана из предварительно незаряженных конденсаторов. Ключ разомкнут, режим установился (см. рис.). Параметры цепи указаны на схеме, причём $C_2 = C$, $C_1 = 2C$, источник идеальный. Ключ замыкают.



1. Найти ток через резистор сразу после замыкания ключа.
2. Какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа?
3. Найти ток в резисторе после замыкания ключа в момент, когда ток через C_1 равен I_0 .

$$I_0 \frac{E}{R} = I \left(\frac{E}{R} \right) \left(\frac{E}{R} \right) = \frac{E^2}{R^2} \left(\frac{E}{R} \right) = \frac{E^3}{R^3} \left(\frac{E}{R} \right)$$

ЗАДАЧА 35. («Физтех», 2014, 11) Определите количество теплоты, которое выделится на резисторе после замыкания ключа. Изначально конденсатор в ветви ключа заряжен до напряжения E в полярности, указанной на рисунке. ЭДС источника $E = 50$ В. Ёмкости $C = 10$ мкФ. Источник идеальный.



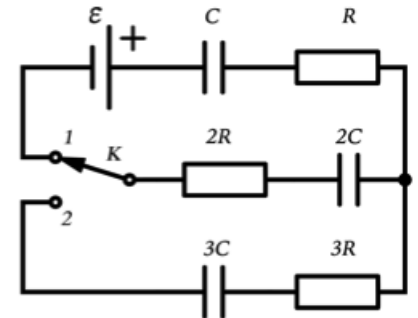
$$\frac{E^2}{R}$$

2 «Курчатов»

ЗАДАЧА 36. («Курчатов», 2014, 10) Плоский конденсатор ёмкостью $C = 22$ пФ, резистор с сопротивлением $R = 10$ МОм и идеальный источник напряжения номиналом $U = 100$ В соединены последовательно. Расстояние между обкладками быстро уменьшают в $n = 2$ раза. Найдите тепло Q , которое выделится после этого на резисторе.

$$\text{ЖИ}^H \text{ЭЭ} = \frac{u\tau}{\tau\Omega\mathcal{D}\tau(1-u)} = \mathcal{D}$$

ЗАДАЧА 37. («Курчатов», 2018, 11) В электрической схеме, показанной на рисунке, в начальный момент времени все конденсаторы разряжены. Ключ K сначала переводят в положение 1, а затем, подождяв достаточное количество времени для полной зарядки конденсаторов переключают в положение 2. Найдите:

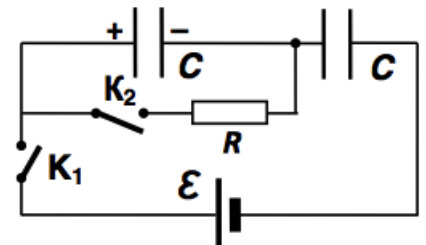


- количество теплоты Q_1 , выделившееся в цепи за то время, пока ключ был в положении 1;
 - количество теплоты Q_2 , выделившееся в цепи за то время, пока ключ был в положении 2;
 - заряд, протекший через ключ K в положении 2.
- Величины, указанные на рисунке считать известными.

$$\mathcal{D}\mathcal{D}\frac{\mathcal{E}}{\tau} = b\nabla : \frac{\mathcal{E}\Gamma}{\tau\mathcal{D}\mathcal{D}} = \tau\mathcal{D} : \frac{\mathcal{E}}{\tau\mathcal{D}\mathcal{D}} = \tau\mathcal{D}$$

3 «Покори Воробьёвы горы!»

ЗАДАЧА 38. В схеме, показанной на рисунке, «левый» конденсатор изначально был заряжен до напряжения $U_0 = \mathcal{E}/2$. Сначала замкнули ключ K_1 , а затем, спустя некоторое время — ключ K_2 . Какое количество тепла выделится в резисторе R после этого? Внутреннее сопротивление источника и сопротивление соединительных проводов пренебрежимо малы.



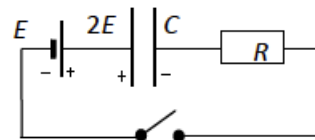
$$\frac{\mathcal{E}\Gamma}{\tau\mathcal{D}\mathcal{D}6} = \mathcal{D}$$

4 Всероссийская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 39. (Всеросс., 2018, ШЭ, 11) Всё пространство между обкладками плоского конденсатора занимает непроводящая пластина с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Этот конденсатор через резистор с большим сопротивлением подключён к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В. Пластину быстро вынимают так, что заряды пластин конденсатора за время удаления пластины не успевают измениться. Определите, какую минимальную работу необходимо совершить для такого удаления пластины. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту, когда система придёт в новое равновесное состояние? Электрическая ёмкость незаполненного конденсатора $C_0 = 100$ мкФ.

$$\text{ЖИ}^H \text{Э}'0 = \tau\mathcal{D}^0\mathcal{D}\tau(1-\varepsilon)\frac{\mathcal{E}}{\tau} = \mathcal{D} ; \text{ЖИ}^H \Gamma = \tau\mathcal{D}^0\mathcal{D}(1-\varepsilon)\frac{\mathcal{E}}{\tau} = V$$

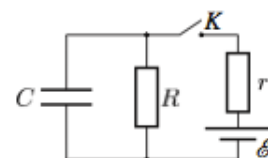
ЗАДАЧА 40. (Всеросс., 2017, МЭ, 11) Электрическая цепь состоит из соединённых последовательно идеального источника напряжения с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В, резистора, разомкнутого ключа и заряженного до напряжения $2\mathcal{E}$ конденсатора (полярность указана на схеме). Ключ замыкают. Определите напряжение U на конденсаторе в тот момент, когда количество теплоты, выделившееся в резисторе, окажется в 3 раза меньше энергии, оставшейся в конденсаторе.



$$\boxed{3 \tau R = \frac{2}{3} \mathcal{E} = \Omega}$$

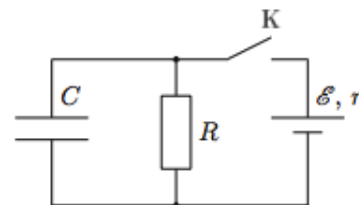
ЗАДАЧА 41. (Всеросс., 2010, РЭ, 11) Электрическая схема (см. рисунок) состоит из источника постоянного тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора R . В начальный момент конденсатор не заряжен.

Ключ K в схеме сначала замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, достигает максимума. Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?



$$\boxed{\tau \left(\frac{r+y}{y} \right) \tau \mathcal{E} \frac{\mathcal{E}}{r} = \mathcal{Q}$$

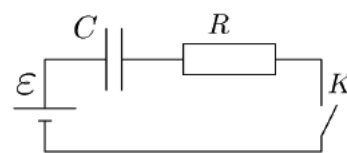
ЗАДАЧА 42. (Всеросс., 2013, РЭ, 11) Электрическая цепь (см. рисунок) состоит из конденсатора ёмкостью $C = 125$ мкФ, резистора R , сопротивление которого неизвестно, источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 70$ В и внутренним сопротивлением $r = R/2$. В начале конденсатор не заряжен, ток отсутствует. Ключ K замыкают и через некоторое время размыкают. Оказалось, что сразу после размыкания ключа сила тока, текущего через конденсатор, в два раза больше силы тока, текущего через конденсатор непосредственно перед размыканием ключа. Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи после размыкания ключа K .



$$\boxed{2 \tau \mathcal{E} \frac{\mathcal{E}}{r} = \tau \mathcal{E} \frac{6\mathcal{E}}{r} = \mathcal{Q}$$

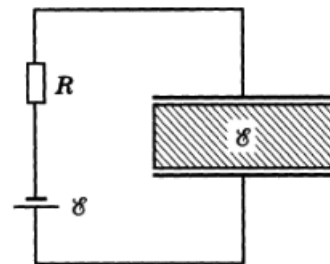
ЗАДАЧА 43. (Всеросс., 2017, РЭ, 11) В электрической цепи (рис.) все элементы можно считать идеальными. Конденсатор ёмкостью C не заряжен. ЭДС батареи задана. Ключ K замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, составляет 75% от максимальной.

Найдите количество теплоты, выделившееся в цепи при замыкании ключа.



$$\boxed{\tau \mathcal{E} \frac{\mathcal{E}}{r} = \mathcal{Q} \quad \tau \mathcal{E} \frac{\mathcal{E}}{r} = \mathcal{Q}$$

ЗАДАЧА 44. (Всеросс., 1998, финал, 10) В воздушный конденсатор ёмкости C_0 вставлена пластина с диэлектрической проницаемостью ε . Диэлектрик заполняет весь объём конденсатора. Конденсатор подключён к батарее с ЭДС \mathcal{E} через резистор R (рис.). Пластину быстро вынимают из конденсатора, так что его начальный заряд не успевает измениться. После этого начинается процесс перезарядки конденсатора. Найдите:



1) механическую работу, совершаемую внешней силой против сил электрического поля при извлечении пластины из конденсатора;

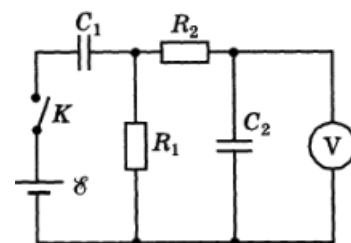
2) изменение электрической энергии конденсатора в процессе перезарядки;

3) работу батареи;

4) количество теплоты, выделившееся на резисторе R .

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0$$

ЗАДАЧА 45. (Всеросс., 1999, финал, 10) На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из батареи с ЭДС \mathcal{E} , конденсаторов ёмкостями C_1 и C_2 , резисторов R_1 и R_2 , ключа K и идеального вольтметра V . После замыкания ключа K оказалось, что в некоторый момент времени максимальное напряжение на конденсаторе C_2 , измеренное вольтметром, равно $\mathcal{E}/2$.



1) Определите разность потенциалов на конденсаторе C_1 в этот момент.

2) Найдите силу тока через резистор R_1 в этот же момент.

3) Определите максимальный заряд на конденсаторе C_1 .

4) Вычислите полное количество теплоты, выделившееся в цепи после замыкания ключа K .

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0$$

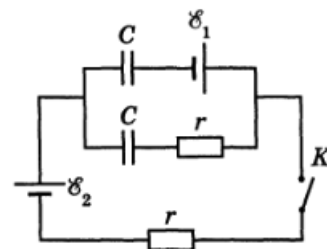
ЗАДАЧА 46. (Всеросс., 2000, финал, 10) В электрической цепи, представленной на рисунке, ключ K разомкнут и токи не текут. Определите:

1) силы токов, протекающих через батареи \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 сразу после замыкания ключа K ;

2) изменение электростатической энергии ΔW системы после прекращения токов;

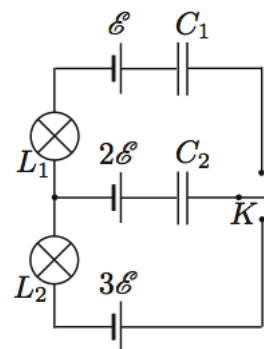
3) работы A_1 и A_2 батарей \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 за всё время процесса;

4) количество теплоты Q , выделившееся на резисторах после замыкания ключа K .



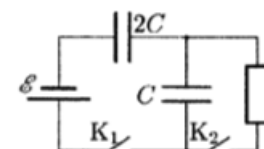
$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{C_0}{\varepsilon} = \varepsilon \varepsilon_0 C_0$$

ЗАДАЧА 47. (Всеросс., 2003, финал, 10) В цепи (рис.) переключатель K находится в среднем (разомкнутом) положении, а конденсаторы C_1 и C_2 одинаковой ёмкости C не заряжены. В некоторый момент переключатель замыкают в одно из положений. После установления равновесия в цепи его перебрасывают в противоположное положение. Найдите отношение Q_{L_1}/Q_{L_2} теплот, выделившихся на лампах накаливания L_1 и L_2 после многократного повторения переключений. Источники тока с ЭДС \mathcal{E} , $2\mathcal{E}$ и $3\mathcal{E}$ считать идеальными.



$$\frac{\mathcal{E}}{2} \text{ или } \frac{1}{8}$$

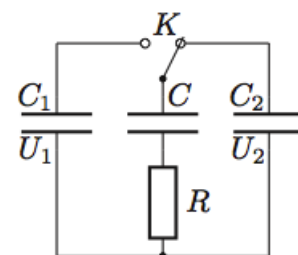
ЗАДАЧА 48. (Всеросс., 2010, финал, 10) 1) В электрической цепи, состоящей из аккумулятора с ЭДС \mathcal{E} , двух конденсаторов с ёмкостями $2C$ и C и резистора с некоторым сопротивлением (рис.), замыкают ключ K_1 . До какого напряжения зарядятся конденсаторы? Внутренним сопротивлением аккумулятора пренебрегите.



2) После того как конденсаторы полностью зарядились, замыкают ключ K_2 и размыкают его тогда, когда сила тока через аккумулятор уменьшается в два раза по сравнению с силой тока через него сразу после замыкания ключа K_2 . Найдите количество теплоты Q , выделившееся в цепи за время, прошедшее с момента замыкания ключа K_2 до момента его размыкания.

$$\frac{2}{3} \mathcal{E} \text{ и } \frac{1}{2} \mathcal{E} \text{ или } \frac{1}{2} \mathcal{E} \text{ и } \frac{1}{3} \mathcal{E}$$

ЗАДАЧА 49. (Всеросс., 2011, финал, 10) Имеются два заряженных конденсатора с ёмкостями $C_1 = 18 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 19 \text{ мкФ}$. Напряжения на конденсаторах равны соответственно $U_1 = 76 \text{ В}$ и $U_2 = 190 \text{ В}$. Третий конденсатор с неизвестной ёмкостью C подсоединён к конденсатору C_2 (рис.). Ключ K перекидывают из правого положения в левое, а после перезарядки конденсаторов возвращают в исходное положение.

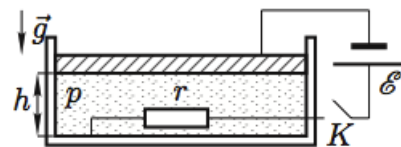


Известно, что после выполнения 44 таких циклов разность напряжений $(U_2 - U_1)_{44}$ составила 1% от первоначальной $(U_2 - U_1)_0$.

- 1) Чему равна ёмкость конденсатора C ?
- 2) Какое напряжение U_∞ установится на конденсаторах после большого числа циклов?
- 3) Какая тепловая энергия выделится на резисторе R после большого числа циклов?

$$C = 1 \text{ мкФ}, U_\infty = 136 \text{ В}, U = 69 \text{ мДж}$$

Задача 53. (Всеросс., 2008, ОЭ, 11) Цилиндрический сосуд с металлическим дном и не проводящими электрический ток стенками закрыт тонким массивным металлическим поршнем, который располагается на высоте h , много меньшей диаметра сосуда. Внутри сосуда находится включённый в электрическую схему резистор, размеры которого много меньше размеров сосуда (рис.). Схема соединена лёгкими гибкими проводами с поршнем и дном сосуда. Изначально сосуд был заполнен гелием при давлении $p \gg \varepsilon_0 e^2/h^2$. Система теплоизолирована, помещена в вакуум и находится в равновесии.



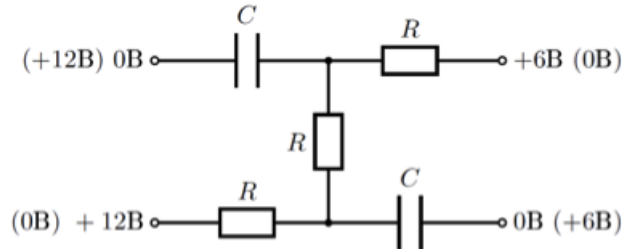
Ключ K замыкают. Найдите максимальную высоту H , на которой может оказаться поршень после установления в системе равновесного состояния.

Теплоёмкостями сосуда и поршня пренебречь. Считать сопротивление r постоянным. Трение между поршнем и сосудом достаточно мало. Гелий считать идеальным газом. Электрическую проницаемость гелия принять равной $\varepsilon_{\text{He}} = 1$.

$$\left(\frac{z q d_0 l}{z \varphi^{03}} - 1 \right) q = H$$

5 Московская олимпиада школьников по физике

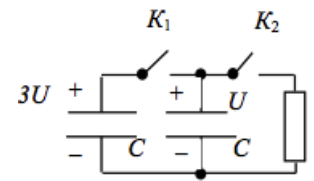
ЗАДАЧА 54. (МОШ, 2019, 11) Исходное состояние для схемы, собранной из одинаковых конденсаторов и резисторов, показано на рисунке. Заряды на конденсаторах и токи через резисторы установились. На выводы схемы поданы потенциалы, которые указаны на рисунке без (!) скобок.



В некоторый момент выводы блока питания очень быстро меняют местами так, что потенциалы на клеммах становятся равными значениям, которые указаны на рисунке в скобках. Какое количество теплоты выделится на резисторах в последующем переходном процессе, если в исходном состоянии суммарная энергия конденсаторов 2 мДж? Ответ выразите в мДж и округлите до целых.

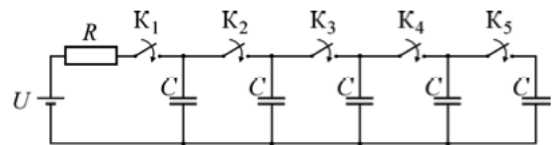
жгггг 8

ЗАДАЧА 55. (МОШ, 2018, 11) Электрическая цепь состоит из двух конденсаторов ёмкостью C каждый, разомкнутых ключей K_1 и K_2 и резистора (см. рисунок). Один из конденсаторов изначально заряжен до напряжения U , а второй — до напряжения $3U$. Во сколько раз будут отличаться количества теплоты, выделившиеся в резисторе, в зависимости от того, в каком порядке произойдёт замыкание ключей (сначала K_1 , а потом K_2 или сначала K_2 , а затем K_1)? После замыкания каждого ключа проходит достаточно большое время. Сопротивление соединительных проводов значительно меньше сопротивления резистора.



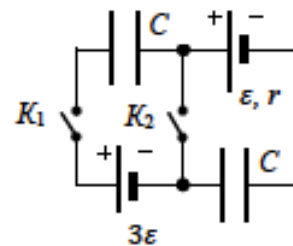
$\frac{\Pi}{9I} = \frac{\varepsilon Q}{V O}$

ЗАДАЧА 56. (МОШ, 2014, 10) В цепи, схема которой изображена на рисунке, по очереди замыкают ключи K_1 — K_5 , выжидая каждый раз достаточно длительное время до окончания процессов зарядки конденсаторов. Во сколько раз отличаются количества теплоты, выделившиеся в резисторе R после замыкания ключа K_1 и ключа K_5 ? До его замыкания все остальные ключи уже были замкнуты. Сопротивления всех проводов и источника тока пренебрежимо малы.



Б 5 раз

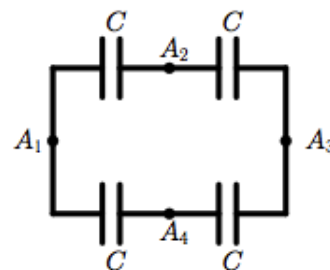
Задача 57. (МОШ, 2017, 11) В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, изначально ключи разомкнуты, а конденсаторы не заряжены. $C = 1$ мкФ, $\mathcal{E} = 2$ В.



- 1) Определите напряжения на конденсаторах через большое время после замыкания ключа K_1 .
 - 2) Определите количество теплоты Q , которое выделится на внутреннем сопротивлении источника \mathcal{E} , если через большое время после замыкания ключа K_1 замкнуть ключ K_2 .
 - 3) Определите разность потенциалов на контактах ключа K_2 перед его замыканием.
 - 4) Определите величину заряда, протекшего через ключ K_2 после его замыкания.
- Внутренним сопротивлением источника $3\mathcal{E}$ можно пренебречь.

(1) $U_1 = \mathcal{E} = 2$ В; (2) $Q = 2\mathcal{E}C = 8$ мкДж; (3) $U = 3\mathcal{E} = 6$ В; (4) $q = 4C\mathcal{E} = 8$ мкКл

Задача 58. (МОШ, 2015, 11) На рисунке изображена схема электрической цепи, составленной из четырёх первоначально незаряженных конденсаторов ёмкости C . Сначала к точкам A_1 и A_3 подключили батарейку с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . Когда ток через батарейку стал пренебрежимо малым, батарейку отключили, а к точкам A_1 и A_2 подключили резистор R , который также отключили, когда ток через него стал пренебрежимо мал. Найдите электрические заряды на каждой из пластин конденсаторов:

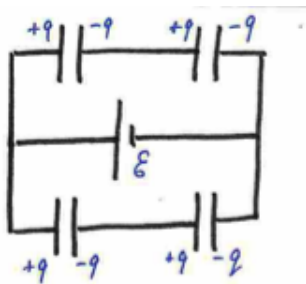


- (а) после отключения батарейки;
 - (б) после отключения резистора.
 - (в) Каким был максимальный электрический ток через резистор в данном процессе?
 - (г) Какое количество теплоты выделилось на резисторе?
- Получите ответы в виде общих формул и в частном случае $\mathcal{E} = 6$ В, $r = 1$ Ом, $C = 1$ мФ, $R = 1$ кОм.

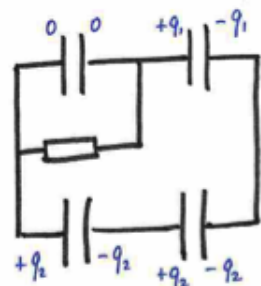
См. конец листка

Ответ к задаче 58

(а) $q = C\mathcal{E}/2 = 3$ мкКл (см. рисунок).



(б) $q_1 = 2C\mathcal{E}/3 = 4$ мкКл, $q_2 = C\mathcal{E}/3 = 2$ мкКл (см. рисунок).



(в) $I_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{2R} = 3$ мА.

(г) $Q = \frac{C\mathcal{E}^2}{6} = 6$ мДж.