

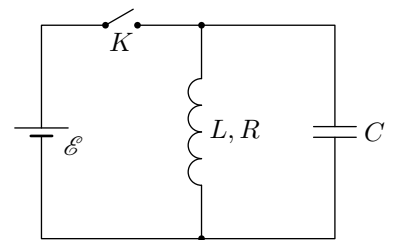
Количество теплоты. Катушка

В данном листке рассматриваются задачи на расчёт количества теплоты, которое выделяется в цепях, состоящих из резисторов и катушек индуктивности (и, возможно, конденсаторов). Напомним, что катушка индуктивностью L , через которую течёт ток I , обладает энергией

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

(это энергия магнитного поля тока, протекающего через катушку).

ЗАДАЧА 1. (МФТИ, 1979) Колебательный контур, состоящий из конденсатора ёмкостью C и катушки индуктивностью L и сопротивлением R , через ключ K подключён к источнику с постоянной ЭДС \mathcal{E} (см. рисунок). Через некоторое время после замыкания ключа установится стационарный режим: токи во всех элементах цепи будут постоянны. После этого ключ K снова размыкают. Какое количество теплоты выделится в катушке после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\frac{\mathcal{E}L}{\mathcal{E}R} + \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}C} = 0$$

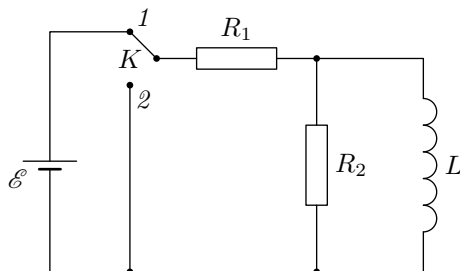
ЗАДАЧА 2. (МФТИ, 1994) В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью $L = 1$ Гн и конденсатора ёмкости $C = 1$ мкФ с утечкой (омическое сопротивление диэлектрика, заполняющего конденсатор, $R = 10^3$ Ом), происходят затухающие колебания. В некоторый момент времени амплитуда (максимальное значение) напряжения на конденсаторе была равна $U_0 = 2$ В. Какое количество теплоты выделится на конденсаторе от этого момента до полного затухания колебаний в контуре?

$$\frac{\mathcal{E}L}{\mathcal{E}R} + \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}C} = 0$$

ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 1994) В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью $L = 0,1$ Гн и омическим сопротивлением $R = 1$ Ом и конденсатора ёмкости $C = 10$ мкФ, происходят слабо затухающие колебания (в любой момент времени потеря энергии за один период колебаний много меньше энергии контура). В некоторый момент времени, когда ток в контуре достигает максимального значения, напряжение на конденсаторе $U_C = 1$ В. Какое количество теплоты выделится в катушке за один период колебаний?

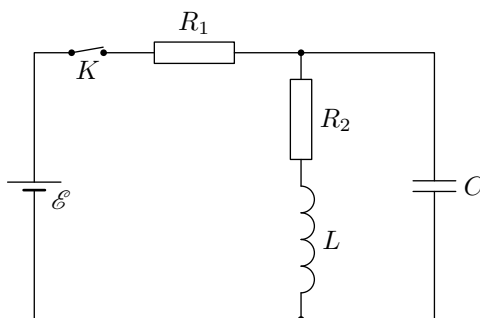
$$\frac{\mathcal{E}L}{\mathcal{E}R} + \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}C} = 0$$

ЗАДАЧА 4. (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.



$$\frac{\mathcal{E}^2 R_2 (R_1 + R_2)}{L} = Q$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 1995) Какое количество теплоты выделится в схеме (см. рисунок) после размыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

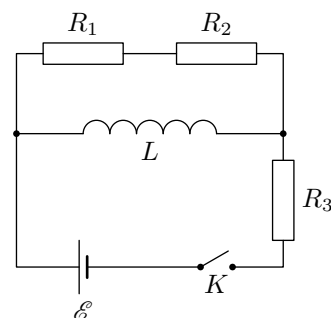


$$\frac{\mathcal{E}^2 (R_2 + L/C)}{2R_1} = Q$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут. После размыкания ключа на резисторе R_1 выделяется количество тепла Q_1 .

- 1) Какое количество тепла выделится на резисторе R_2 ?
- 2) Чему равна ЭДС батареи?

Сопротивления R_1, R_2, R_3 и индуктивность катушки L известны.

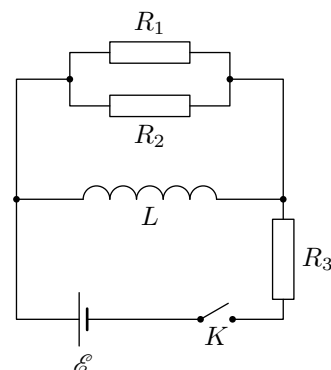


$$Q_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R_1}{2(R_1 + R_2)} \Rightarrow \mathcal{E} = \sqrt{\frac{2Q_1(R_1 + R_2)}{R_1}}$$

ЗАДАЧА 7. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут. После размыкания ключа в цепи выделяется количество тепла Q .

- 1) Чему равна ЭДС батареи \mathcal{E} ?
- 2) Какое количество тепла выделится на каждом из резисторов R_1, R_2, R_3 ?

Считать заданными L, R_1, R_2, R_3 .



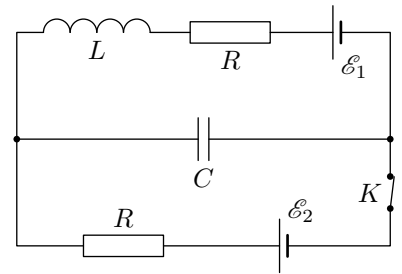
$$Q = \mathcal{E}^2 \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + L \right) \Rightarrow \mathcal{E} = \sqrt{\frac{Q}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + L}}$$

Задача 8. (МФТИ, 2003) В электрической схеме, представленной на рисунке, ключ K замкнут. Ключ K размыкают.

1) Определить заряд, протекший через батарею с ЭДС \mathcal{E}_1 после размыкания ключа K .

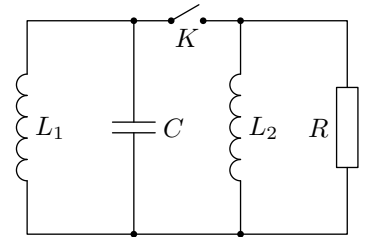
2) Найти количество теплоты, выделившейся в цепи после размыкания ключа K .

Значения R , L , C , \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 считать заданными.



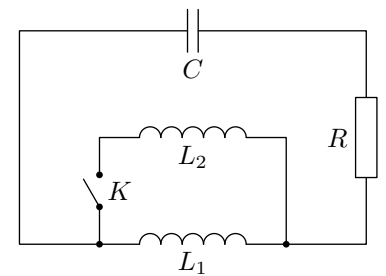
$$\left(\frac{\varepsilon \mathcal{E}_1 \mathcal{C}}{\tau} + 1 \right) \varepsilon (\varepsilon \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) \mathcal{C} \frac{\mathcal{E}_1}{\tau} = \mathcal{Q} \left(\varepsilon : (\varepsilon \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) \mathcal{C} \frac{\mathcal{E}_1}{\tau} = b \right)$$

Задача 9. (МФТИ, 2004) В LC -контуре при разомкнутом ключе K происходят колебания (см. рисунок). В тот момент, когда ток в контуре достигает максимального значения I_0 , замыкают ключ K . Считая заданными I_0 , L_1 и L_2 , определить полное количество теплоты, которое выделится в резисторе R после замыкания ключа K . Омическое сопротивление катушек считать равным нулю.



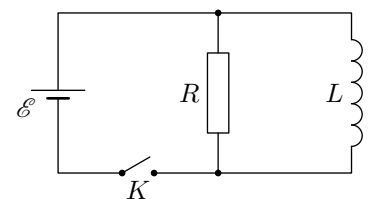
$$\frac{(\varepsilon \mathcal{I} + \mathcal{I} \mathcal{L}) \varepsilon}{\varepsilon \mathcal{I} \varepsilon \mathcal{L} \mathcal{I} \mathcal{L}} = \mathcal{Q}$$

Задача 10. (МФТИ, 2004) В LC -контуре при разомкнутом ключе K происходят колебания (см. рисунок). В тот момент, когда напряжение на конденсаторе равно U_0 , а ток через катушку L_1 равен I_0 , замыкают ключ K . Считая заданными U_0 , I_0 , L_1 , L_2 и C , определить полное количество теплоты, которое выделилось в резисторе R после замыкания ключа K . Омическое сопротивление катушек считать равным нулю.



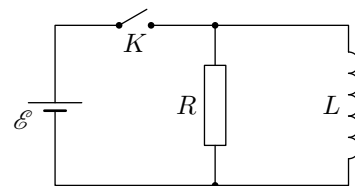
$$\frac{(\varepsilon \mathcal{U} + \mathcal{U} \mathcal{L}) \varepsilon}{\varepsilon \mathcal{I} \varepsilon \mathcal{L} \mathcal{I} \mathcal{L}} + \frac{\varepsilon}{\varepsilon \mathcal{L} \mathcal{C}} = \mathcal{Q}$$

Задача 11. (МФТИ, 2007) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. Параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ K замыкают на некоторое время τ , а затем размыкают. Оказалось, что за всё время опыта (т. е. за время, пока ключ был замкнут, и за время, пока ключ был разомкнут) в схеме выделилось количество теплоты Q . Найдите время τ .



$$\frac{\mathcal{U}}{\mathcal{L}} - \frac{\varepsilon \mathcal{E}}{\mathcal{C} \mathcal{L} \varepsilon} + \left(\frac{\mathcal{U}}{\mathcal{L}} \right) \mathcal{L} = \mathcal{Q}$$

Задача 12. (МФТИ, 2007) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. Параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ K замыкают на некоторое время τ , а затем размыкают. Оказалось, что за время, пока ключ был замкнут, и за время, пока ключ был разомкнут, в схеме выделились равные количества теплоты.

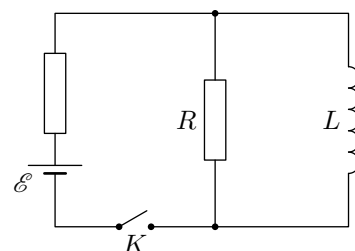


1) Какой заряд протёк через источник за время, пока ключ был замкнут?

2) Какое количество теплоты выделилось в схеме за всё время опыта?

$$\frac{\tau \mathcal{E}}{T \tau \mathcal{E} \mathcal{V}} = \mathcal{D} \quad (\tau : \frac{\tau \mathcal{E}}{T \mathcal{E} \mathcal{V}} = b \quad \text{I})$$

Задача 13. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из катушки индуктивностью L , резистора сопротивлением R и батарейки с ЭДС \mathcal{E} и неизвестным внутренним сопротивлением (см. рисунок). Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через источник протёк заряд q , а в катушке запаслась энергия W .



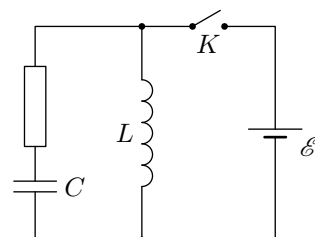
1) Найдите количество теплоты, выделившейся в цепи, пока ключ был замкнут.

2) Найдите количество теплоты, выделившейся в цепи после размыкания ключа.

3) Какой заряд протёк через катушку при замкнутом ключе?

$$\frac{W}{M T \mathcal{E} \mathcal{V}} - b = \tau b \quad (\mathcal{E} : M = \tau \mathcal{D} \quad (\tau : M - b \mathcal{E} = \tau \mathcal{D} \quad \text{I}))$$

Задача 14. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из идеальной батарейки с ЭДС \mathcal{E} , катушки индуктивностью L , конденсатора ёмкостью C и резистора с неизвестным сопротивлением (см. рисунок). Ключ K замыкают на время τ , а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через резистор протёк заряд q .

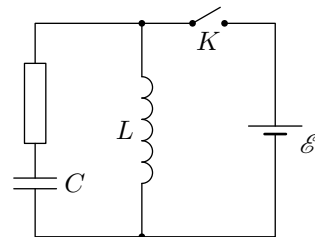


1) Какое количество теплоты выделилось в цепи за время, пока ключ был замкнут?

2) Какое количество теплоты выделилось в цепи после размыкания ключа?

$$\frac{\mathcal{D} \mathcal{E}}{\tau b} + \frac{\tau \mathcal{E}}{\tau \tau \mathcal{E} \mathcal{V}} = \tau \mathcal{D} \quad (\tau : \frac{\mathcal{D} \mathcal{E}}{\tau b} - b \mathcal{E} = \tau \mathcal{D} \quad \text{I})$$

ЗАДАЧА 15. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из идеальной батарейки с ЭДС \mathcal{E} , катушки индуктивностью L , конденсатора ёмкостью C и резистора с неизвестным сопротивлением (см. рисунок). Ключ K замыкают на время τ , а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через источник протёк заряд q .

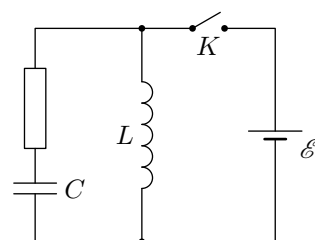


1) Какое количество теплоты выделилось в цепи за время, пока ключ был замкнут?

2) Какое количество теплоты выделилось в цепи после размыкания ключа?

$$\frac{\tau \mathcal{E}}{\tau^2 \mathcal{E}^2} + \left(\frac{\tau \mathcal{E}}{\tau^2 \mathcal{E}^2} - b \right) \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \tau} = \tau \mathcal{D} \left(\tau : \frac{\tau \mathcal{E}}{\tau^2 \mathcal{E}^2} - \left(\frac{\tau \mathcal{E}}{\tau^2 \mathcal{E}^2} - b \right) \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \tau} - b \mathcal{E} = \tau \mathcal{D} \right) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 16. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из идеальной батарейки с ЭДС \mathcal{E} , катушки индуктивностью L , конденсатора ёмкостью C и резистора с неизвестным сопротивлением (см. рисунок). Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через резистор протёк заряд $q = C\mathcal{E}/3$. После размыкания ключа в цепи выделилось количество теплоты Q .

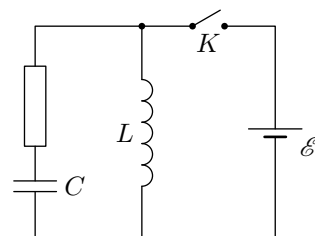


1) Какое количество теплоты выделилось в цепи за время, пока ключ был замкнут?

2) Сколько времени был замкнут ключ?

$$\frac{6}{\partial \tau} - \frac{\tau \mathcal{E}}{\partial \tau \mathcal{E}} \wedge = \tau \left(\tau : \tau \mathcal{D} \frac{8 \mathcal{E}}{3} = \tau \mathcal{D} \right) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 17. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из идеальной батарейки с ЭДС \mathcal{E} , катушки индуктивностью L , конденсатора ёмкостью C и резистора с неизвестным сопротивлением (см. рисунок). Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают. Непосредственно перед размыканием ключа напряжение на резисторе равнялось $\mathcal{E}/2$. Суммарное количество теплоты, выделившееся в цепи при замкнутом ключе и после размыкания ключа, равно Q .



1) Какое количество теплоты выделилось в цепи за время, пока ключ был замкнут?

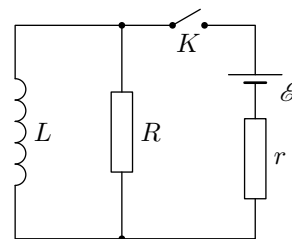
2) Сколько времени был замкнут ключ?

$$\mathcal{D} \tau - \frac{\tau \mathcal{E}}{\partial \tau \mathcal{E}} \wedge = \tau \left(\tau : \tau \mathcal{D} \frac{8}{3} = \tau \mathcal{D} \right) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 18. («Физтех», 2009) Электрическая цепь состоит из батарейки с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , катушки индуктивностью L и резистора сопротивлением $R = 3r$ (см. рисунок). Ключ K замыкают, а затем размыкают в момент, когда напряжение на катушке достигает величины $2\mathcal{E}/3$.

1) Найдите напряжение на катушке сразу после замыкания ключа.

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

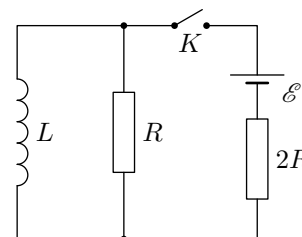


$$\frac{\mathcal{E}}{3} = \mathcal{E} \quad (\mathcal{E} = 0 \text{ В})$$

ЗАДАЧА 19. («Физтех», 2009) В схеме, изображённой на рисунке, все элементы можно считать идеальными, до замыкания ключа ток в цепи отсутствовал, параметры элементов указаны на рисунке. Ключ K замыкают, а затем размыкают в момент, когда тепловая мощность на резисторе с сопротивлением R становится в два раза больше скорости изменения энергии катушки.

1) Найдите мощность, выделяющуюся на резисторе с сопротивлением R сразу после замыкания ключа.

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

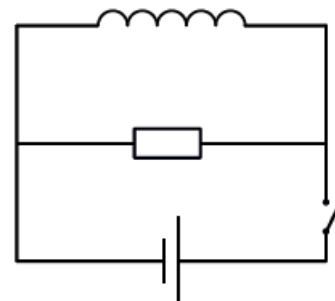


$$P = \frac{3\mathcal{E}^2}{2R} = \mathcal{E} \quad (\mathcal{E} = 0 \text{ Вт})$$

ЗАДАЧА 20. («Физтех», 2017, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, ключ разомкнут, тока в цепи нет. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. Заряд, протекший через катушку индуктивностью L при разомкнутом ключе, оказался в 3 раза больше заряда, протекшего через катушку при замкнутом ключе. После размыкания ключа в цепи выделилось количество теплоты Q .

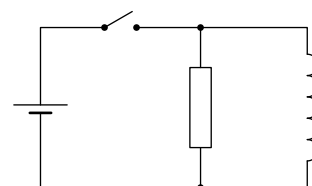
1) Найти ток, протекавший через резистор сразу после размыкания ключа.

2) Найти ток, протекавший через резистор перед размыканием ключа.



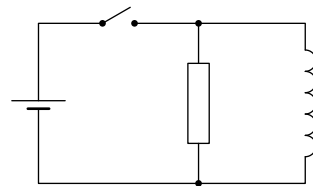
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \mathcal{E} \quad (\mathcal{E} = 0 \text{ А})$$

ЗАДАЧА 21. («Физтех», 2010) В цепи, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. В начальный момент ключ разомкнут, ток в цепи отсутствует. Ключ на некоторое время замыкают, а потом размыкают. Оказалось, что после размыкания ключа в цепи выделилось в два раза больше теплоты, чем при замкнутом ключе. Найдите отношение заряда, протекшего через источник при замкнутом ключе, к заряду, протекшему через резистор после размыкания ключа.



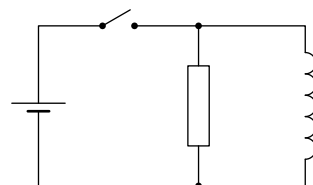
Э

ЗАДАЧА 22. («Физтех», 2010) В цепи, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. В начальный момент ключ разомкнут, ток в цепи отсутствует. Ключ на некоторое время замыкают, а потом размыкают. Оказалось, что заряд, протекший через катушку при замкнутом ключе, в 4 раза больше заряда, протекшего через катушку после размыкания ключа. Найдите отношение теплоты, выделившейся в цепи после размыкания ключа, к теплоте, выделившейся в цепи при замкнутом ключе.



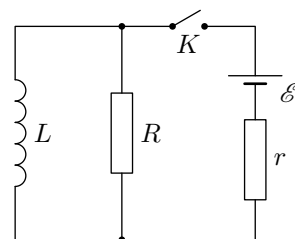
4

ЗАДАЧА 23. («Физтех», 2010) В цепи, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. В начальный момент ключ разомкнут, ток в цепи отсутствует. Ключ на некоторое время замыкают, а потом размыкают. Оказалось, что заряд, протекший через источник при замкнутом ключе, в 4 раза больше заряда, протекшего через катушку после размыкания ключа. Найдите отношение теплоты, выделившейся в цепи после размыкания ключа, к теплоте, выделившейся в цепи при замкнутом ключе.



5

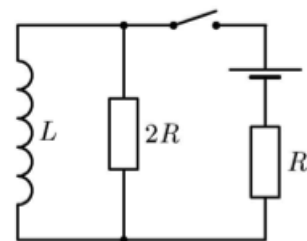
ЗАДАЧА 24. («Физтех», 2011) В цепи, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. Оказалось, что величина тока через резистор R непосредственно перед размыканием ключа в три раза меньше, чем сразу после размыкания.



- 1) Найдите ток через резистор R сразу после замыкания ключа.
- 2) Найдите ток через катушку сразу после размыкания ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

$$\frac{z(\mathcal{E}+r)}{z^2 T^6} = \partial (\mathcal{E} : \frac{\mathcal{E}+r}{z} = 0 T I (z : \frac{\mathcal{E}+r}{z} = 0 \mathcal{E} I (I$$

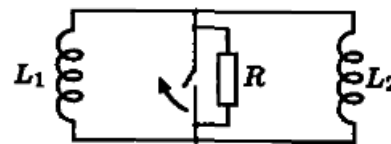
ЗАДАЧА 25. («Физтех», 2015) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. Сразу после замыкания ключа ток через резистор $2R$ равен I_0 . Сразу после размыкания ключа ток через этот же резистор равен $2I_0$.



- 1) Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи после размыкания ключа.
- 2) Найдите ток, текущий через источник непосредственно перед размыканием ключа.
- 3) Найдите заряд, протекший через резистор $2R$ при замкнутом ключе.

$$\frac{\mathcal{E}}{0 T} = b (\mathcal{E} : 0 T \frac{\mathcal{E}}{z} = I (z : 0 T T z = \partial (I$$

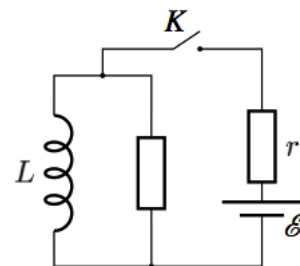
ЗАДАЧА 26. (Всеросс., 2003, ОЭ, 11) Две катушки индуктивности включены в цепь (рис.). В начальном состоянии ключ замкнут, ток через него и катушку L_1 равен I_0 , ток через катушку L_2 отсутствует. Какое количество теплоты выделится на резисторе R при размыкании ключа? Сопротивлением катушек в данном процессе можно пренебречь.



$$\frac{(c_T + 1T)c}{0I c_T 1T} = 0$$

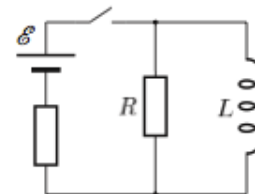
ЗАДАЧА 27. (Всеросс., 2009, РЭ, 11) Электрическая схема (рис.) состоит из источника постоянного тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , индуктивности L и сопротивления неизвестной величины.

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



$$\frac{48}{z\mathcal{E}T} = 0$$

ЗАДАЧА 28. (Всеросс., 2009, финал, 11) В схеме на рисунке параметры всех элементов заданы. В начальном состоянии, когда ключ был разомкнут, ток в цепи, содержащей индуктивность L , отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем снова размыкают. Известно, что за время, пока ключ был замкнут, через индуктивность протёк заряд q_0 . За всё время после размыкания ключа в схеме выделилось количество теплоты Q_0 .

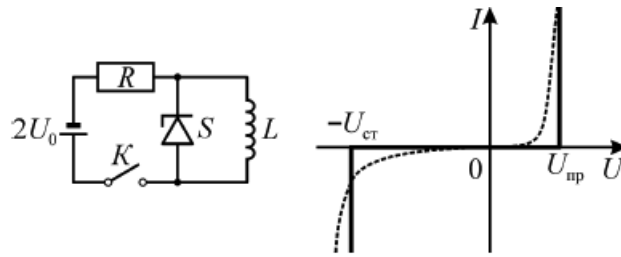


Предполагая идеальными все элементы цепи, определите:

- 1) силу тока I_0 , протекающего через индуктивность непосредственно перед размыканием ключа;
- 2) заряд q_1 , протекший через резистор R за время, пока ключ был замкнут;
- 3) заряд q_2 , протекший через резистор R после того как ключ был разомкнут;
- 4) работу A , совершённую источником постоянного тока в течение всего процесса;
- 5) количество теплоты Q , выделившееся в схеме, пока ключ был замкнут.

$$0\mathcal{O} - V = \mathcal{O} : (1b + 0b)\mathcal{E} = V : \frac{H}{0T} = zb = 1b : \frac{T}{0\mathcal{O}c} \wedge = 0I$$

ЗАДАЧА 29. (МОШ, 2017, 11) Из батарейки с ЭДС $2U_0$, резистора с сопротивлением R , которое намного больше внутреннего сопротивления батарейки, идеальной катушки индуктивностью L , стабилитрона S и ключа K собрали цепь, схема которой изображена на левом рисунке. Стабилитрон — это полупроводниковый элемент, подобный диоду, который при подключении в прямом направлении открывается (начинает проводить ток) при напряжении $U_{пр}$, а при подключении в обратном направлении — открывается при напряжении стабилизации $U_{ст}$. Идеализированная вольт-амперная характеристика (ВАХ) стабилитрона показана на рисунке справа сплошной жирной линией, а реальная ВАХ обозначена пунктирной линией. У используемого в данной цепи стабилитрона $U_{пр} = U_0$, $U_{ст} = 10U_0$, а его ВАХ можно считать идеализированной.



Ключ в цепи замыкают, ждут некоторое время и размыкают в тот момент, когда напряжение на резисторе составляет $3U_0/2$.

- 1) Найдите силу тока, текущего через резистор сразу после замыкания ключа.
- 2) Определите заряды, протекающие через стабилитрон при замкнутом и разомкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в стабилитроне за всё время?

$$\frac{\tau_{ст}}{L} = \tau_{ст} \left(\frac{U_{пр}}{U_{ст}} = \tau_{ст} \cdot \frac{U_{пр}}{U_{ст}} = \tau_{ст} \left(\frac{U_{пр}}{U_{ст}} = \tau_{ст} \right) \right)$$