ГУМЕННАЯ Л.А.
УЧИТЕЛЬ ФИЗИКИ МКОУ СОШ № 8
С. МАНЫЧСКОЕ

« Решение задач из части С» по теме «Электромагнитные колебания».

физика 11 класс.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

- Какие колебания называются электромагнитными?
- Что называется колебательным контуром? Идеальным?
- Какие колебания называются *свободными*?
- Какие колебания называются гармоническими?
- Что такое *собственная циклическая частота колебательной системы?*
- Что называется *периодом колебаний*?
- Что называется *амплитудой колебаний?*
- Что такое *фаза колебаний?*
- По какой формуле рассчитать энергию электрического поля?
- По какой формуле рассчитать энергию магнитного поля?
- Чему равна полная энергия?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ

- Электромагнитными колебаниями называются периодические изменения заряда, силы тока и напряжения, сопровождающиеся взаимными превращениями энергии электрического и магнитного полей
- Замкнутая электрическая цепь, состоящая из конденсатора емкости С и катушки индуктивности L, называется колебательным контуром. Если сопротивление проводов =0, то контур называется идеальным
- Колебания возникающие в системе под действием внутренних сил, называются свободными
- Периодические изменения физической величины, происходящие по закону синуса или косинуса в зависимости от времени, называются гармоническими колебаниями
- Величина $\omega=2\pi\nu$, равная числу колебаний за 2π секунд, называется собственной циклической частотой
- Период колебаний – это время , в течение которого совершается одно полное колебание
- Наибольшее значение колеблющейся величины называется амплитудой колебаний
- Аргумент косинуса или синуса в уравнении $\varphi=(\omega t+\varphi_0)$ называется фазой колебаний

$W=\frac{CU_m^2}{2}$ $W=\frac{L\cdot I_m^2}{2}$ $W=\frac{CU_m^2}{2}+\frac{LI_m^2}{2}$

НЕМНОГО ТЕОРИИ

- Дифференциальное уравнение для заряда в колебательном ко $\frac{d^2q}{dt^2} + \omega^2 q = 0$
- **Или** $q'' + \omega^2 q = 0$ **(1)**
- q- заряд на обкладках конденсатора
- собственная круговая частота колебаний заряда
- $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ **(2)**
- Период и частота колебаний в -контуре (Формула Томсона): $T = 2\pi\sqrt{LC}$ $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- **(3)**
- L- Индуктивность катушки контура,
- C – Емкость конденсатора.
- Мгновенные значения заряда, напряжения и силы тока в колебательном контуре меняются по закону:
- **q=** $q_m \cos\omega t$ (4)
- **U=** $U_m \cos\omega t$ (5)
- **I=** $I_m \sin\omega t = I_m \cos(\omega t + \pi/2)$ (6)
- - амплитуда заряда на конденсаторе, напряжение на нем и силы тока в колебательном контуре, круговая частота собственных колебаний; время отсчитывается от момента максимальной зарядки конденсатора.
- Величина электродвижущей силы, напряжения и силы переменного тока зависят от времени по закону:
- $\varepsilon = \varepsilon_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ или $\varepsilon = \varepsilon_m \cos(\omega t + \varphi_0)$ (7)
- U= $U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ или U= $U_m \cos(\omega t + \varphi_0)$
- I= $I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ или $I_m \cos(\omega t + \varphi_0)$ (9)
- φ_0 – фаза колебаний, которая зависит от момента времени.

- Связь действующих значений силы тока, напряжения и ЭДС с амплитудными значениями:
- $I_д = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ $U_д = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $\varepsilon_д = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}$ (10)
- Сопротивление конденсатора в цепи переменного тока
- $X_C = \frac{1}{\omega C}$ (11)
- Сопротивление катушки в цепи переменного тока
- $X_L = \omega L$ (12)
- Величина сопротивления цепи переменного тока, содержащей последовательное соединение резистора, конденсатора и катушки индуктивности $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$
- (13)
- Величина Z называется импедансом цепи.
- Закон Ома для цепи переменного тока:
- $I = \frac{U}{Z}$ (14)
- Сдвиг по фазе между силой тока и напряжением в такой цепи определяется формулой
- $tg\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$
- Или $\cos\varphi = \frac{R}{Z}, \varphi = \cos^{-1}\frac{R}{Z}$
- (15/1)
- Средняя мощность, выделяющаяся в цепи переменного тока,
- $P = I_д U_д \cos\varphi$ (16)
- Коэффициент трансформации трансформатора:
- $k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{n_1}{n_2}$ (17)

- - ЭДС самоиндукции в первичной и ЭДС индукции во вторичной обмотках трансформатора, - число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, соответственно. Если сопротивление проводов первичной и вторичной обмоток малы , то можно считать, что ε~U и $\varepsilon_2 \approx U_2$. При этом коэффициент трансформации определяется формулой
- . $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ (18)

- Коэффициент полезного действия трансформатора :
- $\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} 100\%$ (19)
- Если потери в трансформаторе малы, то , и можно записать, что мощность во вторичной и первичной обмотках примерно равны:
- , $U_2 I_2 \approx U_1 I_1$ или, $\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$ (20)

- - напряжение, поданное на первичную обмотку трансформатора,
- - напряжение, снимаемое со вторичной обмотки.
- *Потеря энергии* происходит на активном сопротивлении.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.

- **1** Задачи, в которых рассматриваются процессы в колебательном контуре:
- Определяется связь между величинами емкости, индуктивности и параметрами возникших колебаний (T, V,), решаются с использованием формул 2 и 3.
- К ним в соответствии с данными задачи, могут быть добавлены формулы, связывающие частоту или период, длину возникшей волны и скорость электромагнитных волн:
- c=λ/T= λv,
- c-скорость электромагнитных волн, в вакууме 3м/с.
- Для измерения собственной частоты колебаний контура, помимо конденсатора постоянной емкости, последовательно или параллельно ему включают конденсатор переменной емкости. Обычно для таких случаев требуется рассчитать диапазон частот, которые возникают в контуре: (или диапазон длин волн). Для расчета эквивалентной емкости C контура надо вспомнить формулы для последовательного соединения конденсаторов,

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$$

- И для параллельного соединения :
- C= C_1+C_2

Иногда в таких случаях нужна формула емкости плоского конденсатора $C=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

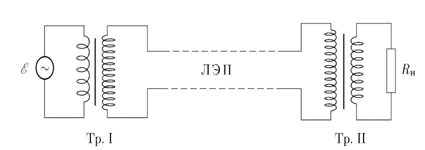
- .
- **2**Для идеального колебательного контура справедлив закон сохранения энергии. Поэтому в любой момент времени в течении периода энергия в контуре одна и та же и равна начальному запасу энергии:
- W=const, или $W_1=W_2$
- При максимальном заряде на обкладках конденсатора (и соответственно, максимальном значении напряжения) энергия контура сосредоточена в электрическом поле конденсатора и равна $W_{\text{маг.}max}=\frac{LI_m^2}{2}$
- В промежуточные моменты времени имеются и электрическая энергия, и магнитная, но их сумма постоянна:
- , $W_{\text{эл.}max}=W_{\text{маг.}max}=W_{\text{эл}}+W_{\text{маг}}=W$
- W- величина полной электромагнитной энергии колебательного контура. Последнее соотношение можно использовать для решения задач, в которых даны или требуется найти амплитудные или мгновенные значения силы тока, напряжения или заряда на конденсаторе.

- **3.** Все задачи, в которых задана аналитическая или графическая зависимость от времени ЭДС , силы тока I, напряженияU и заряда q решаются точно так же, как и задачи такого типа на механические колебания. Задачи, в которых по заданной аналитической зависимости надо найти амплитуду, круговую частоту и начальную фазу, решаются просто сопоставлением данного уравнения с соответствующим уравнением в общем виде (4-9). Для определения периода и частоты используются формулы T=1/v, T=t/n, v=n/t, где n-количество колебаний за время t.
- **4** В задачах о переменном токе мы рассматриваем только технический (синусоидальный) ток.
- Во всех случаях, когда указаны значения ℰ,I,U, и нет специальных указаний, речь идет о действующих (или эффективных) значениях этих величин. Если надо найти амплитудные значения, то они для гармонических колебаний связаны с действующими значениями формулами 10.
- Задачи на расчет цепей переменного тока решаются по закону Ома (14).
- Цепи переменного тока кроме активного сопротивления R содержат емкостное и индуктивное сопротивления, которые определяются формулами (11)и (12); полное сопротивление Z цепи переменного тока (импеданс) рассчитывается по формуле (13).
- Нельзя забывать о том, что в цепях переменного тока имеется сдвиг по фазе между силой тока и напряжением. Его вычисляют по формулам (15) и (15/1), используя затем таблицы тригонометрических функций.
- В цепи, содержащей активное и реактивное сопротивления, мощность выделяется только на активном сопротивлении. Значение мощности будет меньше, чем на том же активном сопротивлении в отсутствии реактивных элементов – конденсатора и катушки. Это определяется сдвигом мгновенных значений силы тока и напряжения по фазе. Формула для вычисления мощности в цепи с активным и реактивным сопротивлениями (16) имеет вид **,** - сдвиг фаз между силой тока и наряжением; **–** коэффициент мощности. Значение можно найти по формуле (15/1) или сначала найти tgи по формуле (15) и воспользоваться тригонометрическими таблицами.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.

- В задачах, где рассматривается работа трансформатора, основными являются формулы (17)-(20). Формула (17) – используется для режима холостого хода, (18) – в случаях, когда падением напряжения на витках вторичной обмотки нагруженного трансформатора можно пренебречь. При больших токах во вторичной цепи необходимо записать сл $\mathcal{E}_2 = U_2 + I_2 r_2$

U_2 I_2

- - напряжение на зажимах вторичной обмотки, –сила тока во вторичной обмотке, r – ее сопро $k = \frac{U_1}{U_2 + I_2 r_2}$ е. В таких случаях коэффициент трансформации .
- Небольшую группу составляют задачи на передачу энергии переменного тока от генератора к потребителю. Полная схема электрической цепи, соответствующая этим случаям, представлена на рисунке 1. Она состоит из генератора переменного напряжения, дающего электродвижущую силу $\mathcal{E}$, повышающего трансформатора 1, линии электропередач (ЛЭП), понижающего трансформатора 2, потребителя электроэнергии (нагрузки) - решаются обычно по этапам.
- 

- IНа первом этапе рассматривается генератор переменного напряжения и повышающий трансформатор I. ЭДС генератора $\mathcal{E}$ равна сумме падений напряжения на внутреннем сопротивлении генератора и на первичной обмотке повышающего трансформа $U_r + U_{1-I}$.

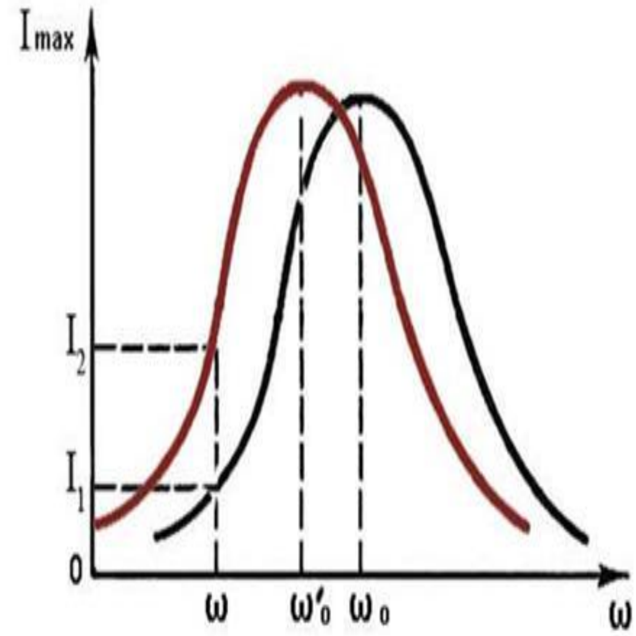
- Часто дается не значение ЭДС $\mathcal{E}$, а падение напряжения на зажимах генератора. Оно равно величине $\mathcal{E}$ минус падение напряжение внутри генератора, то есть напряжению на первичной обмотке трансформатора I. Если сопротивлением первичной обмотки по условию задачи можно пренебречь, то можно использовать формулы (17)и(18).
- II На втором этапе рассматриваются оба трансформатора и линия электропередачи. ЭДС индукции, которая наводится н вторичной обмотке первого трансформатора, равна сум падений напря $\mathcal{E}_{2-I} = U_{2-I} + U_{1-II}$
- U_{2-I} –адение напряжения на вторичной обмотке первого трансформатора $U_{пр}$ – падение напряжения на проводах U_{1-II} напряжение на первичной обмотке второго трансформатора.
- Сопротивление проводов или силу тока в проводах часто приходится находить используя формулу мощности тепловых потерь или закон $P = I^2 R_{пр}, Q = I^2 R_{пр} t, R_{пр}$ – сопротивление проводов линии электропередачи.
- Вычисляя R по R=ρl/s формуле , следует учесть, что длина провода равна удвоенному расстоянию от повышающего трансформатора до понижающего (или от генератора до нагрузки).
- Сила тока одинакова во вторичной обмотке первого трансформатора, на проводах и на первичной обмотке второго трансформатора.
- III На третьем этапе (второй трансформатор-нагрузка)можно использовать кроме формул (17) (18) еще и (20). Кроме мощность потерь на проводах можно найти по формуле $P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = IU$
- В случаях, если какой- либо элемент полной цепи отсутствует, то соответственно падение напряжения и сопротивления следует опустить, что упростит задачу. Если в задаче дан коэффициент полезного действия линии электропередачи, то он равен отношению мощности полезной, то есть нагрузке , к мощности, которую да $\eta = \frac{P_н}{P_r} 100\%$:

С1-1.К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой ***ν***. Индуктивность ***L*** катушки колебательного контура можно плавно менять от максимального значения L_{max} до минимального L_{min}, а ёмкость его конденсатора постоянна. Ученик постепенно уменьшал индуктивность катушки от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре всё время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

Как следует из условия задачи, источник тока не меняли, значит, можно предположить, что амплитуда переменного напряжения в схеме постоянна. Между тем, **амплитуда силы тока увеличивалась**. При неизменной амплитуде напряжения, неизменной емкости и постоянной частоте это возможно только, если мы имеем дело с **явлением резонанса** - увеличением амплитуды колебаний **при совпадении частоты собственных колебаний колебательного контура ω_0 и частоты колебаний источника тока ω.**



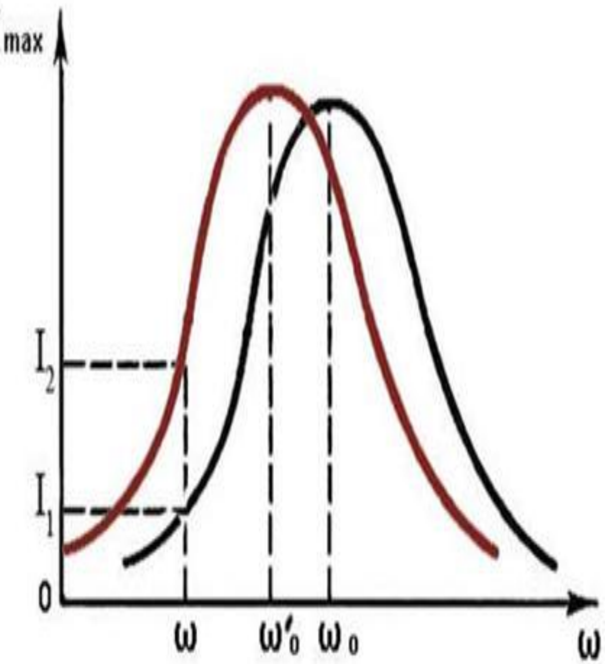
Очевидно, при индуктивности катушки $L = L_{max}$ частота собственных колебаний ω_0 оказывается много выше частоты колебаний ω напряжения источника тока ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$), и амплитуда тока в контуре I_1 невелика (см. рис.) При уменьшении индуктивности вплоть до L_{min}: как следует из приведенной формулы, частота собственных колебаний контура ω'_0 (резонансная частота контура) убывает, видимо, приближаясь к частоте вынуждающих колебаний источника тока ω (сдвиг «колокола» влево, красная кривая). Таким образом, амплитуда силы тока I_2 возрастает, что и требовалось объяснить.

С1-2.К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой ***ν***. Электроёмкость ***С*** конденсатора колебательного контура можно плавно менять от минимального значения C_{min} до максимального C_{max}, а индуктивность его катушки постоянна. Ученик постепенно увеличивал ёмкость конденсатора от минимального значения до максимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре всё время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

Как следует из условия задачи, источник тока не меняли, значит, можно предположить, что амплитуда переменного напряжения в схеме постоянна. Между тем, **амплитуда силы тока увеличивалась.** При неизменной амплитуде напряжения, неизменной индуктивности и постоянной частоте это возможно только, если мы имеем дело с **явлением резонанса -** увеличением амплитуды колебаний **при совпадении частоты собственных колебаний колебательного контура ω_0 и частоты колебаний источника тока ω.**



Очевидно, при емкости конденсатора $C = C_{min}$ частота собственных колебаний ω_0 оказывается много выше частоты колебаний ω напряжения источника тока ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$), и амплитуда тока в контуре I_1 невелика (см. рис.) При увеличении емкости вплоть до C_{max}, как следует из приведенной формулы, частота собственных колебаний контура ω'_0 (резонансная частота контура) убывает, видимо, приближаясь к частоте вынуждающих колебаний источника тока ω (сдвиг «колокола» влево, красная кривая). Таким образом, амплитуда силы тока I_2 возрастает, что и требовалось объяснить.

С5-1. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью ***20 мкФ*** и катушки индуктивностью ***8 мГн.*** Амплитуда колебаний заряда конденсатора ***8 нКл***. Какова амплитуда колебаний силы тока в контуре?

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

С5. В идеальном колебательном контуре заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону $q = q_{max}\cos(\omega t + \alpha)$, где q_{max} – амплитуда колебаний заряда, ω – циклическая частота колебаний, α – начальная фаза.

Сила тока есть производная заряда по времени $I = q' = -q_{max}\omega\sin(\omega t + \alpha)$. Максимальные (амплитудные) значения силы тока достигаются при $\sin(\omega t + \alpha) = \pm 1$.

Следовательно, амплитуда колебаний силы тока $I_{max} = q_{max}\omega$.

Циклическая частота и период колебаний связаны между собой соотношением $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$.

Период колебаний в идеальном колебательном контуре $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Амплитуда колебаний силы тока

$$I_{max} = q_{max}\frac{2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{q_{max}}{\sqrt{LC}} = \frac{8\cdot 10^{-9}}{\sqrt{8\cdot 10^{-3}\cdot 20\cdot 10^{-6}}} = \frac{8\cdot 10^{-9}}{\sqrt{16\cdot 10^{-8}}} = 2\cdot 10^{-5}\,\text{А} = 20\ \text{мкА}.$$

Ответ: $I_{max} = 20$ мкА.

С5-2. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности ***I_m* = 10 мА**, а амплитуда напряжения на конденсаторе ***U_m* = 4,0 В**. В момент времени ***t*** напряжение на конденсаторе равно ***3,2 В***. Найдите силу тока в катушке в этот момент.

Образец возможного решения:

В идеальном контуре сохраняется энергия колебаний:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \quad \text{или} \quad \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Из равенств следует:

$$I^2 = I_m^2 - \frac{C}{L}U^2 \quad \text{и} \quad \frac{C}{L} = \frac{I_m^2}{U_m^2}.$$

В результате получаем:

$$I = I_m\sqrt{1 - \frac{U^2}{U_m^2}}.$$

Ответ: I = 6 мА.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

С5-3. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности ***I_m* = 5 мА**, а амплитуда напряжения на конденсаторе ***U_m* = 2,0 В.** В момент времени ***t*** напряжение на конденсаторе равно ***1,2 В***. Найдите силу тока в катушке в этот момент.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

$I_m = 5мА = 5\cdot 10^{-3}A$
$U_m = 2.0B$
$U_t = 1.2\cdot B$

I_t - ?

Полную энергию колебательного контура можно определить двумя способами:

$$W = \frac{C\cdot(U_m)^2}{2} = \frac{L\cdot(I_m)^2}{2}$$, откуда $\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{U_m}{I_m}$

При этом в любой момент времени полная энергия системы сохраняется, поэтому в момент времени t:

$$W = \frac{C\cdot(U_t)^2}{2} + \frac{L\cdot(I_t)^2}{2} = \frac{L\cdot(I_m)^2}{2}$$

Разделив обе части равенства на величину L, получим:

$$\frac{C}{L}\cdot(U_t)^2 + (I_t)^2 = (I_m)^2,$$

откуда

$$(I_t) = \sqrt{(I_m)^2 - \frac{C}{L}\cdot(U_t)^2} = \sqrt{(I_m)^2 - \left(\frac{I_m}{U_m}\right)^2\cdot(U_t)^2} = I_m\cdot\sqrt{1-\left(\frac{U_t}{U_m}\right)^2}$$

$$(I_t) = 5\cdot 10^{-3}A\cdot\sqrt{1-\left(\frac{1.2\cdot B}{2.0B}\right)^2} = 4\cdot 10^{-3}A = 4мA$$

Ответ: 4 мА.

. В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора в колебательном контуре с течением времени.

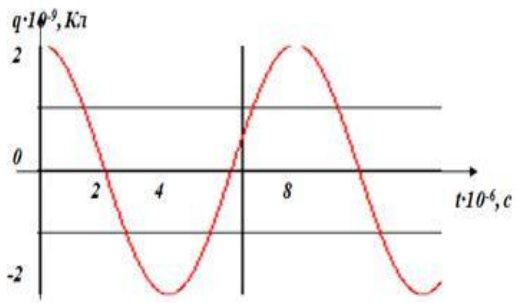
t, мкс
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
q, 10^{-9} Кл
2
1,42
0
-1,42
-2
-1,42
0
1,42
2
1,42

Вычислите по этим данным максимальное значение силы тока в катушке. Ответ выразите в мА, округлив его до десятых.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

Из таблицы и по графику определим период и амплитуду заряда:



$$T = 8 \cdot 10^{-6} c$$

$$q_{max} = 2 \cdot 10^{-9} Кл$$

По закону сохранения энергии энергия конденсатора переходит в энергию катушки, т.е.:

$$W_{эл} = W_м$$

Причем,

$$W_{эл} = \frac{(q_{max})^2}{2C}, \quad W_м = \frac{L \cdot (I_{max})^2}{2},$$

Откуда:

$$\frac{(q_{max})^2}{2C} = \frac{L \cdot (I_{max})^2}{2}, \quad I_{max} = \frac{q_{max}}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Используем формулу периода колебаний:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}, \text{ откуда } \sqrt{L \cdot C} = \frac{T}{2\pi}$$

Тогда максимальное значение силы тока в катушке:

$$I_{max} = \frac{2\pi \cdot q_{max}}{T}$$

$$I_{max} = \frac{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-9} Кл}{8 \cdot 10^{-6} c} = 1.571 \times 10^{-3} A = 1.6 мА$$

Ответ: 1,6 мА.

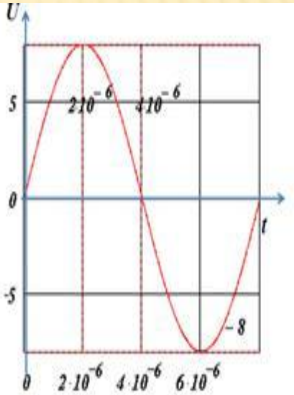
В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, амплитуда силы тока ***I**$_m$ **= 50 мА***. В таблице приведены значения разности потенциалов на обкладках конденсатора, измеренные с точностью до ***0,1 В*** в последовательные моменты времени.

t, мкс
0
1
2
3
4
5
6
7
8
U, В
0,0
2,8
4,0
2,8
0,0
–2,8
–4,0
–2,8
0,0

Найдите значение электроёмкости конденсатора.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение



По таблице составим уравнение напряжения на обкладках конденсатора:

$$u = U_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

где

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8 \cdot 10^{-6}} = \frac{\pi}{4} \cdot 10^6 c^{-1}, \quad U_{max} = 4В$$

Получим:

$$u = 4 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} \cdot 10^6 \cdot t\right)$$

Сила тока связана с напряжением законом Ома:

$$i = \frac{u}{X_C}$$

Где X_C – емкостное сопротивление, равное:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{\frac{\pi}{4} \cdot 10^6 \cdot C} = \frac{4}{\pi \cdot 10^6 \cdot C}$$

И для максимальных значений:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{X_C}$$, откуда

$$X_C = \frac{4}{\pi \cdot 10^6 \cdot C} = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \frac{4В}{5 \cdot 10^{-2} А}$$

$$C = \frac{4}{\pi \cdot 10^6 \cdot 80} = 1.6 \times 10^{-8} Ф = 16нФ$$

Ответ: 16 нФ.

С5-6. В идеальном колебательном контуре в некоторый момент времени напряжение на конденсаторе равно ***1,2 В***, а сила тока в катушке индуктивности равна ***4 мА***. Амплитуда колебаний силы тока в катушке равна ***5 мА***. Найдите амплитуду колебаний напряжения на конденсаторе.

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

В идеальном контуре сохраняется энергия колебаний:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = W_0.$$

Поэтому в тот момент, когда энергия магнитного поля катушки равна 0,

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2} = W_0 \quad (1).$$

В тот момент, когда конденсатор полностью разряжен,

$$W_0 = \frac{LI_m^2}{2}.$$

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}. \quad (2)$$

Из первого равенства следует:

$$\frac{C}{L} = \frac{I^2}{U_m^2 - U^2},$$

а из второго:

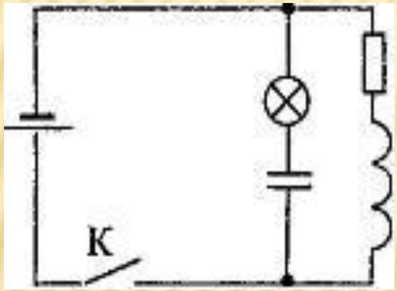
$$\frac{C}{L} = \frac{I_m^2}{U_m^2}.$$

В результате получаем:

$$U_m = \frac{I_m U}{\sqrt{I_m^2 - I^2}}.$$

Ответ: $U_m = 2$ В

С5-7. В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна ***12 В***, емкость конденсатора ***2 мФ***, индуктивность катушки***5 мГн***, сопротивление лампы — ***5 Ом*** и сопротивление резистора ***3 Ом***. В начальный момент времени ключ К замкнут. Какая энергия выделится в лампе после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь. Сопротивлением катушки и проводов пренебречь.



ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Образец возможного решения:

Пока ключ замкнут, через катушку L течет ток I определяемый сопротивлением резистора:

$$I = \frac{\varepsilon}{R},$$

конденсатор заряжен до напряжения $U = \varepsilon$.

Энергия электромагнитного поля в катушке L

$$\varepsilon_м = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Энергия электромагнитного поля в конденсаторе

$$\varepsilon_э = \frac{C \cdot \varepsilon^2}{2}$$

После размыкания ключа начинаются затухающие электромагнитные колебания, и вся энергия, запасенная в конденсаторе и катушке, выделится в лампе и резисторе:

$$E = \frac{C\varepsilon^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2} + \frac{\varepsilon^2}{2R^2}L = 0{,}184 \text{ Дж.}$$

Согласно закону Джоуля-Ленца, выделяемая в резисторе мощность пропорциональна его сопротивлению. Следовательно, энергия 0,184 Дж распределится в лампе и резисторе пропорционально их сопротивлениям, и на лампу приходится

$$E_л = \frac{5}{8}E = 0{,}115 \text{ Дж.}$$

Ответ: $E_л = 0{,}115$ Дж.

С5-8. Простой колебательный контур содержит конденсатор емкостью ***C = 1 мкФ*** и катушку индуктивности ***L = 0,01 Гн***. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре увеличилась на ***Δw = 2×10⁴ с⁻¹***?

ЗАДАЧИ ЧАСТИ «С»

Возможное решение

$C = 10^{-6} Ф$

$L = 10^{-2} Гн$

$\Delta\omega = 2 \cdot 10^4 c^{-1}$

$C' - ?$

Циклическая частота колебаний в колебательном контуре определяется формулой:

$$\begin{cases} \omega_1 = \dfrac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \\ \omega_2 = \dfrac{1}{\sqrt{L \cdot C'}} \end{cases}$$

Но частота колебаний энергии в колебательном контуре в 2 раза больше частоты колебаний заряда и силы тока, поэтому:

$$\begin{cases} \omega_{э1} = \dfrac{2}{\sqrt{L \cdot C}} \\ \omega_{э2} = \dfrac{2}{\sqrt{L \cdot C'}} \end{cases}$$

Найдем изменение частоты колебаний электрической энергии

$$\Delta\omega = \omega_{э2} - \omega_{э1} = \frac{2}{\sqrt{L \cdot C'}} - \frac{2}{\sqrt{L \cdot C}} = 2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{L \cdot C'}} - \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \right)$$

Откуда:

$$\frac{1}{C'} = \left(\frac{\Delta\omega \cdot \sqrt{L}}{2} + \frac{1}{\sqrt{C}} \right)^2 \quad \text{или} \quad C' = \frac{4C}{\left(\Delta\omega \cdot \sqrt{L} \cdot \sqrt{C} + 2\right)^2}$$

$$C' = \frac{4 \times 10^{-6} Ф}{\left(2 \cdot 10^4 c^{-1} \cdot \sqrt{10^{-2} Гн} \cdot \sqrt{10^{-6} Ф} + 2\right)^2} = 2.5 \times 10^{-7} Ф = 0.25 мкФ$$

Ответ: 0,25 мкФ.