



Колебательный контур

Электромагнитные колебания - это периодические и почти периодические изменения заряда, силы тока и напряжения.

Колебательный контур - цепь, состоящая из соединительных проводов, катушки индуктивности и конденсатора при активном сопротивлении равном нулю.

Свободные колебания - это колебания, происходящие в системе благодаря начальному запасу энергии с частотой, определяемой параметрами самой системы: L, C.

Скорость распространения электромагнитных колебаний равна скорости света:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ (м/с)}$$

Основные характеристики колебаний

Амплитуда (силы тока, заряда, напряжения) – максимальное значение (силы тока, заряда, напряжения): I_m, Q_m, U_m .

Мгновенные значения (силы тока, заряда, напряжения) - i, q, u .

T [с]- период – время одного полного колебания.

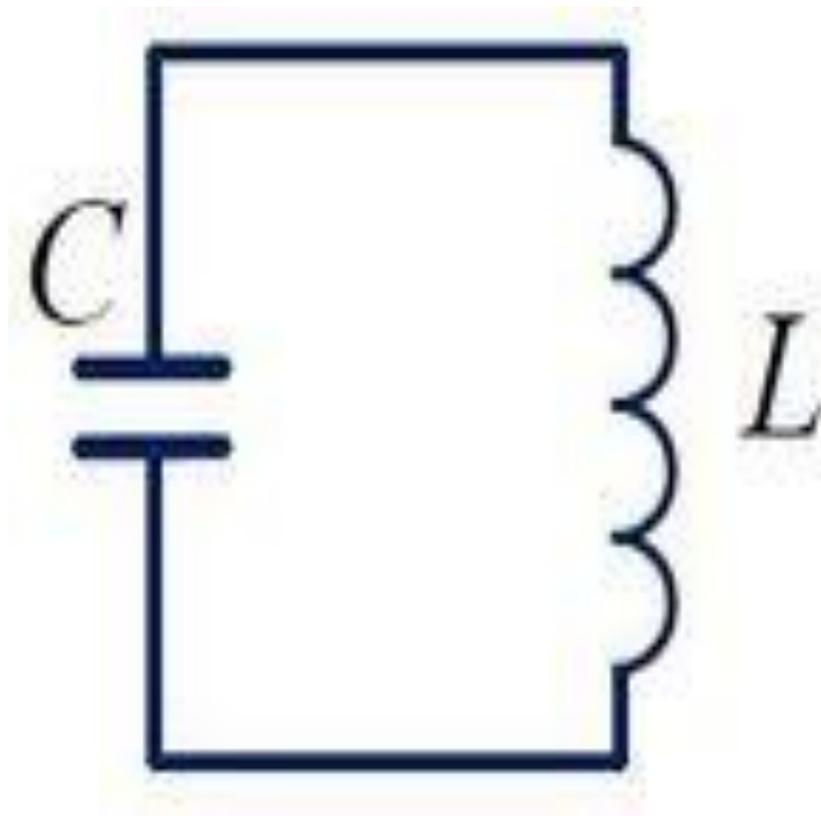
ν [Гц] – линейная частота – число колебаний за 1 секунду.

$\omega_0 \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$ – циклическая частота – число колебаний за 2π секунды.

$\omega_0 t + \varphi_0$ – фаза колебаний – величина, характеризующая состояние колебательной системы в данный момент времени.

φ_0 – начальная фаза колебаний.

Схема колебательного контура



Электромагнитные колебания

представляют периодический переход электрической энергии конденсатора в магнитную энергию катушки и наоборот согласно закону сохранения энергии.

$$\begin{aligned} W_{C_{max}} &= W_C + W_L = W_{L_{max}} = W_L + W_C = W_{C_{max}} \\ &= W_C + W_L = W_{L_{max}} = W_L + W_C = W_{C_{max}} \end{aligned}$$

Задача 1.

Колебательный контур содержит конденсатор емкостью 800 пФ и катушку индуктивности индуктивностью 2 мкГн. Каков период собственных колебаний контура? (ответ дайте в мкс)

Дано:

Си

Решение:

Задача 2.

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C и катушки индуктивности индуктивностью L . Как изменится период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре, если емкость конденсатора и индуктивность катушки увеличить в 3р.

Дано:

Решение:

1. Увеличится в 3 раза;
2. Не изменится;
3. Уменьшится в 3 раза;
4. Увеличится в 9 раз.

Ответ: №1

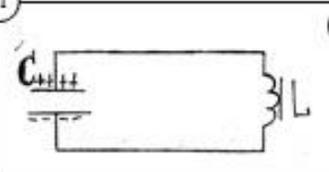
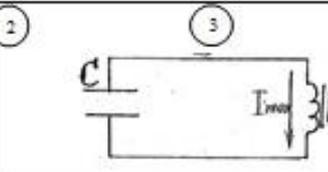
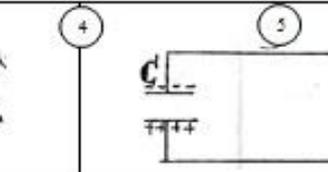
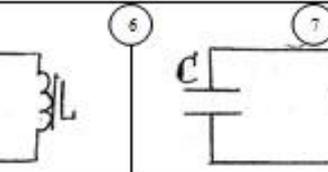
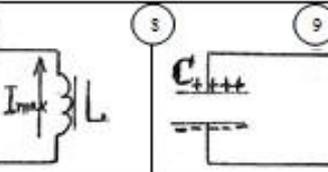
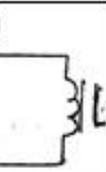
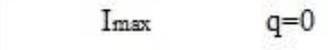
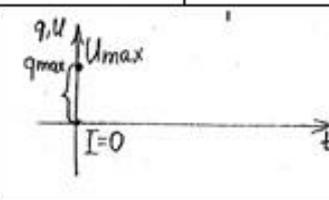
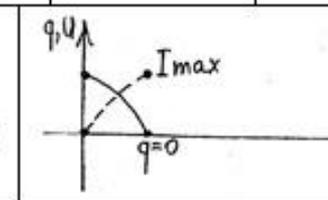
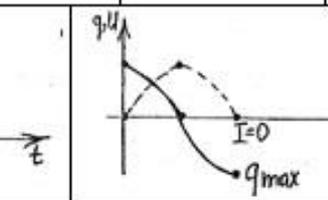
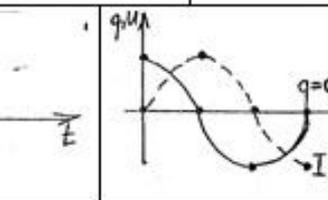
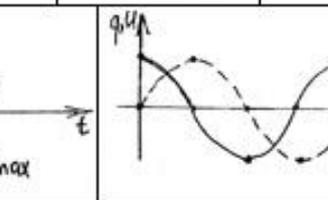
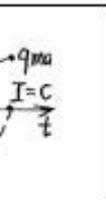
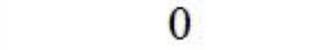
Задача 3.

Амплитуда силы тока при свободных колебаниях в колебательном контуре 100 мА. Какова амплитуда напряжения на конденсаторе колебательного контура, если емкость этого конденсатора 1 мкФ, а индуктивность катушки 1 Гн? Активным сопротивлением пренебречь.

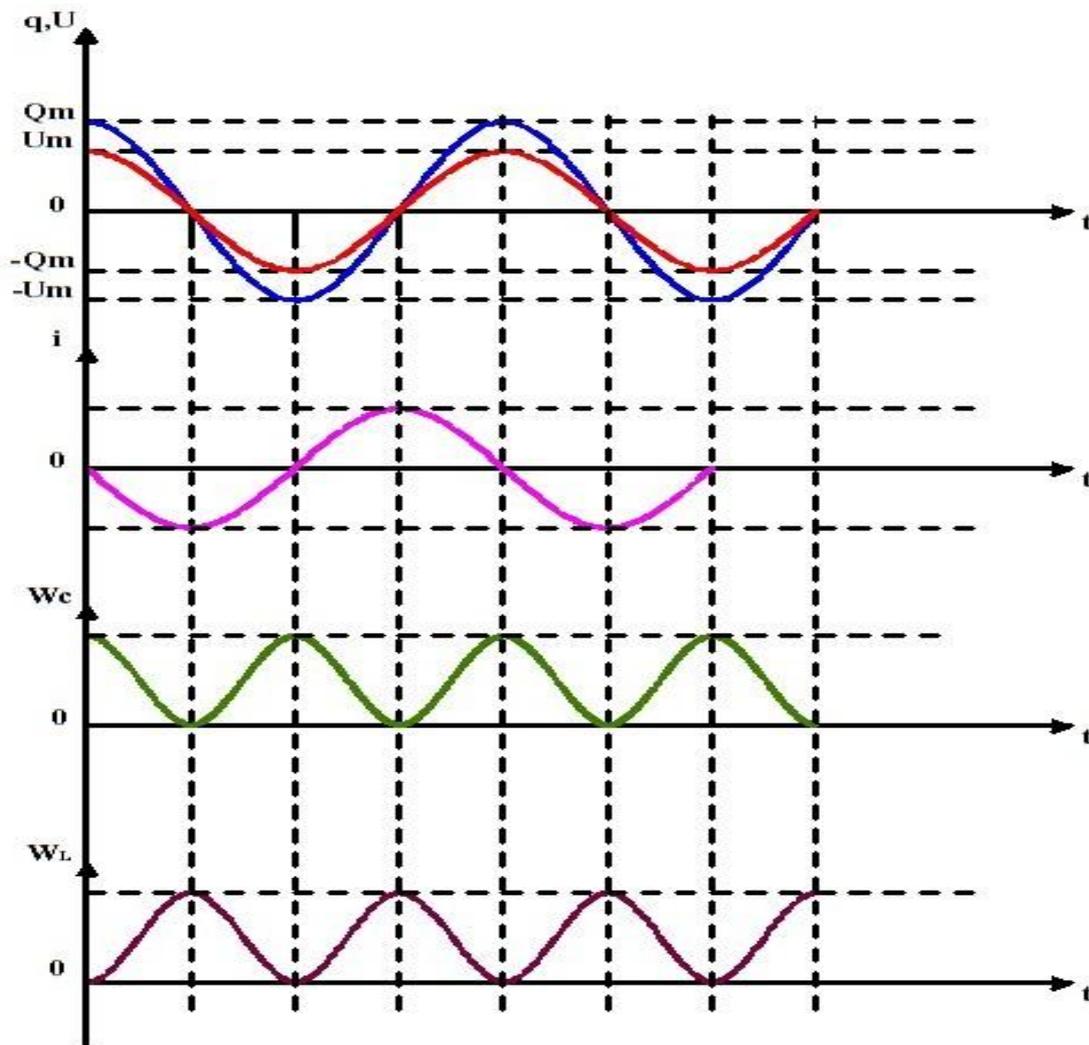
Дано:

Решение:

Схема электромагнитных колебаний в контуре

1	2	3	4	5	6	7	8	9
								
q_{max} $I=0$	I_{max} $q=0$	q_{max} $I=0$	I_{max} $q=0$	q_{max} $I=0$	I_{max} $q=0$	q_{max} $I=0$	I_{max} $q=0$	q_{max} $I=0$
$W_p = \frac{q_{max}^2}{2C}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$	$W = \frac{LI_{max}^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$	$W_p = \frac{q_{max}^2}{2C}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$	$W = \frac{LI_{max}^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$	$W_p = \frac{q_{max}^2}{2C}$
								
0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T				
<p>1. Конденсатор заряжен до макс значения. Электрическое поле между обкладками конденсатора наибольшее.</p> <p>2. Происходит разрядка конденсатора на катушку индуктивности. Электрический ток увеличивается постепенно, т.к. изменяющееся магнитное поле вызывает ток самоиндукции, который по закону Ленца препятствует быстрому увеличению тока, увеличивается магнитное поле катушки</p>	<p>3. Через четверть периода конденсатор разрядился, поэтому ток через катушку максимален, магнитное поле катушки максимально.</p> <p>4. Конденсатор начинает перезаряжаться, т.к. заряды на обкладках конденсатора меняются местами. Ток через катушку уменьшается, изменяющееся магнитное поле вызывает ток самоиндукции, который по закону Ленца поддерживает убывающий ток в катушке. Ток продолжает течь в том же направлении, перезаряжая конденсатор</p>	<p>5. Через время, равное половине периода, перезарядка конденсатора закончилась. Конденсатор перезарядился по максимальной разности потенциалов, но противоположно по знаку зарядами на обкладках конденсатора.</p> <p>6. Конденсатор начинает разряжаться через катушку, опять возникает ток через катушку, но в обратном направлении и снова электрический ток через катушку увеличивается постепенно из-за явления самоиндукции</p>	<p>7. Через три четверти периода конденсатор разрядился полностью, ток через катушку максимальный, энергия магнитного поля катушки максимальна.</p> <p>8. Конденсатор начинает заряжаться, т.е. противоположно по знаку зарядами на обкладках конденсатора.</p>	<p>9. Через время, равное периоду, состояние колебательного контура станет таким же, как и в начальный момент времени.</p>				

Графическая зависимость заряда, напряжения, силы тока, электрической энергии конденсатора, магнитной энергии катушки индуктивности от времени.



Уравнения, описывающие колебательные процессы в контуре:

$$q = Q_m \cos(\omega_0 t + f);$$

$$u = U_m \cos(\omega_0 t + f);$$

$$i = I_m \cos\left(\omega_0 t + f + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC};$$

$$\omega = 2\pi\nu = 2\frac{\pi}{T} \quad T = \frac{1}{\nu};$$

$E = W_C + W_L$ – полная энергия в контуре;

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{Cu^2}{2} = \frac{qu}{2};$$

$$W_L = \frac{Li^2}{2};$$

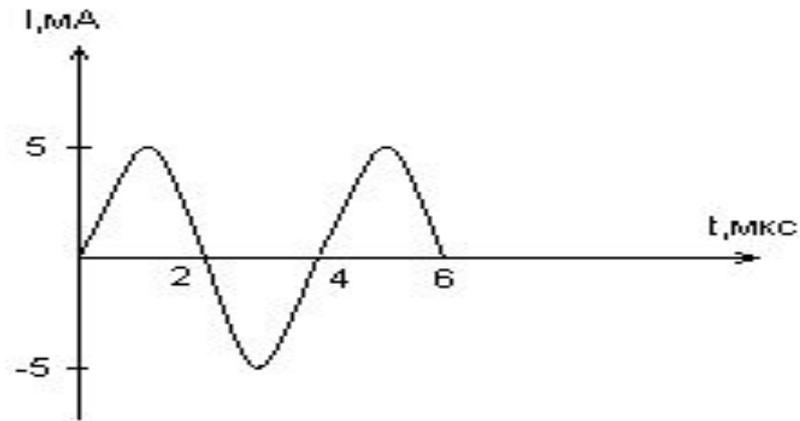
Обращаем внимание, что колебания силы тока в цепи опережают колебания напряжения между обкладками конденсатора на $\pi/2$.

Описывая изменения заряда, напряжения и силы тока по гармоническому закону, необходимо учитывать связь между функциями синуса и косинуса.

$$\sin \alpha = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \quad \cos \alpha = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = -\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$$

Задача № 1.

По графику зависимости силы тока от времени в колебательном контуре определите, какие преобразования энергии происходят в колебательном контуре в интервале времени от 1 мкс до 2 мкс?

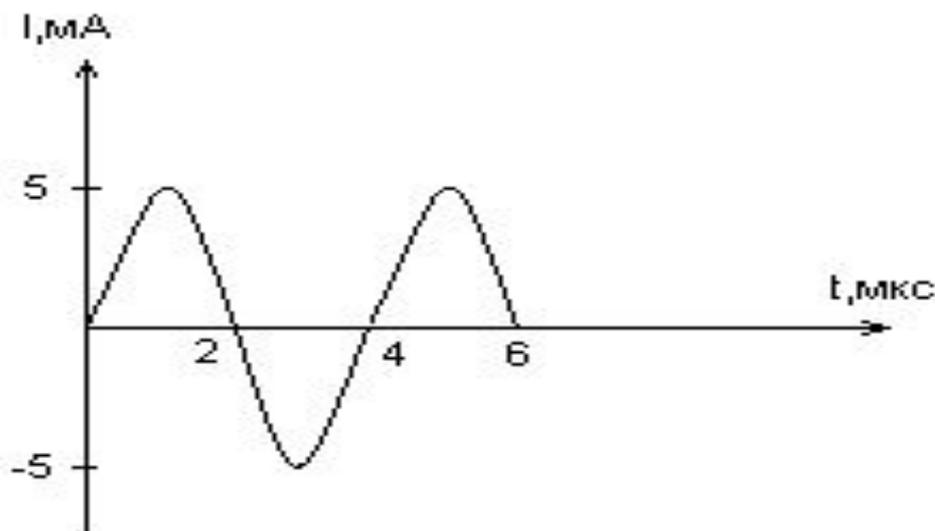


1. Энергия магнитного поля катушки увеличивается до максимального значения;
2. Энергия магнитного поля катушки преобразуется в энергию электрического поля конденсатора;
3. Энергия электрического поля конденсатора уменьшается от максимального значения до «0»;
4. Энергия электрического поля конденсатора преобразуется в энергию магнитного поля катушки.

Задача № 2.

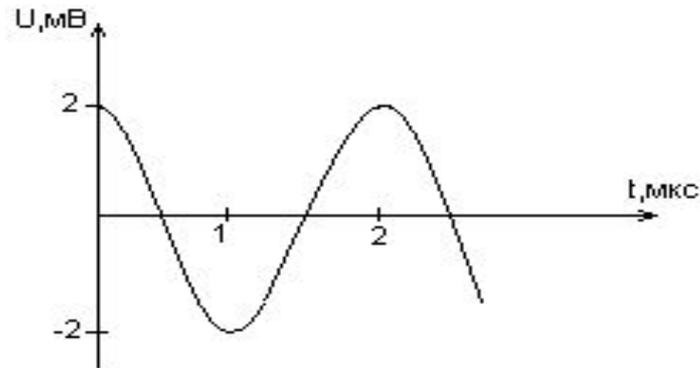
По графику зависимости силы тока от времени в колебательном контуре определите:

- Сколько раз энергия катушки достигает максимального значения в течение первых 6 мкс после начала отсчета?
- Сколько раз энергия конденсатора достигает максимального значения в течение первых 6 мкс после начала отсчета?
- Определите по графику амплитудное значение силы тока, период, циклическую частоту, линейную частоту и напишите уравнение зависимости силы тока от времени.



Задача № 3. (0/3)

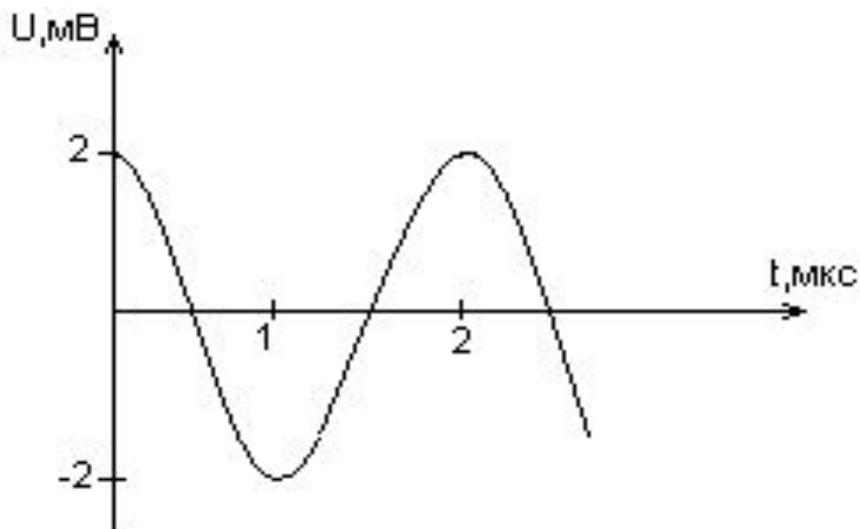
Дана графическая зависимость напряжения между обкладками конденсатора от времени. По графику определите, какое преобразование энергии происходит в интервале времени от 0 до 2 мкс?



1. Энергия магнитного поля катушки увеличивается до максимального значения;
2. Энергия магнитного поля катушки преобразуется в энергию электрического поля конденсатора;
3. Энергия электрического поля конденсатора уменьшается от максимального значения до «0»;
4. Энергия электрического поля конденсатора преобразуется в энергию магнитного поля катушки.

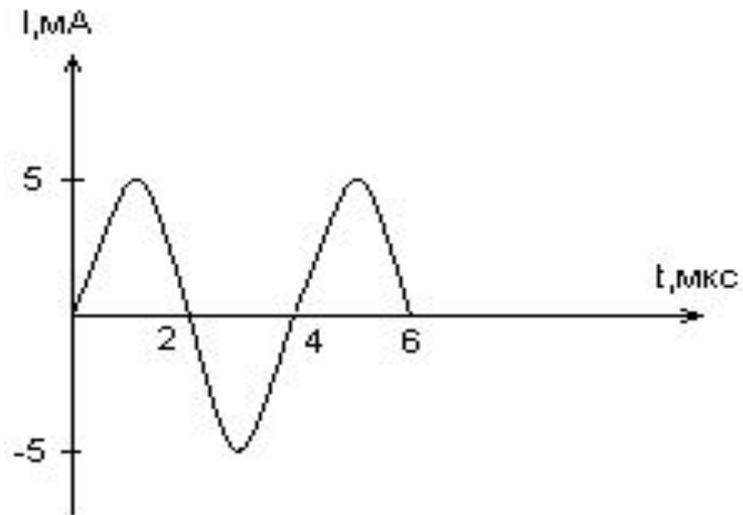
Задача № 4.

Дана графическая зависимость напряжения между обкладками конденсатора от времени. По графику определите: сколько раз энергия конденсатора достигает максимального значения в период от нуля до 2 мкс? Сколько раз энергия катушки достигает наибольшего значения от нуля до 2 мкс? По графику определите амплитуду колебаний напряжений, период колебаний, циклическую частоту, линейную частоту. Напишите уравнение зависимости напряжения от времени.

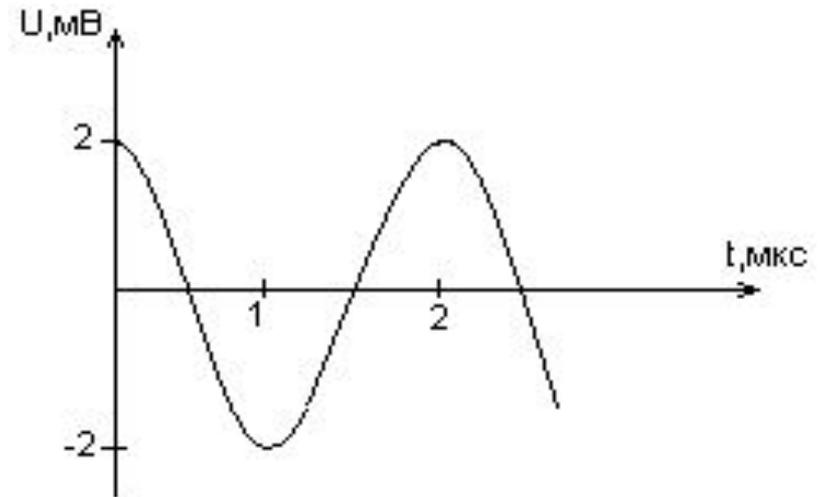


Задача № 5,6.

Вариант № 1



Вариант № 2



Вариант № 1

Дано:

$$I_m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ГН}$$

Решение:

$$W_{L\max} = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$W_{L\max} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2}{2}$$

$$W_{L\max} = 25 \cdot 10^{-12} \text{ (Дж)}$$

$W_{L\max} - ?$

Ответ:

$$W_{L\max} = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ (Дж)}$$

Вариант № 2

Дано:

$$U_m = 2 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$C = 3 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Решение:

$$W_{C\max} = \frac{CU_m^2}{2}$$

$$W_{C\max} = \frac{3 \cdot 10^{-12} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}{2}$$

$W_{C\max} - ?$

$$W_{C\max} = 6 \cdot 10^{-18} \text{ (Дж)}$$

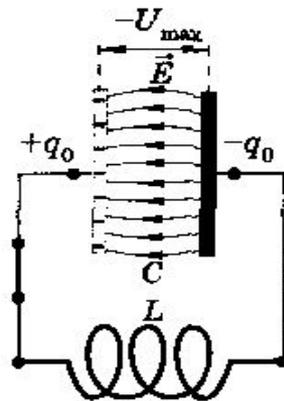
Ответ:

$$W_{C\max} = 6 \cdot 10^{-18} \text{ (Дж)}$$

Задача № 7.

Заряд на обкладках конденсатора колебательного контура изменяется по закону $q = 3 \cdot 10^{-7} \cos 800\pi t$. Индуктивность контура 2 Гн. Напишите уравнение зависимости силы тока от времени. Определите амплитуду колебаний заряда, амплитуду силы тока, циклическую частоту, определите максимальную энергию магнитного поля катушки.

Дано:



Задача № 8.

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

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	1,5	0	-1,5	-2	-1,5	0	1,5	2	1,5

1. Напишите уравнение зависимости заряда от времени. Найдите амплитуду колебаний заряда, период, циклическую частоту, линейную частоту.
2. Какова энергия магнитного поля катушки в момент времени $t=5$ мкс, если емкость конденсатора 50 пФ.
3. Д/з. Напишите уравнение зависимости силы тока от времени. Найдите амплитуду колебаний силы тока. Постройте графическую зависимость силы тока от времени.

1

Решение:

$$Q_m = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

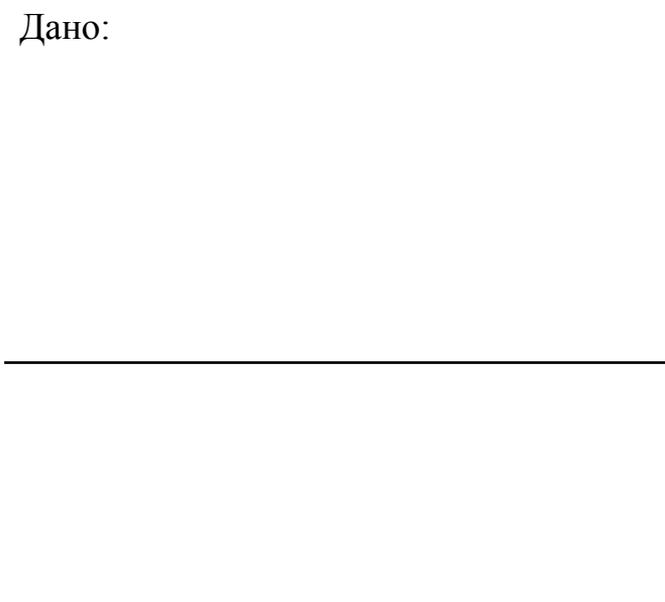
$$T = 8 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \omega = \frac{2\pi}{8 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6 \pi}{4} \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right), \nu = \frac{1}{T}, \nu = \frac{1 \cdot 10^6}{8} = 125 \text{ (кГц)}$$

$$q = Q_m \cos\left(\frac{10^6 \pi}{4t}\right)$$

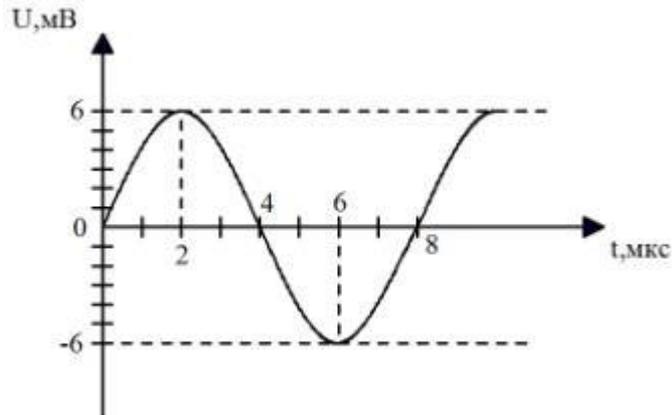
2

Дано:

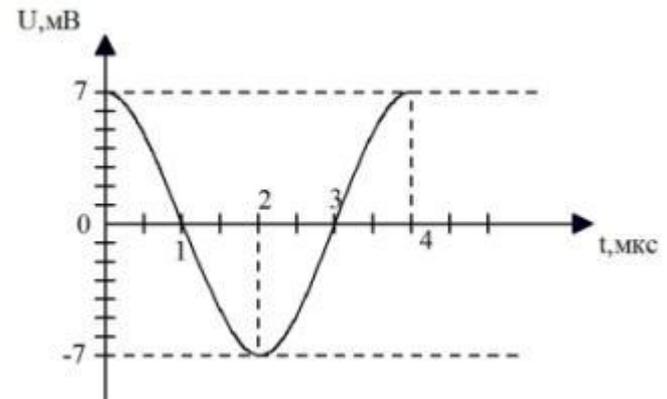


Самостоятельная работа:

Вариант № 1



Вариант № 2



1. По графику зависимости напряжения от времени определите:

Сколько раз энергия катушки достигает максимального значения на протяжении периода

Сколько раз энергия катушки достигает минимального значения на протяжении периода

2. Определить амплитуду колебаний напряжения, период, линейную частоту, циклическую частоту. Напишите уравнение зависимости напряжения от времени.



1) 4

1) 3

