Решение задач ЕНТ

по теме «Электромагнитная индукция. Электромагнитные колебания и волны»

Учитель физики СОШ № 5 г.Павлодара

Хренова Ольга Юрьевна

Задача

Если в энергию электромагнитного излучения превращается 1% кинетической энергии электронов, то длинноволновая граница непрерывного рентгеновского излучения в рентгеновской трубке, работающей под напряжением 50 кВ, равна (с= 3·10⁸м/с, h= 6,62·10⁻³⁴Дж.с, q_e = -1,6·10⁻¹⁹ Кл)

Решение:

Мы знаем, что работа равна изменению кинетической энергии. Работу совершает электрическое поле, поэтому $eU = \frac{mv^2}{2}$

По условию задачи в энергию электромагнитного излучения превращается 1% кинетической энергии, значит,

$$0{,}01eU = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Поэтому, $\lambda = \frac{hc}{0{,}01eU} = \frac{6{,}62\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{0{,}01\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 50\cdot 10^{3}} = 2{,}48\cdot 10^{-9}\, м$

Задача

Поезд движется по рельсам, расстояние между которыми 1,2 м, со скоростью 72 км/ч. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 50 мкТл. Если на рельсы положить перемычку сопротивлением 0,2 Ом, то по ней потечет ток

Решение:

Силу тока определяем по закону Ома для участка цепи $I = \dfrac{U}{R}$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося в магнитном поле, определяется соотношением

$$U = Bvl\sin\alpha \qquad \left(\alpha = 90^0\right)$$

Тогда $I = \dfrac{Bvl}{R} = \dfrac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 1{,}2}{0{,}2} = 0{,}6 \cdot 10^{-3}\, A = 0{,}6 мA$

Задача.
В однородном магнитном поле на замкнутый проводящий контур с током 2А действует момент сил 0,03 Н·м. площадь контура 50 см^2. Если нормаль к контуру перпендикулярна к линиям индукции, то модуль вектора магнитной индукции равен

Решение:

Момент сил Ампера

$$M = BIS\sin\alpha,$$

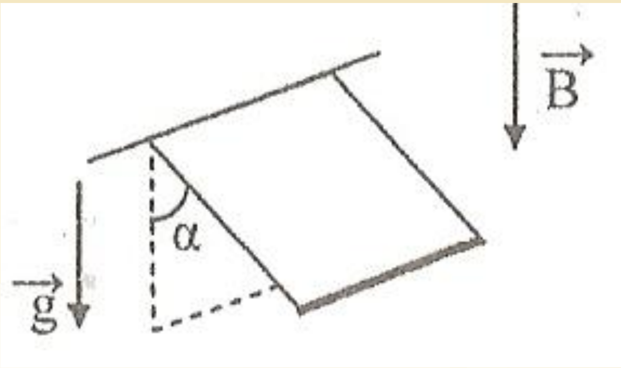
где α- угол между линиями магнитной индукции и нормалью к рамке

В нашем случае он равен 90º, значит,

$$B = \frac{M}{IS} = \frac{0{,}03H \cdot м}{2A \cdot 50 \cdot 10^{-4} м^2} = 3Тл$$

Задача.

Проводник массой 20 г и длиной 10 см, подвешенный на тонких нитях, внесен в магнитное поле с индукцией 0,9 Тл. Если по проводнику течет ток 2 А, то проводник отклонится на угол, тангенс которого равен (g = 10 м/с^2)



Решение:

Проводник находится в состоянии покоя, значит

$$\vec{F}_т + \vec{F}_A + \vec{F}_н = 0$$

Найдем проекции на оси координат

$$F_A - F_H \cdot \sin\alpha = 0$$

$$-mg + F_H \cdot \cos\alpha = 0$$

$$F_H = \frac{mg}{\cos\alpha}$$

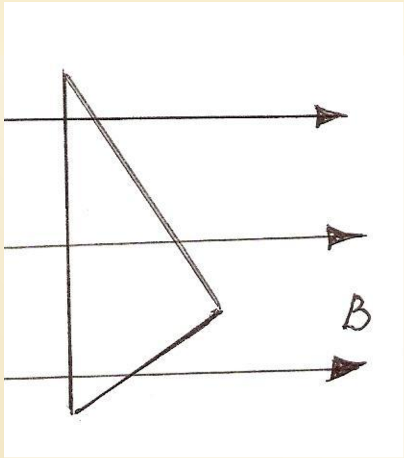
$$F_A = F_H \cdot \sin\alpha = \frac{m \cdot g}{\cos\alpha} \cdot \sin\alpha = m \cdot g \cdot tg\alpha$$

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\varphi$$

$$B \cdot I \cdot l = m \cdot g \cdot tg\alpha \Rightarrow tg\alpha = \frac{B \cdot I \cdot l}{m \cdot g} = \frac{0{,}9 \cdot 2 \cdot 0{,}1}{0{,}02 \cdot 10} = 0{,}9$$

Задача

Контур с током в форме прямоугольного треугольника, катеты которого равны a = 8см и b = 6см, расположен в магнитном поле с индукцией B = 0,02 Тл. Гипотенуза треугольника перпендикулярна к линиям индукции поля, которые лежат в плоскости треугольника. Если сила, действующая со стороны поля на гипотенузу, равна $F = 4 \cdot 10^{-3}$ Н, то в контуре течет ток



Решение:

на проводник с током действует сила Ампера

$$F_A = BIl \sin\alpha$$

Гипотенуза треугольника перпендикулярна к линиям индукции поля, значит $\sin\alpha = 1$

тогда $I = \dfrac{F_A}{Bl}$

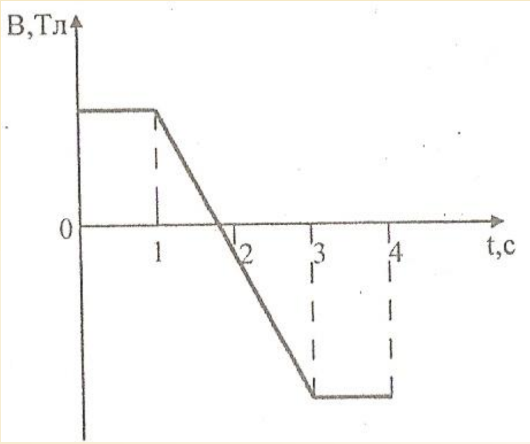
Длину гипотенузы найдем из прямоугольного треугольника по теореме Пифагора

$$l = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10см = 0,1м$$

Находим силу тока $I = \dfrac{4 \cdot 10^{-3}\, Н}{0,02 Тл \cdot 0,1 м} = 2A$

Задача.

Проволочный виток находится в магнитном поле, перпендикулярном плоскости витка, и своими концами замкнут на амперметр. Зависимость вектора магнитной индукции от времени показана на графике. Амперметр покажет наличие тока в промежуток времени



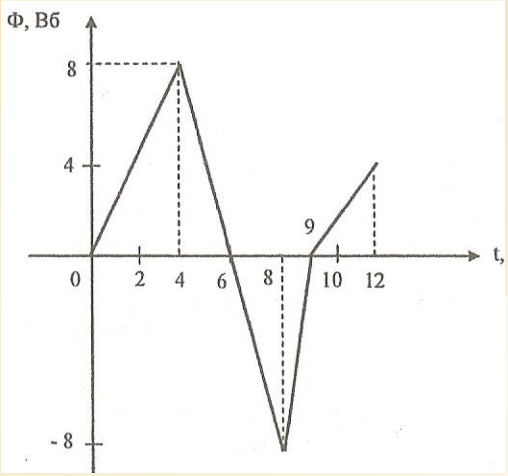
Решение:

По определению явления электромагнитной индукции и опытов ее подтверждающих:

Индукционный ток возникает в контуре тогда и только тогда, когда поток вектора индукции меняется с течением времени, т.е. $\Delta\Phi \neq 0$.

Значит, должна изменяться магнитная индукция, а это происходит на участке от 1 с до 3 с.

Задача
При изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур в зависимости от времени, как показано на графике, максимальный модуль ЭДС индукции, возникающей в контуре, наблюдается в промежутке времени



Решение:
По закону электромагнитной индукции найдем ЭДС индукции на всех участках

От 0с до 4с: $$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{8-0}{4} = 2B$$

От 4с до 8с: $$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{8-(-8)}{4} = \frac{16}{4} = 4B$$

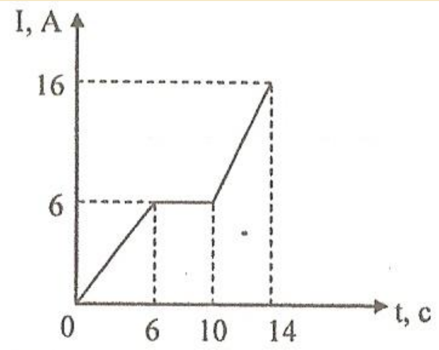
От 8с до 9с: $$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{8-0}{1} = 8B$$

От 9с до 12с: $$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{4-0}{3} = 1{,}33B$$

Поэтому выбираем участок от 8 до 9 секунд

(или, по графику- чем больше угол наклона к горизонтали, тем больше изменение)

Задача
На рисунке показан график зависимости силы тока от времени в катушке индуктивности. Индуктивность катушки 10 мГн. Величина возникающей ЭДС самоиндукции за промежуток времени от 0 до 6 равна



Решение:
Закон электромагнитной индукции для явления самоиндукции

$$\varepsilon_i = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

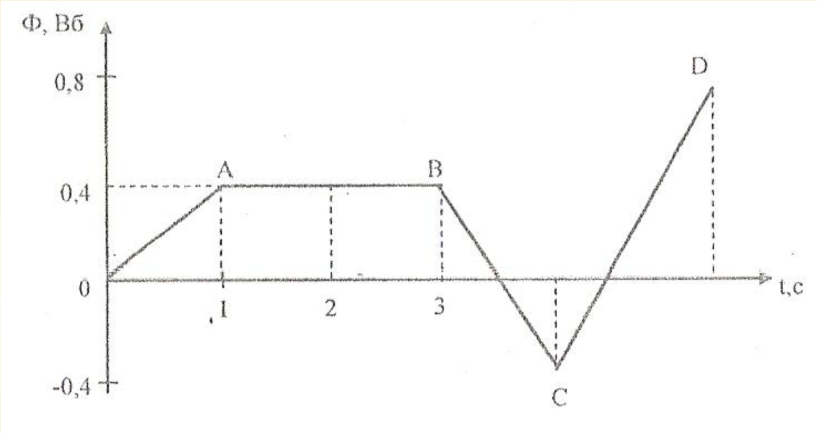
За промежуток времени от 0 до 6 секунд сила тока изменяется от 0 до 6 А (из графика)

Считаем ЭДС

$$\varepsilon_i = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -10 \cdot 10^{-3}\, Гн \cdot \frac{(6-0)A}{(6-0)c} = -0{,}01B$$

(Ответ дан по модулю)

Задача
Зависимость от времени магнитного потока, пронизывающего виток,
Показана на рисунке. Если сопротивление витка равно 0,2 Ом, то ток в витке на интервале BC равен



Решение:
Силу тока определим по закону Ома для участка цепи $I = \frac{e}{R}$

ЭДС определим по закону электромагнитной индукции

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{-0{,}4 - 0{,}4}{1} = 0{,}8B$$

$$I = \frac{0{,}8}{0{,}2} = 4A$$

Задача.
Магнитный поток через поверхность, ограниченную замкнутым проводником, в течение 0,1 с равномерно уменьшается от 0,2 Вб до 0,1 Вб.
Если электрическое сопротивление проводника 2 Ом, то сила индукционного тока в нем равна

Решение:

<u>I способ</u>. По определению силы тока

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

Заряд, проходящий через проводник за это время, можно найти через изменение магнитного потока

$$q = \frac{\Delta \Phi}{R}$$

Значит, $$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t \cdot R} = \frac{(0{,}2 - 0{,}1) Вб}{0{,}1 с \cdot 2 Ом} = 0{,}5 A$$

<u>II способ.</u>

По закону Ома и закону электромагнитной индукции приходим к тому же соотношению.

Задача.

В однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл находится прямой проводник длиной 0,1 м, расположенный перпендикулярно магнитным линиям. По проводнику течет ток силой 2 А. Под действием силы Ампера проводник движется из состояния покоя без трения с ускорением 0,2 м/с^2. Работа силы Ампера за 4 с равна

Решение:

Работа любой силы может быть определена по формуле

$$A = FS\cos\alpha, \cos\alpha = 1$$

В данном случае работу совершает сила Ампера

$$F = BIl\sin\alpha_1, \sin\alpha_1 = 1$$

Перемещение за 4 с из состояния покоя

$$S = \frac{at^2}{2}$$

Тогда,

$$A = \frac{B \cdot I \cdot l \cdot a \cdot t^2}{2} = \frac{0{,}2Тл \cdot 2А \cdot 0{,}1м \cdot 0{,}2\frac{м}{с^2} \cdot 4^2 с^2}{2} = 64 \cdot 10^{-3}\,Дж = 64мДж$$

Задача.

Катушка диаметром d, имеющая N витков, находится в магнитном поле, направленном параллельно оси катушки. Если индукция магнитного поля за время Δt увеличилась от 0 до B, то среднее значение ЭДС индукции в катушке равно

Решение:

ЭДС катушки определяется соотношением $\varepsilon = N \cdot \varepsilon_1$

По закону электромагнитной индукции (по модулю) $\varepsilon_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t}$

$$\Delta B = B - 0 = B$$

$S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь, ограниченная контуром

Значит,

$$\varepsilon = \frac{NB\pi d^2}{4\Delta t}$$

Задача

Магнитный поток в рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, изменяется по закону $\Phi = 3 \cdot 10^{-2} \cos 157t$. Максимальное значение ЭДС и частота тока соответственно равны

Решение:

По закону электромагнитной индукции $e = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$

$$e = \left(3 \cdot 10^{-2} \cos 157t\right)' = -3 \cdot 10^{-2} \cdot 157 \sin 157t = -4{,}71 \sin 157t$$

Значит, максимальное значение ЭДС (то, что стоит перед тригонометрической функцией) равно 4,71В. Далее находим частоту

$$\omega = 2\pi\nu = 157$$

$$\nu = \frac{157}{2\pi} = 25\,Гц$$

Задача
Конденсатор включен в цепь переменного тока промышленной частоты ν =50 Гц. Если напряжение в сети 220 В, а максимальная сила тока 4 А, то емкость конденсатора равна

Решение:

Емкость конденсатора можно найти через емкостное сопротивление

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

По закону Ома для участка цепи

$$X_c = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U\sqrt{2}}{I_m} = \frac{220\sqrt{2}}{4} = 77{,}8 Ом$$

$$C = \frac{1}{2\pi\nu X_c} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 77{,}8} = 4{,}1\cdot 10^{-5} Ф$$

Задача

Амплитуда переменного напряжения на концах катушки 157 В, амплитуда силы тока 5 А. индуктивность катушки при частоте 50 Гц равна (π = 3,14)

Решение:

По закону Ома для участка цепи определим индуктивное сопротивление-сопротивление катушки

$$X_L = \frac{U_m}{I_m}$$

Индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L$$

Находим индуктивность катушки *L*

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = \frac{U_m}{2\pi\nu I_m} = \frac{157\,В}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\,Гц \cdot 5\,А} = 0{,}1\,Гн$$

Задача
Два одинаковых конденсатора включены в цепь переменного тока параллельно. При отсоединении одного из них ёмкостное сопротивление цепи

Решение:

Емкостное сопротивление $X_C = \dfrac{1}{\omega \cdot C}$

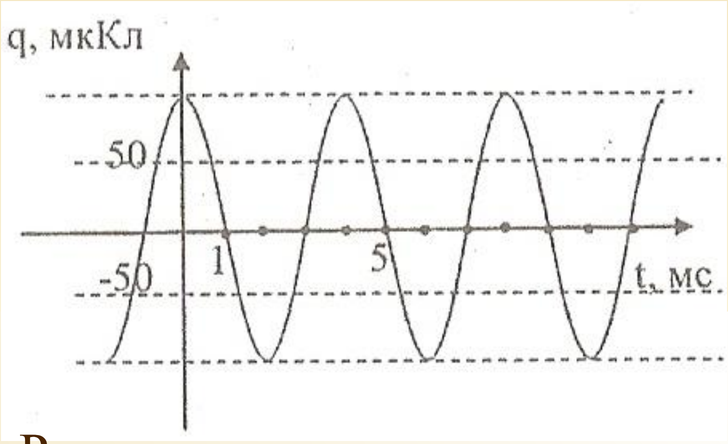
При параллельном соединении для конденсаторов выполняется соотношение

$C = C_1 + C_2$

По условию задачи $C_1 = C_2$

Значит, при отсоединении одного из конденсаторов общее сопротивление С уменьшится в 2 раза, **поэтому емкостное сопротивление увеличится в 2 раза** (оно обратнопропорционально ёмкости)

Задача.
На графике изображена зависимость колебаний заряда от времени в колебательном контуре. Если емкость конденсатора 50 мкФ, то индуктивность катушки



Решение:
Для колебательного контура

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

По графику определяем период, в данной задаче он равен 4 мс.

Тогда

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{\left(4\cdot 10^{-3}\right)^2 c^2}{4\cdot 10\cdot 50\cdot 10^{-6}\,\Phi} = 0{,}008\,Гн = 8\,мГн$$

Задача

В идеальном колебательном контуре колебания заряда происходят по закону $q = q_m cos\omega t$. Энергия электрического поля конденсатора будет в 3 раза больше энергии магнитного поля катушки, через промежуток времени, равный

Решение:

Полная энергия равна $W = W_э + W_м = W_э + \frac{1}{3}W_э = \frac{4}{3}W_э$

Полная энергия равна максимальному значению энергии электрического поля и максимальному значению энергии магнитного поля, поэтому

$$W = \frac{q_m^2}{2C}$$

Значит, $\frac{q_m^2}{2C} = \frac{4}{3} \cdot \frac{q_m^2 \cos^2 \omega t}{2C}$ Или $q_m = \frac{2}{\sqrt{3}} q_m \cos \omega t$

Решаем уравнение $\frac{\sqrt{3}}{2} = \cos \omega t$, $\omega \cdot t = \frac{\pi}{6}$

По определению $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Значит , $\frac{2\pi}{T} t = \frac{\pi}{6} \Rightarrow t = \frac{T}{12}$

Задача.
Через 15 мс при амплитуде напряжения 200 В и периоде 60 мс значение напряжения будет (колебания происходят по косинусоидальному закону)

Решение:

Уравнение колебаний имеет вид

$$u = U_m \cos \omega t$$

Циклическая частота $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

Тогда,

$$u = 200 \cos \frac{2\pi}{60} \cdot 15 = 200 \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

Задача.
Идеальный колебательный контур имеет индуктивность 0,8 мГн и электроемкость 0,02 мкФ. Если максимальное напряжение на конденсаторе 200 В, то максимальная сила тока

Решение:

В колебательном контуре максимальные значения энергий электрического и магнитного полей равны.

$$W_{э\max} = W_{м\max}$$

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \quad \text{или} \quad CU_m^2 = LI_m^2$$

Значит,

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L} \cdot U_m^2} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U_m = \sqrt{\frac{0{,}02 \cdot 10^{-6}\, Ф}{0{,}8 \cdot 10^{-3}\, Гн}} \cdot 200В = 1А$$

Задача.
В электрическом колебательном контуре емкость конденсатора 2 мкФ, а максимальное напряжение на нем 5 В. В момент времени, когда напряжение на конденсаторе равно 3 В, энергия магнитного поля катушки равна

Решение:
По закону сохранения энергии полная энергия в идеальном колебательном контуре остается неизменной и равна сумме энергий электрического и магнитного
Полей
Кроме этого полная энергия равна максимальным значениям этих энергий

$$W = W_э + W_м = W_{э\max} = W_{м\max}$$

Тогда

$$W_м = W_{э\max} - W_э = \frac{CU_m^2}{2} - \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2}\left(U_m^2 - U^2\right)$$

Подставляем заданные значения и определяем энергию

$$W_м = \frac{2 \cdot 10^{-6} Ф}{2} \cdot (25 - 9) В^2 = 1{,}6 \cdot 10^{-5}\ Дж$$

Задача.

Максимальная энергия, которая может накопиться в катушке контура индуктивностью L, равна $W = 2W_1$. максимальное напряжение на конденсаторе $U = 2U_1$. Частоту ν, на которую настроен радиоприемник, можно рассчитать по формуле

Решение:

По формуле Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$

Частота $\nu = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

В колебательном контуре максимальные значения энергий электрического и магнитного полей равны

$$W_{э\max} = W_{м\max}$$

$$W_{э\max} = \frac{CU_m}{2} = \frac{C\cdot(2U_1)^2}{2} \Rightarrow C = \frac{2\cdot W_{\max}}{(2U_1)^2} = \frac{2\cdot 2\cdot W_1}{4U_1^2} = \frac{W_1}{U_1^2}$$

Тогда $\nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{\dfrac{LW_1}{U_1^2}}} = \dfrac{U_1}{2\pi\sqrt{LW_1}}$

Задача.

Максимальная энергия, которая может накопиться в катушке контура индуктивностью L, равна $W = 2W_1$. Максимальное напряжение на конденсаторе $U = 2U_1$. Длина волны λ, на которую настроен приемник, можно рассчитать по формуле (с- скорость электромагнитной волны)

Решение:

$$\lambda = c \cdot T \qquad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

В колебательном контуре максимальные значения энергий электрического и магнитного полей равны $W_{э\max} = W_{м\max}$

$$W_{э\max} = \frac{CU_m}{2} = \frac{C\cdot(2U_1)^2}{2} \Rightarrow C = \frac{2\cdot W_{\max}}{(2U_1)^2} = \frac{2\cdot 2\cdot W_1}{4U_1^2} = \frac{W_1}{U_1^2}$$

Значит,

$$\lambda = c\cdot 2\pi\sqrt{\frac{LW_1}{U_1^2}} = \frac{2\pi c\sqrt{LW_1}}{U_1}$$

Задача.
Максимальная энергия, которая может накопиться в конденсаторе колебательного контура приемника W = 2W₁, а максимальный ток, который может пройти через катушку I = 2I₁.Емкость конденсатора С. Длина волны λ,на которую настроен приемник,можно рассчитать по формуле (с- скорость электромагнитной волны)

Решение:

$$\lambda = c\cdot T \qquad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$W_{э\max} = W_{м\max}$$

$$W_{м\max} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{L(2I_1)^2}{2}$$

$$L = \frac{2W_m}{(2I_1)^2} = \frac{2\cdot 2\cdot W_1}{4\cdot I_1^2} = \frac{W_1}{I_1^2}$$

$$\lambda = c\cdot 2\pi\sqrt{\frac{CW_1}{I_1^2}} = \frac{2\pi c\sqrt{CW_1}}{I_1}$$

Задача.
Сила тока в открытом колебательном контуре (в виде стержня) изменяется по закону $i = 150\cos 6\cdot10^8\pi t$. Длина l этого стержня равна ($c = 3\cdot 10^8$ м/с; $\lambda=2l$)

Решение:

Из заданного уравнения

$$\omega = 6\cdot10^8\pi$$

По определению $\omega = 2\pi\nu$, значит,

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6\cdot10^8\pi}{2\pi} = 3\cdot10^8 c^{-1}$$

Длина волны

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3\cdot10^8}{3\cdot10^8} = 1м$$

Поэтому длина стержня равна

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{1м}{2} = 0{,}5м$$

Задача.
Колебательный контур состоит из катушки с постоянной индуктивностью и конденсатора с переменной емкостью с раздвигающимися пластинами. Расстояние между пластинами конденсатора для настройки контура на прием
1) более низкочастотных волн;
2) более высокочастотных волн

Решение:
Частота связана с характеристиками контура соотношением

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Для плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$$

Значит, для уменьшения частоты электроемкость нужно увеличить, т.е. расстояние между пластинами нужно уменьшить или сдвинуть пластины
Для увеличения частоты электроемкость нужно уменьшить, т.е. расстояние между пластинами нужно увеличить или раздвинуть пластины

Задача.

Радиоприемник настроен в резонанс на длину волны 400 м при емкости колебательного контура 200 мкФ. Если, не меняя индуктивность колебательного контура, увеличить его емкость до 800 мкФ, то длина волны, на которую будет настроен радиоприемник, равна

Решение:

Длина волны зависит от периода $\lambda = c \cdot T$

Для колебательного контура $T = 2\pi\sqrt{LC}$

Электроемкость увеличилась в

$$\frac{800\,мкФ}{200\,мкФ} = 4\,раза$$

Значит, период увеличился в $\sqrt{4} = 2\,раза$

Тогда,

$$\lambda_2 = 2\lambda_1 = 2 \cdot 400\,м = 800\,м$$