Задание:

- Изучить теорию;
- **Посмотреть видео:** https://www.youtube.com/watch?v=1YTISXwB2fc&t=14
- Написать конспект;
- Разобрать и записать в тетрадь задачи.
- По вопросам обращаться 072-1098278 или hvastov@rambler.ru
- Фотоотчёт конспекта прислать в течение 3 дней со дня получения задания на **hvastov@rambler.ru**

Тема: Свободные и вынужденные электромагнитные колебания. Колебательный контур

Цель: Вспомнить свободные и вынужденные колебания в механике. Привести аналогию в электричестве.

План

1) электромагнитные колебания, колебательный контур;
2) универсальность основных закономерностей колебательных процессов для колебаний любой физической природы;
3) гармонические колебания;
4) физический смысл характеристик колебаний.
5) графики зависимости электрического заряда, силы тока и напряжения от времени при свободных электромагнитных колебаниях.
6) определение по графику характеристик колебаний;
7) аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями.
8) формула Томсона.

Глоссарий по теме

Электромагнитными колебаниями называют периодические изменения со временем заряда, силы тока и напряжения.

Электромагнитные колебания бывают двух видов - **свободные** и **вынужденные**.

Свободными колебаниями называют колебания, возникающие в колебательной системе за счет первоначально сообщенной этой системе энергии.

Вынужденные электромагнитные колебания - это периодические изменения заряда, силы тока и напряжения в цепи под действием переменной электродвижущей силы от внешнего источника.

Система, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, присоединенной к его обкладкам, называется **колебательным контуром.**

Период электромагнитных колебаний – промежуток времени, в течение которого ток в колебательном контуре и напряжение на пластинах конденсатора совершает одно полное колебание.

Частота колебаний – число колебаний в единицу времени.

Основная и дополнительная литература:

Мякишев Г.Я.,Буховцев Б.Б.,Чаругин В.М. Физика.11 класс. Учебник для общеобразовательных организаций. М.: Просвещение, 2014. – С. 74 - 82.

Рымкевич А.П. Сборник задач по физике. 10-11 класс. -М.: Дрофа, 2009. – С. 126 – 128.

Основное содержание занятия

К**олебательным контуром** называется система, состоящая из конденсатора и катушки, присоединенной к его обкладкам, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания

Электромагнитные колебания в контуре происходят с большой частотой и определять его характеристики без осциллографа невозможно.

Развертка получаемая на экране осциллографа схожа с той, что вычерчивает маятник с песочницей над движущимся листом бумаги при колебаниях математического маятника.

Чтобы в колебательном контуре возникли колебания, необходимо сообщить колебательному контуру энергию, зарядив конденсатор от источника тока.

Энергия, полученная конденсатором заключена в электрическом поле обкладок

$$W_э = \frac{q_м^2}{2C}$$

где $q_м$ - заряд конденсатора, *C* – его электроемкость.

Между обкладками конденсатора возникает разность потенциалов U_m.

При разрядке конденсатора энергия электрического поля превращается в энергию магнитного поля, определяемая по формуле

$$W_м = \frac{L \cdot i^2}{2}$$

где L – индуктивность катушки, i – сила переменного тока.

Полная энергия колебательного контура равна

$$W = \frac{L \cdot i^2}{2} + \frac{q_м^2}{2C}$$

Когда конденсатор разрядится полностью, вся энергия электрического поля превращается в энергию магнитного поля. Когда сила тока и созданное им магнитное поле начинает уменьшаться, возникает ЭДС самоиндукции, стремящийся поддержать ток, и начинается перезарядка конденсатора. При свободных колебаниях через промежутки времени, равные периоду колебаний, состояние системы в точности повторяется. **Полная энергия такой системы** любой момент времени равно максимальной энергии электрического поля или максимальной энергии магнитного поля.

$$W = \frac{L \cdot i^2}{2} + \frac{q_м^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{L\, I_m^2}{2}$$

q, *u* и *i* - мгновенные значения заряда, напряжения и силы тока. При отсутствии сопротивления в контуре полная энергия электромагнитного поля не изменяется. Колебания затухающие, сопротивление катушки и проводников превращают энергию электромагнитного поля во внутреннюю энергию проводника.

Электромагнитные колебания в контуре имеют сходство со свободными механическими колебаниями. Характер периодического изменения различных величин одинаков. При механических колебаниях периодически изменяются координата тела *x* и проекция его скорости v_x, а при электромагнитных колебаниях изменяются заряд *q* конденсатора и сила тока *i* в цепи.

Индуктивность катушки *L* аналогична массе тела *m*, при колебаниях груза на пружине, кинетическая энергия тела $E_к = \frac{mv^2}{2}$, аналогична энергии магнитного поля тока $W = \frac{L \cdot i^2}{2}$.

Роль потенциальной энергии выполняет энергия заряда конденсатора:

$$W = \frac{q_м^2}{2C}$$

Координата тела аналогична заряду конденсатора.

Полная энергия колебательного контура, в любой момент времени, равна сумме энергий магнитного и электрического полей:

$$W = \frac{L \cdot i^2}{2} + \frac{q_м^2}{2C}$$

Производная полной энергии по времени равна нулю при R = 0. Следовательно, равна нулю сумма производных по времени от энергий магнитного и электрического полей:

$$\left(\frac{L \cdot i^2}{2}\right)' + \left(\frac{q_м^2}{2C}\right)' = 0$$

то есть

$$\left(\frac{L \cdot i^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q_м^2}{2C}\right)'$$

Знак « - » минус в этом выражении означает, что, когда энергия магнитного поля возрастает, энергия электрического поля убывает и наоборот. Физический смысл этого выражения заключается в том, что скорость изменения энергии магнитного поля равна по модулю и противоположна по направлению скорости изменения электрического поля.

Электрический заряд и сила тока, при свободных колебаниях с течением времени изменяются по закону синуса или косинуса, то есть совершают *гармонические* колебания.

Циклическая частота для свободных электрических колебаний:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Период свободных колебаний в контуре равен:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

Формула Томсона.

Период свободных электрических колебаний в колебательном контуре зависит от индуктивности катушки и емкости конденсатора.

Период электромагнитных колебаний – промежуток времени, в течение которого ток в колебательном контуре и напряжение на пластинах конденсатора совершает одно полное колебание.

Частотой колебаний называется величина, обратная периоду колебаний:

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

Частоту свободных колебаний называют **собственной частотой колебательной системы.**

Заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону:

$$q = q_m \cos \omega_0$$

где q_m – амплитуда колебаний заряда. Сила тока также совершает гармонические колебания:

$$i = q' = -\omega_0 q_m \sin \omega_0 t = I_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right)$$

где $I_m = q_m \omega_0$ – амплитуда колебаний силы тока. Колебания силы тока опережают по фазе колебания заряда на $\frac{\pi}{2}$.

Разбор типовых тренировочных заданий

Задача 1. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью 2 мкФ и катушки индуктивности. В контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице приведена зависимость энергии *W*, запасённой в конденсаторе идеального колебательного контура, от времени *t*.

t, нс	0	125	250	375	500	625	750	875	1000
W, мкДж	0	3,66	12,5	21,34	25,0	21,34	12,5	3,66	0,00

t, нс	1125	1250	1375	1500	1625	1750	1875	2000	2125
W, мкДж	3,66	12,5	21,34	25,0	21,34	12,50	3,66	0,00	3,66

На основании анализа этой таблицы выберите два верных утверждения.

1) Период электромагнитных колебаний в контуре равен 1 мкс.

2) Период электромагнитных колебаний в контуре равен 2 мкс.

3) Индуктивность катушки равна примерно 13 нГн.

4) Максимальное напряжение на конденсаторе равно 5 В.

5) Максимальное напряжение на конденсаторе равно 50 кВ.

Решение. При электромагнитных колебаниях в контуре происходит периодическое превращение энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки и обратно, при этом максимальная энергия, запасенная в катушке, равна максимальной энергии, запасенной в конденсаторе

$$W_{max} = \frac{C \cdot U_m^2}{2} = \frac{L\, I_m^2}{2}$$

Период колебаний конденсатора равен 1000 нс, но период электромагнитных колебаний в контуре в два раза больше и составляет 2000 нс = 2 мкс.

Утверждение 2 — верно, утверждение 1 — неверно.

Воспользуемся формулой Томсона и выразим индуктивность катушки:

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

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{2 \cdot 10^{-6} c}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{Ф}} \approx 0{,}0254 \text{Гн}$$

Утверждение 3 — неверно.

Максимальное напряжение на конденсаторе равно

$$W_{max} = \frac{C \cdot U_m^2}{2}$$

Значение W_{max} находим из таблицы =25 мкДж

$$U_m = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{max}}{C}} = 5B$$

Утверждение 4 верно, 5 - неверно

2. Емкость конденсатора колебательного контура C=1мкФ, индуктивность катушки L=0,04 Гн, амплитуда колебаний напряжения U_m=100 В.

В данный момент времени напряжение на конденсаторе u=80 В. Найти:

1. амплитуду колебаний силы тока I_m;

2. полную энергию W;

3. энергию электрического поля $W_{эл}$;

4. энергию магнитного поля $W_м$;

5. мгновенное значение силы тока i.

Дано:

C=1 мкФ=0,000001Ф

L=0,04 Гн

U_m=100 В

u=80 В

Найти: I_m; W; $W_{эл}$; $W_м$; i.

Решение

Из закона сохранения энергии максимальные энергии конденсатора и катушки индуктивности равны

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

Откуда

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$I_m = 100B \sqrt{\frac{10^{-6}\text{Ф}}{0{,}04\text{Гн}}} = 0{,}5A$$

Полная энергия равна

$$W = \frac{L\, I_m^2}{2}$$

$$W = \frac{0{,}04\text{Гн} \cdot 0{,}5^2 A^2}{2} = 0{,}005\text{Дж}$$

Энергия электрического поля в момент, когда напряжение на конденсаторе $u = 80B$

$$W_{эл} = \frac{C \cdot u^2}{2}$$

$$W_{эл} = \frac{10^{-6}Ф \cdot (80B)^2}{2} = 0{,}0032Дж$$

Из закона сохранения энергии $W = W_{эл} + W_м$ выразим $W_м$:

$$W_м = W - W_{эл} = 0{,}005Дж - 0{,}0032Дж = 0{,}0018Дж$$

Мгновенное значение силы тока выразим из формулы:

$$\frac{L \cdot i^2}{2} + \frac{C \cdot u^2}{2} = \frac{L\, I_m^2}{2}$$

$$i = \sqrt{I_m^2 - \frac{C \cdot u^2}{L}}$$

$$i = \sqrt{(0{,}5A)^2 - \frac{0{,}000001 \cdot (80B)^2}{0{,}04Гн}} = 0{,}3A$$