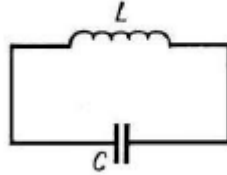


ЗАНЯТТЯ 1 (2 семестр)

Тема: ВІЛЬНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ. ФОРМУЛА ТОМСОНА

Коливальний контур.

Ми не можемо безпосередньо сприймати нашими органами чуття електромагнітні коливання так, як бачимо коливання маятника або чуємо коливання струни. Найпростішою установкою, в якій можна спостерігати електромагнітні коливання, є електричне коло – **коливальний контур**, до складу якого входить котушка індуктивністю L та конденсатор ємністю C . Такий коливальний контур називають **закритим**, оскільки він майже не випромінює енергії в довкілля.



Коливання, які виникають у коливальному контурі після початкового виведення системи з положення стійкої рівноваги, здійснюються завдяки внутрішнім силам системи, тобто є вільними.

Перетворення енергії в коливальному контурі.

Щоб здобути в контурі електромагнітні коливання, достатньо зарядити конденсатор і замкнути його на котушку. При цьому конденсатор дістане енергію:

$$W = \frac{q^2}{2C},$$

де q – заряд конденсатора, а C – його електроємність.

Під час розрядження конденсатора в колі виникає електричний струм, сила якого не відразу досягає максимального значення, а збільшується поступово. Це зумовлено явищем самоіндукції.

У міру розрядження конденсатора енергія електричного поля зменшується, але водночас зростає енергія магнітного поля струму, яка визначається формулою:

$$W = \frac{Li^2}{2},$$

де L – індуктивність котушки, i – сила змінного струму.

Повна енергія електромагнітного поля контуру дорівнює сумі енергій магнітного й електричного полів або максимальній енергії електричного поля конденсатора або максимальній енергії магнітного поля котушки зі струмом:

$$W = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} = const$$

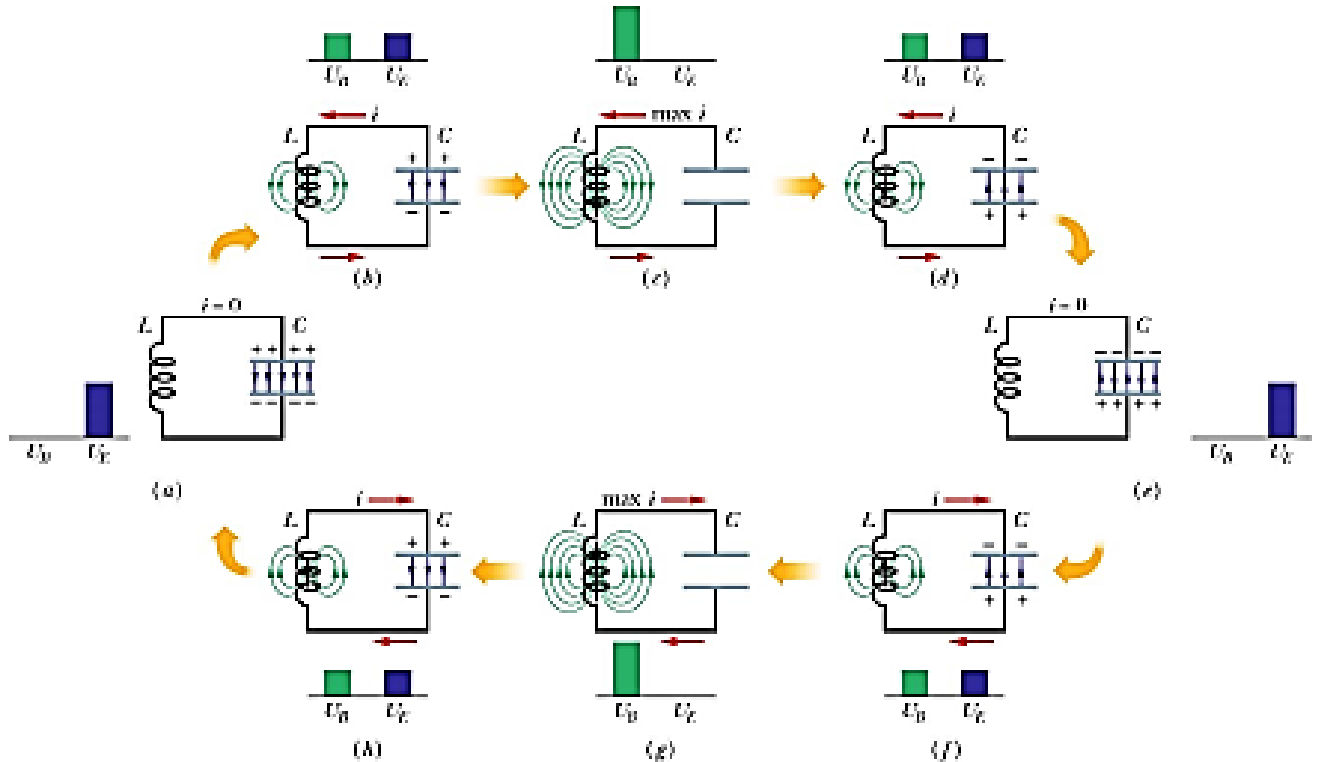
У момент, коли конденсатор цілком розрядиться, енергія електричного поля дорівнюватиме нулю. Енергія ж магнітного поля струму, згідно із законом збереження енергії, буде максимальною. У цей момент сила струму також досягне максимального значення I_m .

Незважаючи на те що до цього моменту різниця потенціалів на кінцях котушки дорівнювала нулю, електричний струм не може зникнути відразу. Цьому перешкоджатиме явище самоіндукції. Як тільки сила струму та створене ним

магнітне поле почнуть зменшуватися, виникне вихрове електричне поле, яке підтримуватиме наявність струму.

У результаті конденсатор перезаряджатиметься доти, поки сила струму, поступово зменшуючись, не дорівнюватиме нулю. Енергія магнітного поля в цей момент також буде дорівнювати нулю, а енергія електричного поля конденсатора знову стане максимальною.

Після цього конденсатор знову почне перезаряджатися й система повернеться у вихідне положення. Якби енергія не втрачалася, то цей процес продовжувався б як завгодно довго. Коливання були б незатухаючими.



Коливання, які відбуваються в ідеальній системі без тертя, тобто без втрат механічної енергії, ще називають **власними**.

Власні коливання - це теоретично можливі вільні незатухаючі коливання.

Насправді втрати енергії неминучі. Зокрема, котушка та з'єднувальні провідники мають опір R , і це спричинює поступове перетворення енергії електромагнітного поля на внутрішню енергію провідника.

Рівняння гармонічних електромагнітних коливань

Вираз для зміни заряду й сили струму в *ідеальному коливальному контурі* (при $R \rightarrow 0$) можна отримати із закону збереження енергії:

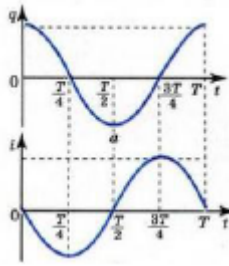
$$W = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} = const$$

Рівняння, яке описує *коливання заряду*:

$$q = q_{max} \cos \omega t$$

Рівняння, яке описує *коливання сили струму*:

$$i = I_{max} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$



Рівняння, яке описує *коливання напруги*:

$$u = U_{max} \cos \omega t$$

Графіки коливань заряду та сили струму наведено на малюнку.

Формула періоду власних електромагнітних коливань.

Період електромагнітних коливань - проміжок часу, протягом якого струм в коливальному контурі і напруга на пластинах конденсатора скоює одне повне коливання.

Для гармонійних коливань $T = 2\pi$ (найменший період косинуса).

Частота коливань - число коливань в одиницю часу - визначається так:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Частоту вільних коливань називають **власною частотою** коливальної системи.

Оскільки $\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$, то $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$.

Циклічну частоту ми визначили як, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ значить для періоду можна записати:

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

Цей вираз має назву **формула Томсона для періоду електромагнітних коливань**.

Тоді вираз для власної частоти коливань має вигляд:

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

Отримання незатухаючих коливань.

У реальному контурі заряджений конденсатор спричинює виникнення лише затухаючих коливань. У кінці кожного періоду коливань заряд на пластинах конденсатора зменшується порівняно з початком періоду.

Поповнювати енергію в контурі можна, підзаряджаючи конденсатор. Для цього потрібно періодично вмикати контур у коло джерела постійної напруги. При цьому конденсатор має вмикатися в коло джерела лише в ті проміжки часу, коли приєднана до позитивного полюса джерела пластина заряджена позитивно, а та, що приєднана

до негативного полюса, - негативно. Тільки за такої умови джерело підзаряджатиме конденсатор, поповнюючи його енергію. Система, яка сама регулює надходження енергії в коливальний контур для компенсації її втрат, називається **автоколивальною**.

Приклад розв'язування задач.

Задача 1. Коливальний контур складається з конденсатора місткістю 444 пФ і котушки з індуктивністю 4 мГн. На яку частоту налаштований контур?

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язання:</i>
$C = 4,44 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$	$T = \frac{1}{\nu}$
$L = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	$\nu = \frac{1}{T}$
$\nu - ?$	$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 4,44 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}}} = 1,194 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

Відповідь: $\nu = 1,194 \cdot 10^5 \text{ Гц}$

Задача 2. Як зміниться період і частота коливань в контурі, якщо індуктивність збільшити в 4 рази, а ємність - в 16 разів?

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язання:</i>
$L_2 = 4L_1$	$T_1 = 2\pi \times \sqrt{L_1 C_1}$
$C_2 = 16C_1$	$T_2 = 2\pi \times \sqrt{L_2 C_2}$
$\frac{T_2}{T_1} - ?$	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2\pi \times \sqrt{L_2 C_2}}{2\pi \times \sqrt{L_1 C_1}} = \sqrt{\frac{L_2 C_2}{L_1 C_1}} = \sqrt{\frac{4L_1 16C_1}{L_1 C_1}} = \sqrt{64} = 8$
$\frac{\nu_1}{\nu_2} - ?$	<i>Відповідь:</i> $\nu = \frac{1}{T}$ тоді $\frac{\nu_1}{\nu_2} = 8$ <i>значить період</i>
ν_2	<i>збільшиться 8 разів, а частота зменшиться у 8 разів</i>

Література

1. Коршак Є.В. Фізика 11 клас. Рівень стандарту. 2011р. - §48