

27.05.2022

Група 25

Фізика і астрономія

Урок 68

Тема: Вільні електромагнітні коливання в ідеальному коливальному контурі.

Мета уроку:

навчальна:

ввести поняття ідеального коливального контуру; ознайомити з рівняннями та графіками електромагнітних коливань, перетвореннями енергії в коливальному контурі; формувати знання про електромагнітні коливання у коливальному контурі, перетворення енергії в коливальному контурі;

### Матеріали до уроку:

#### Коливальний контур.

Як ви вже знаєте, електричний струм може бути постійним або змінним. Найбільшого поширення у світі дістав змінний струм частотою 50—60 Гц, створюваний індукційними генераторами. Однак для роботи багатьох пристроїв (комп'ютери, приймачі, телефони й ін.) необхідні змінні струми високих частот, вимірюваних кілогерцами (кГц) і мегагерцами (МГц). Для їх генерування застосовують спеціальні електричні кола — коливальні контури.

Ми не можемо безпосередньо сприймати нашими органами чуття електромагнітні коливання так, як бачимо коливання маятника або чуємо коливання струни.

Змінні електричні і магнітні поля не можуть існувати окремо одне від одного, оскільки в просторі, де існує змінне магнітне поле, збуджується електричне поле і навпаки.

Одночасні періодичні зміни пов'язаних між собою електричного і магнітного полів називають **електромагнітними коливаннями**.

Оскільки магнітне поле зосереджене переважно в котушках, а електричне — в конденсаторах, найпростіше коло для утворення електромагнітних коливань має складатися з конденсатора й котушки.

**Коливальний контур** — це фізичний пристрій, що складається з послідовно з'єднаних конденсатора й котушки індуктивності (рис.1).



Рис.1. Модель (а) та електрична схема (б) коливального контуру: 1 — котушка індуктивності; 2 — конденсатор

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.

Фізична модель, що являє собою коливальний контур, у якому відсутні втрати енергії, називається **ідеальним коливальним контуром**, а коливання в ідеальному коливальному контурі – **власними коливаннями**.

### **Перетворення енергії в коливальному контурі.**

Щоб отримати вільні коливання в механічній коливальній системі, необхідно надати цій системі енергії від побічного джерела. У процесі коливань ця енергія періодично перетворюється з потенціальної в кінетичну і навпаки. Щоб коливальний контур вивести зі стану електричної рівноваги, також потрібно цій коливальній системі надати певної енергії. Найпростіше це зробити, зарядивши конденсатор.

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

$$W = q^2 / 2C$$

де  $q$  - заряд конденсатора,

$C$  - 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:

$$W = Li^2 / 2$$

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:

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

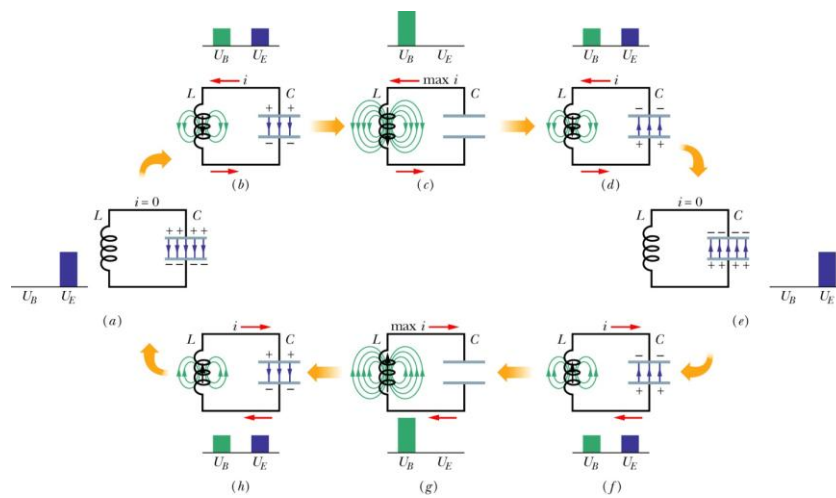
У момент, коли конденсатор цілком розрядиться, енергія електричного поля дорівнюватиме нулю. Енергія ж магнітного поля струму, згідно із законом збереження енергії, буде максимальною. У цей момент сила струму також досягне максимального значення  $I_m$ .

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.

Колівання, 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**

Закон збереження енергії для ідеального коливального контуру:

$$W = W_e + W_m$$

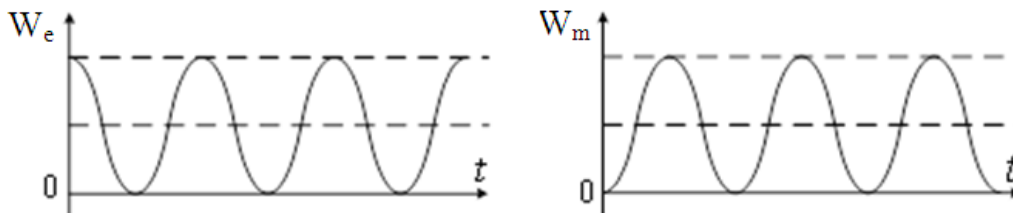
де  $W$  - повна енергія коливального контуру,

$W_e = q^2/2C = CU^2/2$  - енергія електричного поля конденсатора,

$W_m = LI^2/2$  - енергія магнітного поля котушки.

У момент часу, коли конденсатор повністю розрядився (через чверть періоду після початку розрядження конденсатора), енергія електричного поля стає рівною нулю, а енергія магнітного поля досягає максимального значення:

$$W_m = LI_{max}^2/2 = W$$



Після цього сила струму в контурі починає зменшуватись, отже, зменшується і магнітний потік. За законом електромагнітної індукції, зміні струму протидіє ЕРС самоіндукції, що виникає внаслідок зміни магнітного потоку. Тому через певний час конденсатор починає перезаряджатись, і між його обкладками знову виникає електричне поле, максимальне значення якого:

$$W_e = CU_{max}^2/2 = W$$

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

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

де  $U$  і  $I$  — миттєві значення напруги і сили струму.

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$

Рівняння, яке описує коливання заряду:

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

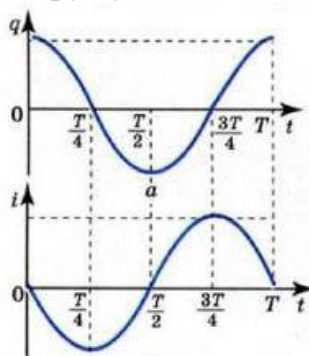
Рівняння, яке описує коливання сили струму:

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

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.

Важливою характеристикою будь-якого коливального процесу є амплітуда.

**Амплітудою гармонічних коливань** називається модуль найбільшого значення коливної величини.

Це може бути модуль електричного заряду або будь-якої іншої величини, що періодично змінюється. Амплітуда може мати різні значення в залежності від того, якого заряду було надано конденсатору в початковий момент часу. Інакше кажучи, амплітуда визначається початковими умовами.

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

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

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

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

**формула Томсона для періоду електромагнітних коливань** — на честь англійського фізика, котрий уперше її вивів.

Тоді вираз для власної частоти коливань має вигляд:

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

**Домашнє завдання:**

Написати конспект

Зворотній зв'язок

E-mail [vitasergiiivna1992@gmail.com](mailto:vitasergiiivna1992@gmail.com)