

15.12.2022

Група 23

Фізика і астрономія

Урок 69-70

Тема: Формула Томсона. Розв'язування задач

Мета уроку:

**навчальна:**

- вивести формулу Томсона і власної частоти коливання контуру;
- навчити учнів визначати період і частоту власних коливань у коливальному контурі.

**розвивальна:**

- розвивати логічне і абстрактне мислення, предметну компетентність, навички оперування фізичними величинами, формулами;
- розвивати пізнавальні навички учнів;
- вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач;
- вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

**виховна:**

- виховувати уважність, зібраність, спостережливість;
- виховувати культуру наукового мислення, толерантно ставитись до опонента при доведенні власної точки зору.

### Матеріали до уроку:

#### *Рівняння гармонічних електромагнітних коливань*

Закон збереження енергії для ідеального коливального контуру:

$$W = W_e + W_m$$

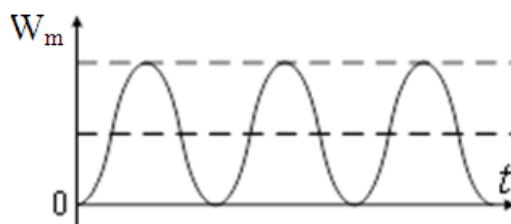
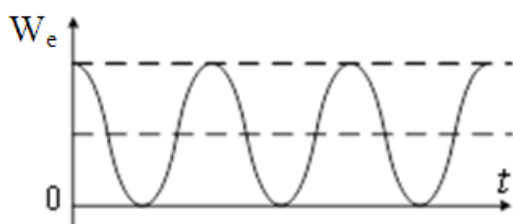
де  $W$  - повна енергія коливального контуру,

$W_e = q^2/2C = CU^2/2$  - 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 розряджання 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:

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

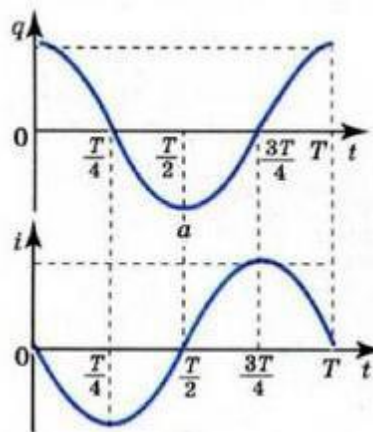
Рівняння, яке описує коливання сили струму:

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

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

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

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

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

Тоді вираз для власної частоти коливань має вигляд:

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

### ***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**.

### **Резонанс**

Осцилограма показує, що коливання в коливальному контурі є загасаючими. Так відбувається тому, що котушка індуктивності й сполучні проводи мають електричний опір. Отже, відповідно до закону Джоуля-Ленца, енергія електричного струму буде поступово перетворюватися в теплоту. Оскільки вільні коливання в контурі завжди є загасаючими, коливальний контур необхідно постійно підживлювати енергією від зовнішнього джерела живлення. Для цього необхідно з'єднати коливальний контур із зовнішнім джерелом змінної напруги. У цьому випадку коливання будуть вимушеними.

Резонанс — явище, яке полягає в тому, що за деякої частоти змушувальної сили коливальна система виявляється особливо чутливою до дії цієї сили. У коливальному контурі сила струму максимальна, якщо частота змінної напруги, прикладеного до контуру, дорівнює власній частоті контуру:

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

**Резонансом в електричному коливальному контурі** називається явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань сили струму у разі збігу частоти зовнішньої змінної напруги із власною частотою коливального контуру.

Щоб забезпечити резонанс, коливальний контур періодично із частотою коливань у контурі підключають до джерела струму. Сам же коливальний контур керує цими підключеннями за допомогою електронного пристрою (наприклад, транзистора).

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

Дано:

$$C = 4,44 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$$

$$L = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$\nu$  -?

Розв'язання:

$$T = 1/\nu$$

$$\nu = 1/T$$

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

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

**Задача 2.** Після того як конденсатору коливального контуру було надано заряд  $1 \cdot 10^{-6}$  Кл, у контурі відбуваються згасаючі коливання. Яка кількість теплоти виділиться в контурі до того часу, коли коливання повністю згаснуть? Ємність конденсатора  $0,01$  мкФ.

<p>Дано:</p> $q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ $C = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$ $Q = ?$	<p>Розв'язування:</p> $Q = W$ $W = \frac{q^2}{2C}$	$Q = \frac{(1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл})^2}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$ відповідь : $5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$
---------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Задача 3.** У коливальному контурі індуктивність котушки становить  $0,2$  Гн, а амплітуда сили струму дорівнює  $40$  мА. Визначити енергію конденсатора і магнітного поля котушки в той момент, коли значення сили струму буде у  $2$  рази менше, ніж амплітудне.

<p>Дано:</p> $L = 0,2 \text{ Гн}$ $I_m = 4 \cdot 10^{-2} \text{ А}$ $i = \frac{I_m}{2}$ $W_{\text{ел}} = ?$ $W_{\text{маг}} = ?$	<p>Розв'язування:</p> $W_{\text{max}} = \frac{LI^2}{2}$ $W_{\text{маг}} = \frac{Li^2}{2}$ $W_{\text{ел}} = W_{\text{max}} - W_{\text{маг}}$	$W_{\text{max}} = \frac{0,2 \text{ Гн} \times (4 \cdot 10^{-2} \text{ А})^2}{2} = 16 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ $W_{\text{маг}} = \frac{0,2 \text{ Гн} \times (2 \cdot 10^{-2} \text{ А})^2}{2} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ $W_{\text{ел}} = 16 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} - 4 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ Відповідь : $W_{\text{маг}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}; W_{\text{ел}} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

<p>Дано:</p> $L_2 = 4L_1$ $C_2 = 16C_1$ $\frac{T_2}{T_1} = ?$ $\frac{\nu_1}{\nu_2} = ?$	$T_1 = 2\pi \times \sqrt{L_1 C_1}$ $T_2 = 2\pi \times \sqrt{L_2 C_2}$ $\frac{T_2}{T_1} = \frac{2\pi \times \sqrt{L_2 C_2}}{2\pi \times \sqrt{L_1 C_1}} = \sqrt{\frac{L_2 C_2}{L_1 C_1}} = \sqrt{\frac{4L_1 16C_1}{L_1 C_1}} = \sqrt{64} = 8$	<p>Відповідь : <math>\nu = \frac{1}{T}</math> тоді <math>\frac{\nu_1}{\nu_2} = 8</math> значить період збільшиться <math>8</math> разів, а частота зменшиться у <math>8</math> разів</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------