

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти

Аеронавігація

За темою - Електромагнітні коливання

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від _____ 2022 № ____

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу ХНУВС
Протокол від _____ 2022 № ____

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від _____ 2022 № ____

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол від
10.08.2022 № 1

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст
першої категорії, Москалик В.М.

Рецензенти:

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

Тема Електромагнітні коливання

План лекції:

1. Гармонійні коливання
2. Вільні електромагнітні коливання
3. Перетворення енергії в коливальному контурі

Література:

Основна література:

- 1.1 Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.
- 1.2 Трофімова Т.І. Курс фізики ; 11-е изд., стер. : навчальний посібник для вишів / Т.І. Трофімова. –К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.
- 1.3.Технічна термодинаміка (Термодинаміка, теплопередача, теорія авіаційних двигунів) навчальний посібник: Л.В. Михненко. Міністерство цивільної авіації.

Гармонійні коливання

Коливальний рух

Коливальними називають рух або процеси, які точно або приблизно повторюються через однакові проміжки часу.

Серед процесів, які повторюються, важливе значення мають періодичні рухи.

Рух називають періодичним, якщо значення фізичних величин (наприклад, зміщення або швидкості), які змінюються в процесі руху, повторюються через однакові проміжки часу. Прикладами періодичного руху можуть бути рух планети навколо Сонця, рух поршня в циліндрі двигуна внутрішнього згоряння тощо.

Коливальну систему незалежно від її фізичної природи називають осцилятором. Прикладом осцилятора може бути коливний тягарець, підвішений на пружині або нитці.

Повним коливанням називають один закінчений цикл коливального руху, після якого воно повторюється в тому самому порядку.

Характеристики коливального руху

Час, протягом якого здійснюється повне коливання, називають його періодом (T).

Частотою ν періодичних коливань називають кількість повних коливань, які здійснюються за одиницю часу:

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

Частоту коливань вимірюють у герцах.

Герц - це частота коливань, період яких дорівнює 1 с: $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Циклічною або коловою частотою періодичних коливань називають кількість повних коливань, які здійснюються за 2π с:

$$\omega = 2\pi V = \frac{2\pi}{T}.$$

Циклічну частоту ω вимірюють у радіанах на секунду (рад/с).

Для тіл характерне існування положення, яке називають положенням стійкої рівноваги; у цьому положенні тіло або точка може бути доти, поки зовнішня сила не виведе їх з цього стану. Вивести тіло з цього стану можна завдяки роботі зовнішньої сили, надавши йому надлишкової енергії. Тіло, виведене із стану рівноваги і залишене само на себе, здійснює коливання навколо положення рівноваги - такі коливання називають власними, або вільними. Власні коливання - не тільки найбільш поширені, а найважливіші з точки зору теорії коливань, оскільки умови виникнення і характер усіх інших типів коливань дуже залежать від характеру власних коливань.

Будь-який коливальний рух характеризується амплітудою A - значенням максимального відхилення коливної точки від положення рівноваги.

Коливання точки, які відбуваються із сталою амплітудою, називають незгасаючими, а коливання з амплітудою, яка поступово зменшується, - згасаючими.

Якщо положення тіла (точки) в будь-який момент часу можна описати єдиним параметром, то кажуть, що тіло (точка) має один степінь вільності (так, наприклад, коливання пружинного маятника, які відбуваються в заданій площині, можна описати зміною однієї координати).

Гармонічні коливання

Серед усіх різноманітних форм коливань важливе місце належить гармонічним коливанням. Гармонічні коливання - це найпростіші періодичні коливання. Більшість коливань, які трапляються на практиці, складні. З курсу математики відомо (теорема Фур'є), що будь-яке складне періодичне коливання є сумою найпростіших гармонічних коливань (гармонік).

Гармонічні коливання - єдиний тип коливань, форма яких не спотворюється в процесі відтворення.

Коливання, під час яких коливна величина змінюється з часом за законом синуса або косинуса, називають гармонічними.

Гармонічні коливання величини в описуються рівнянням

$$s = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де A - максимальне значення коливної величини - амплітуда. Оскільки синус змінюється в межах від +1 до -1, то s може набувати значень від $+A$ до $-A$.

На рис. 1 подано графік гармонічного коливання. По горизонтальній осі відкладено час t , по вертикальній - зміщення s .

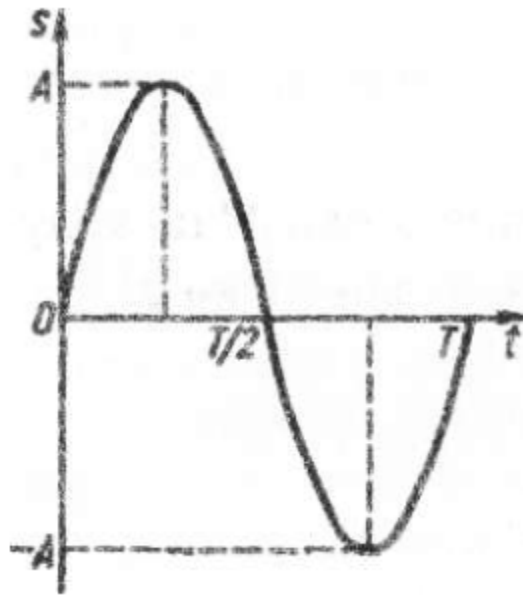


Рис. 1

Аргумент синуса ($\omega_0 t + \varphi_0$) називають фазою коливань. Фаза коливань визначає зміщення в момент часу t . Початкова фаза φ_0 визначає зміщення тіла в момент початку відліку часу ($t = 0$).

Фаза коливань - це кутова міра часу, який минув від початку коливань.

Якщо початкова фаза коливань $\varphi_0 = 0$, то фазі $\varphi = 2\pi$ відповідає $t = T$ фазі $\pi/2$ відповідає $T/4$ і т. д.

1. Вільні електромагнітні коливання

Електромагнітними коливаннями називають періодичні взаємозв'язані зміни зарядів, струмів, напруженостей електричного і магнітного полів.

Вільними електромагнітними коливаннями називають такі, які здійснюються без зовнішньої дії завдяки раніше нагромадженій енергії. Розглянемо закритий коливальний контур, що складається з індуктивності L і ємності C (рис. 2). Щоб збудити коливання в цьому контурі, треба конденсатору надати деякий заряд від джерела ε (ключ у положенні 1). Коли ключ буде в положенні 2, конденсатор почне розряджатися на котушці індуктивності. При цьому в контурі виникає ЕРС самоіндукції $\varepsilon_{ci} = -L \frac{dI}{dt}$, яка дорівнюватиме напрузі на обкладках конденсатора $U = \frac{Q}{C}$. Отже, $-L \frac{dI}{dt} = \frac{Q}{C}$.

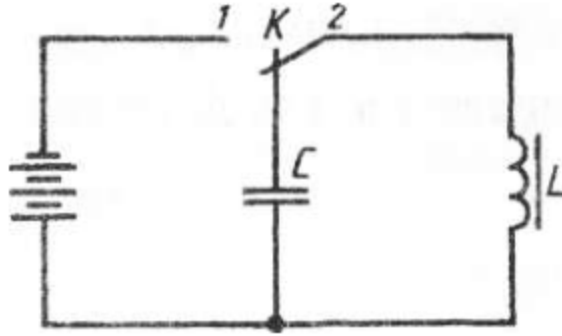


Рис. 2

Врахувавши, що $I = \frac{dQ}{dt}$, дістанемо

$$-L \frac{d^2 Q}{dt^2} = \frac{Q}{C}, \text{ або } \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{LC} Q = 0.$$

Введемо позначення:

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

Тоді вираз $-L \frac{d^2 Q}{dt^2} = \frac{Q}{C}$, або $\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{LC} Q = 0$ набуде вигляду

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + \omega_0^2 Q = 0.$$

Останнє рівняння аналогічне рівнянню $\frac{d^2 s}{dt^2} + \omega_0^2 s = 0$ і є диференціальним рівнянням вільних гармонічних коливань. Його розв'язок має вигляд

$$Q = Q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де Q_0 - максимальний заряд на обкладках конденсатора; ω_0 - циклічна або кругова частота власних коливань контуру; φ_0 - початкова фаза.

З виразу $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$ випливає, що

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

Період цих коливань визначається формулою Томсона

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

За гармонічним законом змінюється не тільки заряд на обкладках конденсатора, а й напруга і сила струму в контурі:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = Q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = Q_0 \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де $U_0 = \frac{Q_0}{C}$ - амплітуда напруги; $I_0 = Q_0 \omega_0$ - амплітуда струму.

З останніх випливає, що

коливання заряду (напруги) і струму в контурі за фазою на $\pi/2$.

Отже,

струм досягає максимального значення в ті моменти, коли заряд (напруга) на обкладках конденсатора дорівнює нулю, і навпаки.

3. Перетворення енергії в коливальному контурі

У процесі зарядження конденсатора між його обкладками виникає електричне поле, енергія якого $W_e = \frac{CV^2}{2}$, або $W_e = \frac{Q^2}{2C}$. Під час розрядження конденсатора на котушку індуктивності в ній виникає магнітне поле, енергія якого $W_k = \frac{LI^2}{2}$. В ідеальному контурі максимальна енергія електричного поля дорівнює максимальній енергії магнітного поля:

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}.$$

Енергія зарядженого конденсатора періодично змінюється з часом за законом

$$W_e = \frac{CU_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

або

$$W_e = \frac{Q^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Врахувавши, що $\omega^2 = \frac{1}{LC}$, дістанемо

$$W_e = \frac{\omega_0^2 L Q_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

А енергія магнітного поля соленоїда змінюється з часом за законом

$$W_k = \frac{LI_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Врахувавши, що $I_0 = Q_0 \omega_0$, дістанемо

$$W_k = \frac{\omega_0^2 L Q_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Повна енергія електромагнітного поля коливального контуру дорівнює

$$W = W_e + W_k = \frac{1}{2} \omega_0^2 L Q_0^2$$

Отже,

в ідеальному контурі сумарна енергія зберігається, електромагнітні коливання - незгасаючі.

Згасаючі електромагнітні коливання

Реальний коливальний контур (рис. 3) має омичний опір, тому енергія, запасена раніше в контурі, безперервно витрачається на виділення тепла. Внаслідок цього амплітуда коливань поступово зменшується і коливання в контурі згасають. Для реального коливального контуру закон Ома можна записати у вигляді

$$-L \frac{dI}{dt} = IR + \frac{Q}{C}, \text{ або } L \frac{dI}{dt} + IR + \frac{Q}{C} = 0.$$

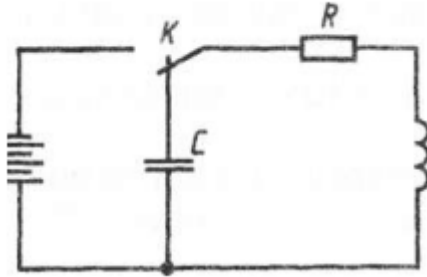


Рис. 3

Зробивши перетворення з урахуванням того, що

$$I = \frac{dQ}{dt}, \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \delta = \frac{R}{2L},$$

дістанемо

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + 2\delta \frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0.$$

Розв'язок цього рівняння має вигляд

$$Q = Q_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де коефіцієнт згасання

$$\delta = \frac{R}{2L},$$

а частота

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Отже,

амплітуда згасаючих коливань зменшується з часом за експоненціальним законом:

$$Q_t = Q_0 e^{-\delta t},$$

де Q_t — амплітуда коливань у момент часу t ; Q_0 — початкова амплітуда коливань у момент часу $t = 0$.

З $Q = Q_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ випливає, що коливання можливі лише доти, поки ω — дійсна величина, тобто $\delta < \omega_0$.

Якщо коливання згасають повільно, то можна користуватися поняттями, введеними для незгасаючих коливань, Період згасання коливань визначають за формулою

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}},$$

де ω_0 — власна частота вільних незгасаючих коливань.

Порівнявши формули $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$ і $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$, побачимо, що період згасаючих коливань більший, ніж власних незгасаючих.

Швидкість згасання коливань у контурі характеризується логарифмічним декрементом затухання θ - логарифмом відношення амплітуд коливань у моменти часу, які відрізняються на період

$$\theta = \ln \frac{Q_t}{Q_{(t+T)}} = \delta T.$$

Проміжок часу, протягом якого амплітуда згасаючих коливань зменшується в e разів, називають часом релаксації

$$\tau = \frac{1}{\delta}.$$