

**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 хвилі

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.

План лекції:

1. Вільні коливання і хвилі. Перетворення енергії в коливальному контурі.
2. Згасаючі електромагнітні коливання.
3. Автоколивання. Генератор незгасаючих коливань.

Література:**Основна:**

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.
2. Трофімова Т.І. Курс фізики ; 11-е изд., стер. : навчальний посібник для вишів / Т.І. Трофімова. –К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.
3. Технічна термодинаміка (Термодинаміка, теплопередача, теорія авіаційних двигунів) навчальний посібник: Л.В. Михненко. Міністерство цивільної авіації. Московський інститут інженерії цивільної авіації. Москва, 1988 рік.

1. Вільні коливання і хвилі. Перетворення енергії в коливальному контурі

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. 1). 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 $U = Q/C$. Отже, $-L \frac{dI}{dt} = Q/C$.

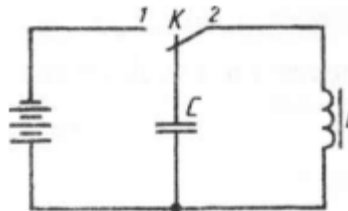


Рис. 1

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:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

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

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

З виразів $Q = Q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ та двох останніх випливає, що коливання заряду (напруги) і струму в контурі зсунуті за фазою на $\pi/2$.

Отже,

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

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 $W_m = \frac{LI^2}{2}$. 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

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

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

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

А енергія магнітного поля соленоїда змінюється з часом за законом

$$W_m = \frac{L I_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Врахувавши, що $I_0 = Q_0 \omega_0$ дістанемо

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

Повна енергія електромагнітного поля коливального контуру дорівнює

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

Отже,

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

2. Згасаючі електромагнітні коливання

Реальний коливальний контур (рис. 2) 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

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

Зробивши перетворення з урахуванням того, що

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

дістанемо

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

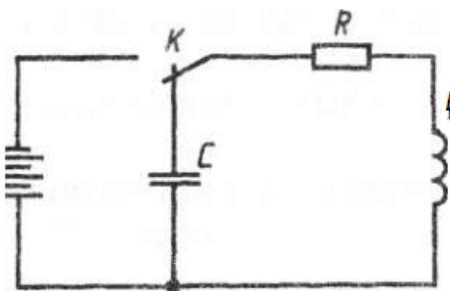


Рис. 2

Розв'язок цього рівняння має вигляд

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

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 $t = 0$.

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

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

3. Автоколивання. Генератор незгасаючих коливань

Автоколивання

Для техніки важливе значення має можливість підтримувати незгасаючі коливання. Якщо поповнювати втрати енергії реальної коливальної системи, то коливання будуть незгасаючими. Особливо важливі і широко застосовуються автоколивання – незгасаючі коливання, які підтримуються у коливальній системі завдяки постійному зовнішньому джерелу енергії, причому властивості цих коливань визначаються самою системою.

Розглянемо систему, яка складається з джерела енергії, тіла, здатного здійснювати коливання, і пристрою, який передає енергію джерела до тіла. Ця

система здатна регулювати надходження енергії до коливного тіла для компенсації втрат на тертя, джоулеву теплоту, випромінювання тощо. Прикладом такої системи є годинник з маятником (рис. 3). Тут чітко виділяються три основних елементи. Джерелом енергії є пружинний або гирьовий завод а коливною системою - маятник 2 або балансір (коліщатко з пружинкою) і, нарешті, пристрій, що регулює надходження енергії від джерела до тіла, - анкерний хід 3. Система має певний запас енергії - потенціальну енергію гирі або енергію стисненої пружини. Гиря надає руху храповому колесу 4. Анкерний пристрій (планка, виконана у вигляді якоря) жорстко зв'язаний з маятником, і керує обертанням храпового колеса, яке своїми зубами впирається то в лівий, то в правий виступи анкерного пристрою. При цьому маятник дістає імпульс то в один бік, то в другий, відкриваючи або закриваючи доступ енергії від джерела. Внаслідок цього відбуваються незгасаючі коливання маятника (хід годинника) з частотою, яка майже дорівнює частоті його вільних коливань, за умови, що тертя в системі мале» Системи, подібні до розглянутої, називають автоколивальними. Прикладом таких систем є органна труба, струна скрипки, якщо смичок рівномірно рухається, електричний дзвінок з переривником, генератор незгасаючих коливань.

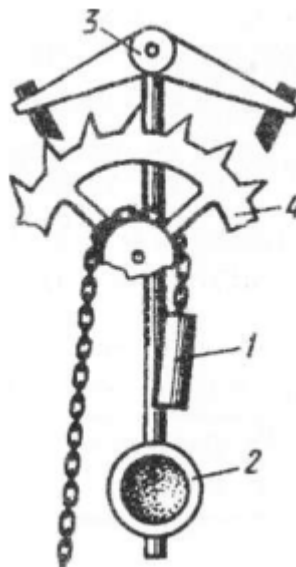


Рис. 3

Будь-яка автоколивальна система складається з таких основних частин: 1) коливальної системи; 2) джерела енергії, завдяки якому поповнюється енергія в коливальній системі; 3) клапана - пристрою, який регулює надходження енергії в коливальну систему певними порціями; 4) зворотного зв'язку, за допомогою якого коливальна система керує клапаном (рис. 4, а)



Рис. 4

Генератор незгасаючих електромагнітних коливань

У генераторі (рис. 4, б) коливальною системою є контур (L і C), що має малий опір; джерелом енергії - батарея (випрямляч), яка живить напругою транзистор; роль клапана виконує транзистор, який регулює надходження енергії порціями від джерела в коливальний контур. Самозбуджує коливання котушка зворотного зв'язку $L_{зв}$, індуктивно пов'язана з котушкою коливального контуру L . У генераторі роль клапана виконує транзистор типу р-п-р. Транзистор має три електроди: емітер колектор K , базу B . Емітерний перехід відкритий, якщо позитивний полюс джерела з'єднаний з емітером, а негативний - з базою. Транзистор не пропускає струму, якщо потенціал бази позитивний відносно емітера. Залежно від потенціалу бази відносно емітера транзистор буде «закритий» або «відкритий».

Якщо ключ замкнути, то в колі транзистора виникає струм, який заряджає конденсатор C коливального контуру. У контурі виникають вільні коливання. Струм, що проходить через котушку L контуру, індукуює змінну напругу в котушці зворотного зв'язку $L_{зв}$, яка подається на емітерний перехід транзистора. У перший півперіод коливань транзистор буде «відкритий», тобто в колекторному колі транзистора проходитиме струм. Цей струм збігається за напрямом із струмом у котушці контуру. Під час другого півперіоду струм у контурі змінює напрям, транзистор буде «закритий», коливальний контур протягом півперіоду буде від'єднаний від джерела енергії. У наступний період процес повторюється. Отже, транзистор вмикає і вимикає джерело постійного струму, завдяки енергії якого в контурі підтримуються незгасаючі коливання.

Амплітуда і період коливань визначаються властивостями коливальної системи.