

*Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні*

*Кафедра:* \_\_\_\_\_

## **Практичне заняття 5**

з дисципліни Фізика

### **Електромагнітні коливання**

Студента (ки) \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(оцінка, дата, підпис)

м. Запоріжжя – 20\_\_ рік

Метою вивчення теми є засвоєння основних положень, законів та теорем магнітного поля, основних понять електромагнетизму.

Ключові терміни та поняття: коливання, контур, конденсатор, ємність, індуктивність, добротність, амплітуда.

План самостійного опрацювання теми.

1. Період власних коливань електричного коливального контуру.
2. Закон зміни заряду конденсатора у коливальному контурі.
3. Закон зміни сили струму на конденсаторі у коливальному контурі.
4. Закон зміни напруги на конденсаторі у коливальному контурі.
5. Повна енергія коливального контуру.
6. Частота згасаючих електромагнітних коливань.
7. Рівняння пружної плоскої електромагнітної хвилі.
8. Рівняння плоскої монохроматичної електромагнітної хвилі.
9. Швидкість і довжина електромагнітних хвиль у речовині.
10. Інтенсивність електромагнітної хвилі у вакуумі

Приклади розв'язання задач

**Приклад 1** *Різниця потенціалів на обкладках конденсатора в коливальному контурі змінюється з часом за законом  $U = 100 \sin 1000\pi t$  ( $t$  – у секундах,  $U$  – у вольтах). Електроємність конденсатора  $C = 0,5$  мкФ. Визначити період власних коливань, індуктивність, енергію контуру і максимальну силу струму, що проходить по котушці індуктивності. Активним опором котушки нехтувати.*

**Розв'язання.** Напруга на конденсаторі змінюється за гармонічним законом

$$U = U_0 \sin \omega_0 t ,$$

де  $U_0$  – амплітудне (максимальне) значення напруги на обкладках конденсатора;  $\omega_0$  – власна циклічна частота коливань.

Порівнюючи цей вираз з законом, наданим в умові, визначаємо, що  $U_0 = 100$  В,  $\omega_0 = 1\,000 \pi \text{ с}^{-1}$ . Тоді період коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{1000\pi} = 0,002 \text{ с} . \quad (1)$$

Період власних коливань у контурі визначається формулою Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC} ,$$

звідки

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = 0,16 \text{ Гн}. \quad (2)$$

Повна енергія контуру в будь-який момент часу дорівнює сумі енергій електричного поля в конденсаторі і магнітного поля в котушці індуктивності

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2}.$$

Під час вільних електромагнітних коливань у контурі відбувається періодичний перехід енергії електричного поля конденсатора в енергію магнітного поля електричного струму. У моменти часу  $0, T/2, T$  і т.д. енергія електричного поля максимальна і дорівнює  $W_{e_{max}} = \frac{CU_0^2}{2}$ , а енергія магнітного

поля дорівнює нулю. У моменти часу  $T/4, 3/4 T$ , коли напруга на конденсаторі перетворюється в нуль, енергія магнітного поля сягає максимального значення  $W_{m_{max}} = \frac{LI_0^2}{2}$ . Оскільки активний опір контуру дорівнює нулю, повна енергія не витрачається на нагрівання проволів і залишається сталою. З умови

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

можна визначити максимальну силу струму

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \frac{100}{\sqrt{\frac{0,16}{0,5 \cdot 10^{-6}}}} = 0,18 \text{ (А)}. \quad (3)$$

Повна енергія контуру

$$W = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (Дж)}. \quad (4)$$

**Приклад 2.** Коливальний контур складається з котушки індуктивністю  $L = 25$  мГн, конденсатора ємністю  $C = 10$  мкФ і резистора. Визначити опір резистора, якщо відомо, що амплітуда сили струму в контурі зменшилася в  $e$  разів за  $N_e = 16$  повних коливань.

**Розв'язання.** Позначимо час, за який амплітуда зменшиться в  $e$  разів (так званий час релаксації), через  $\tau$ . За час  $\tau$  у контурі здійсниться

$$N_e = \tau/T \quad (1)$$

коливань. Тут  $T = 2\pi / \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – умовний період згасаючих коливань

( $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  – власна частота контуру,  $\beta = R/(2L)$  – коефіцієнт згасання).

Підставимо в закон убуття амплітуди  $A = A_0 e^{-\beta t}$  час релаксації  $\tau$ . Тоді за визначенням амплітуда зменшується в  $e$  разів

$$A_0 e^{-\beta\tau} = \frac{A_0}{e},$$

або

$$\beta\tau = 1, \tau = \frac{1}{\beta}.$$

Підставляючи вирази для  $T$  і  $\tau$  в (1), одержимо

$$N_e = \left( \frac{1}{\beta T} \right) = \left( \frac{2L}{R} \right) \frac{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4L}{R^2 C} - 1}.$$

Звідси шуканий опір:

$$R = 2 \sqrt{\frac{L}{C(1 + 4\pi^2 N_e^2)}}. \quad (2)$$

Після обчислень одержимо  $R \approx 1$  Ом.

**Приклад 3** У вакуумі вздовж осі  $Ox$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі  $E_m = 5$  мВ/м. Визначити середнє за часом значення енергії, що переносить хвиля через площадку  $S = 1$  м<sup>2</sup>, розміщену перпендикулярно до напрямку поширення хвилі, за час  $t = 1$  с. Якою є амплітуда напруженості  $H_m$  магнітного поля хвилі?

#### Розв'язання

Середнє за часом значення енергії, що переносить плоска електромагнітна хвиля через одиничну площадку, розміщену перпендикулярно до напрямку поширення хвилі, за одиницю часу (інтенсивність хвилі) у вакуумі

$$I = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_m^2 = \frac{1}{2} 3 \cdot 10^8 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} (5 \cdot 10^{-3})^2 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Між амплітудами напруженості електричного і магнітного полів біжучої електромагнітної хвилі існує співвідношення

$$E_m \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} = H_m \sqrt{\mu_0 \mu}.$$

Отже у вакуумі напруженість магнітного поля

$$H_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_m = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ А/м.}$$

## Варіанти завдань.

### ВАРІАНТ 1

1. Коливальний контур містить конденсатор ємністю  $C = 8$  пФ і котушку індуктивністю  $L = 0,5$  мГн. Якою є максимальна напруга  $U_0$  на обкладках конденсатора, якщо максимальна сила струму в контурі  $I_0 = 40$  мА?

2. У вакуумі поширюється плоска електромагнітна хвиля, напруженість електричного поля якої описується рівнянням  $\mathbf{E} = \mathbf{e}_y E_m \cos(\omega t - kx)$ , де  $\mathbf{e}_y$  – орт осі  $Oy$ ,  $E_m = 160$  В/м,  $k = 0,51$  м<sup>-1</sup>. Визначити напруженість магнітного поля  $\mathbf{H}$  хвилі в точці з координатою  $x = 7,7$  м у момент часу  $t = 33$  нс від початку коливань джерела.

### ВАРІАНТ 2

1. Коливальний контур має такі параметри: резонансна частота  $\nu_{\text{рез}} = 600$  кГц, ємність конденсатора  $C = 350$  пФ, активний опір  $R = 15$  Ом. Визначити добротність контуру.

2. У вакуумі поширюється плоска електромагнітна хвиля, амплітуда напруженості магнітного поля якої  $H_m = 0,1$  А/м. Визначити інтенсивність хвилі.

### ВАРІАНТ 3

1. На яку довжину хвилі  $\lambda$  буде резонувати контур, що складається з котушки ( $L = 4$  мкГн), конденсатора ( $C = 111$  мкФ) і резистора ( $R = 10$  Ом)?

2. Чому дорівнюють амплітуди напруженості  $E_m$  і  $H_m$  електричного і магнітного полів плоскої електромагнітної хвилі в повітрі у сфокусованому випромінюванні лазера, де інтенсивність хвилі становить  $I = 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>?

### ВАРІАНТ 4

1. Індуктивність  $L$  коливального контуру дорівнює  $0,5$  мГн. Якою має бути електроємність  $C$  конденсатора, щоб контур резонував на довжину хвилі  $\lambda = 300$  м?

2. Електромагнітна хвиля з частотою  $\nu = 4$  МГц переходить з немагнітного середовища з діелектричною проникністю  $\epsilon = 3$  у вакуум. Визначити збільшення її довжини хвилі.

### ВАРІАНТ 5

1. У коливальному контурі відбуваються вільні незгасаючі електромагнітні коливання. Максимальний заряд конденсатора  $q_0 = 1$  мкКл, максимальна сила струму  $I_0 = 10$  А. Визначити довжину хвилі, на яку резонує контур.

2. Електромагнітна хвиля має частоту  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  Гц, довжину в деякій речовині  $\lambda = 0,45$  мкм. Якою є фазова швидкість поширення хвилі в цій речовині? Чому дорівнює показник заломлення речовини? Якою буде довжина хвилі після переходу її в повітря?

### ВАРІАНТ 6

1. Ємність конденсатора коливального контуру  $C = 7$  мкФ, індуктивність його котушки  $L = 0,23$  Гн, опір  $R = 40$  Ом. Конденсатору надали заряд  $q_0 = 0,56$  мКл і приєднали його до котушки. Визначити період коливань, логарифмічний декремент згасання і записати закон зміни напруги на конденсаторі в залежності від часу.

2. У коливальному контурі індуктивність котушки можна змінювати від 50 до 500 Гн, а ємність конденсатора від 10 до 1000 пФ. Який діапазон довжин хвиль можна одержати під час настроювання такого контуру?

### ВАРІАНТ 7

1. Сила струму в коливальному контурі, що містить котушку індуктивністю  $L = 0,1$  Гн і конденсатор, з часом змінюється за законом  $I = 0,1 \sin 200\pi t$ , А. Визначити: 1) період коливань, 2) ємність конденсатора, 3) максимальну напругу на обкладках конденсатора, 4) максимальну енергію магнітного поля, 5) максимальну енергію електричного поля.

2. У вакуумі уздовж осі  $Ox$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі становить 18,8 В/м. Визначити середню енергію, що проходить за  $t = 1$  хв через площадку  $S = 0,5$  м<sup>2</sup>, розміщену перпендикулярно напрямкові поширення хвилі.

### ВАРІАНТ 8

1. Напруга на обкладках конденсатора коливального контуру змінюється за законом  $U = 30 \cos 10^3 \pi t$ , В. Ємність конденсатора  $C = 0,3$  мкФ. Визначити період  $T$  коливань, індуктивність котушки  $L$  і установити закон зміни сили струму  $I(t)$  у контурі.

2. У вакуумі уздовж осі  $Ox$  поширюється плоска електромагнітна хвиля довжиною  $\lambda = 31$  м. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі  $E_m = 18,8$  В/м. Навести рівняння електромагнітної хвилі.

### ВАРІАНТ 9

1. Ємність конденсатора коливального контуру  $C = 1$  мкФ, індуктивність його котушки  $L = 10$  мГн. Який активний опір  $R$  необхідно ввести в контур, щоб частота вільних коливань зменшилася на 0,01%?

2. Електромагнітні хвилі поширюються в однорідному середовищі зі швидкістю  $2 \cdot 10^8$  м/с. Яку довжину хвилі мають електромагнітні хвилі в цьому середовищі і в вакуумі, якщо їхня частота 1 МГц?

## ВАРІАНТ 10

1. Ємність конденсатора коливального контуру  $C = 39,5$  мкФ, індуктивність його котушки  $L = 100$  мГн. У початковий момент часу заряд на обкладках конденсатора  $q_0 = 3$  мкКл. Нехтуючи опором контуру, записати рівняння 1) зміни сили струму в контурі в залежності від часу, 2) зміни напруги на конденсаторі в залежності від часу.

2. У вакуумі поширюється плоска електромагнітна хвиля, амплітуда напруженості електричного поля якої  $E_m = 160$  В/м. Визначити амплітуду напруженості магнітного поля хвилі.