

2.13. Питання для самоконтролю

1. Дайте означення квазіперіодичних процесів та електромагнітних коливань.
2. Поясніть фізичну причину виникнення коливань у коливальному контурі.
3. Запишіть вирази для часових залежностей заряду, сили струму, напруженості електричного поля та індукції під час власних електромагнітних коливань у контурі.
4. Запишіть диференціальні рівняння для власних, вільних згасаючих та вимушених коливань у коливальному контурі.
5. Як відрізняються формули для частот власних та вільних згасаючих електромагнітних коливань?
6. Як з закону збереження енергії отримати диференціальне рівняння для вільних незгасаючих коливань у коливальному контурі?
7. Перерахуйте характеристики вільних згасаючих електричних коливань. Поясніть їх фізичну сутність.
8. В чому різниця між частотною залежністю амплітуди заряду та резонансною кривою для вимушених електричних коливань?
9. Як опір впливає на частоту коливань контуру та на їх амплітуду?
10. Нарисуйте схеми коливального контуру для спостереження власних коливань, вільних незгасаючих коливань та вимушених коливань.
11. На якій частоті спостерігається максимум амплітуди заряду при вимушених коливаннях?
12. Поясніть суть методу векторних діаграм.
13. Складання яких коливань можна описати методом векторних діаграм?
14. Поясніть механізм утворення ЕРС в генераторі змінного струму.
15. Які опори називають активними і чому?
16. Дайте означення ємнісному, індуктивному та реактивному опорам.
17. Яким є зсув фаз між коливаннями струму та напруги на опорі, на ємності, на індуктивності?
18. Нарисуйте векторні діаграми для опору, для ємності та для індуктивності.
19. Порівняйте векторні діаграми для кіл з послідовно та паралельно підключеними елементами.
20. Як відрізняються формули для повного опору при послідовному та при паралельному з'єднаннях елементів кола?
21. Коли коефіцієнт потужності дорівнює нулеві? Чому коефіцієнт потужності не може бути більшим за одиницю?
22. Як відрізняється результат накладання двох коливань, що відбуваються в одному напрямку, від накладання двох коливань, які відбуваються в перпендикулярних напрямках?

2.14. Формули необхідні для розв'язку задач

1. Часова залежність заряду в електричному контурі при власних коливаннях

$$q(t) = Q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де Q_{\max} – амплітуда заряду, ω_0 – власна частота, φ_0 – початкова фаза.

2. Формула Томпсона для частоти та формула для періоду власних коливань контуру

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC},$$

де C – ємність, L – індуктивність.

3. Залежність заряду від часу під час вільних згасаючих електричних коливаннях

$$q(t) = Q_{\max} e^{-\beta t} \cos(\tilde{\omega}_0 t + \varphi_0),$$

де $\tilde{\omega}_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота згасаючих коливань, Q_{\max} – амплітудне значення заряду для моменту часу $t=0$.

4. Коефіцієнт згасання, час релаксації, логарифмічний декремент і добротність коливального контуру:

$$\beta = \frac{R}{2L}, \quad \tau = \frac{2L}{R}, \quad \theta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad Q \approx \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

(формули для логарифмічного декременту та добротності справедливі за умови $\beta \ll \omega_0$).

5. Залежність заряду від часу для усталених коливань, збурених зовнішньою періодичною напругою $U_{\text{зов}}(t) = U_{\max} \cos \omega t$, описуються виразом

$$q(t) = Q_{\max} \cos(\omega t - \alpha),$$

де $Q_{\max}(\omega) = \frac{U_{\max}}{L\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$ – амплітудне значення заряду,

$\alpha = \arctg \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$ – різниця фаз коливань заряду та зовнішньої напруги.

6. Залежність сили струму від часу для усталених коливань, збурених зовнішньою періодичною напругою $U_{\text{зов}}(t) = U_{\max} \cos \omega t$, описуються виразом

$$I(t) = I_{\max} \cos(\omega t - \varphi_{3c}),$$

де $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$ – амплітудне значення сили струму,

$\varphi_{zc} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$ – зсув фаз між коливаннями сили струму та напруги.

7. Індуктивний опір, ємнісний опір, реактивний опір і повний опір при паралельному з'єднанні елементів кола

$$X_L = \omega L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad X = X_L - X_C, \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

8. Потужність змінного струму

$$\langle P \rangle = I_{\partial} U_{\partial} \cos \varphi_{zc},$$

де $I_{\partial} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$, $U_{\partial} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$ – діючі значення сили струму та напруги,

$\cos \varphi_{zc} = \frac{R}{Z_{\text{noc}}}$ – коефіцієнт потужності для кола з послідовним з'єднанням елементів.

2.15. Задачі

2.1. Запишіть з чисельними коефіцієнтами рівняння коливань заряду в коливальному контурі, які відбуваються за законом косинуса. Амплітуда коливань становить $5 \cdot 10^{-6}$ Кл, і за дві секунди здійснюється $2 \cdot 10^5$ повних коливань. Початкова фаза є такою, що початковий заряд складає половину від його амплітудного значення. Побудуйте графік для часової залежності заряду.

2.2. Запишіть рівняння гармонічних електричних коливань, коли амплітуда становить $2 \cdot 10^{-6}$ Кл, період коливань 2 мкс, а в початковий момент часу заряд максимальний. Запишіть вираз для сили струму. Знайдіть амплітудне значення сили струму. Побудуйте графіки для заряду та сили струму під час цих коливань.

2.3. Сила струму під час електричних коливань в коливальному контурі змінюється з часом згідно залежності $I(t) = I_{\max} \sin(\frac{8\pi t}{t_0} + \frac{\pi}{5})$, де I_{\max} – амплітудне значення швидкості, t_0 – постійна. Знайдіть період коливань.

Запишіть вираз для часової зміни заряду. Визначте амплітудне значення заряду.

2.4. У коливальному контурі з індуктивністю L відбуваються вільні незгасаючі гармонічні коливання, так що ЕРС самоіндукції в котушці контуру змінюється

за законом $\mathcal{E}_{\tilde{n}^3} = \mathcal{E}_{\max}^{(\tilde{n}^3)} \cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{3})$, де $\mathcal{E}_{\max}^{(\tilde{n}^3)}$ – амплітудне значення ЕРС.

Запишіть вираз для залежності заряду на ємності контуру, а також знайдіть вираз для енергії електричного поля конденсатора контуру.

2.5. Під час власних коливань, що відбуваються у коливальному контурі, сила струму змінюється з часом по закону $I(t) = I_{\max} \sin(\omega_0 t + \frac{\pi}{3})$, де I_{\max} – амплітудне значення сили струму, а ω_0 – власна частота. Знайдіть часову залежність густини заряду обкладинок конденсатора контуру, якщо відстань між ними дорівнює d . Індуктивність контуру L . Діелектрична проникність діелектрика конденсатора ε .

2.6. У коливальному контурі відбуваються власні електричні коливання. Частота коливань $\omega = 4 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. В початковий момент часу заряд конденсатора контуру становить 25 мкКл, а сила струму 75 мА. Знайдіть заряд конденсатора, коли фаза коливань заряду становить 13π .

2.7. У коливальному контурі відбуваються власні електричні коливання. В момент часу t_1 заряд ємності контуру q_1 , а сила струму I_1 . А в момент часу t_2 заряд контуру дорівнює q_2 , а сила струму I_2 . Знайдіть період коливань та амплітудне значення заряду.

2.8. Знайдіть середнє значення сили струму під час власних коливань коливального контуру за час, рівний четвертій частині періоду від початку коливань, які описуються виразом $q(t) = Q_{\max} \cos(\omega_0 t)$, де Q_{\max} – амплітудне значення заряду, а ω_0 – власна частота коливань.

2.9. Коливальний контур містить конденсатор з ємністю 2,5 мкФ та котушку з індуктивністю 1,015 Гн. Конденсатору надали заряду 5 мкКл. Напишіть рівняння (з чисельними коефіцієнтами) для коливань заряду, сили струму, напруги на конденсаторі та ЕРС самоіндукції в котушці.

2.10. Сила струму в коливальному контурі описується виразом $I(t) = 0,2 \cdot \sin(200\pi t)$. Знайдіть часову залежність для напруженості електричного поля в конденсаторі, якщо індуктивність контуру 1 Гн, а відстань між обкладинками конденсатора 2 мм.

2.11. Електричні коливання в коливальному контурі описуються виразом $q(t) = Q_{\max} \sin \omega_0 t$. Знайдіть відношення електричної енергії конденсатора до магнітної енергії котушки для моменту часу $T/8$.

2.12. У скільки разів зміниться власна частота коливань коливального контуру, якщо діелектричну проникність середовища між обкладинками конденсатора збільшити в два рази, а магнітну проникність середовища в середині котушки збільшити у 8 разів?

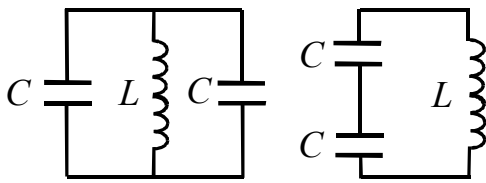


Рис. 33

2.13. У скільки разів треба змінити щільність витків у котушці, щоб частота власних коливань контуру збільшилася втричі.

2.14. Порівняйте власні частоти коливань для контурів, наведених на рис. 33.

2.15. Котушку коливального контуру розмістили у зовнішнє стаціонарне магнітне поле. В момент часу $t = 0$ зовнішнє магнітне поле миттєво виключили. Знайдіть вираз для часової залежності сили струму та заряду в контурі, якщо ємність конденсатора C , а індуктивність котушки L .

В початковий момент часу магнітний потік через котушку дорівнює Φ_S .

2.16. У коливальному контурі відбуваються вільні згасаючі коливання за законом $q(t) = Q_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{3})$, де $\tau = 0,05$ с, $\nu = 10$ Гц. Знайдіть період коливань, їх власну частоту та індуктивність котушки, якщо активний опір конура $R = 1$ Ом.

2.17. Заряд здійснює згасаючі коливання за законом $q(t) = Q_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{3})$, де τ та ν сталі. Знайдіть вираз для ЕРС самоіндукції котушки під час коливного процесу, якщо активний опір кола становить R .

2.18. У коливальному контурі відбуваються вільні згасаючі коливання, заряд яких описується виразом $q(t) = Q_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{3})$. Знайдіть моменти часу, коли сила струму в контурі стає рівною нулеві.

2.19. До зарядженого конденсатора ємністю C підключили активний опір R . Знайдіть часову залежність для сили струму в колі, якщо початковий заряд конденсатора дорівнює q_0 .

2.20. Котушка з індуктивністю L підключена до активного опору R . Котушка розміщена у зовнішньому стаціонарному магнітному полі. В момент часу $t = 0$ зовнішнє магнітне поле миттєво виключили. Знайдіть вираз для сили струму в колі. Початковий струм I_0

2.21. Сила струму при вільних згасаючих коливаннях описується виразом

$I(t) = I_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{3})$. Знайдіть часову залежність напруги на ємності, якщо індуктивність контуру L .

- 2.22. Коливальний контур має ємність $C=1$ мкФ, індуктивність $L=25$ мГн, активний опір $R=1$ Ом. Через скільки коливань амплітуда заряду зменшиться в e -разів? Яка добротність цього контуру?
- 2.23. На скільки відсотків відрізняється частота коливань контуру від власної частоти цього контуру, якщо добротність контуру $Q=5$.
- 2.24. Логарифмічний декремент згасання коливального контуру дорівнює $0,1$. Знайти у скільки разів зменшиться амплітуда коливань заряду за одне повне коливання.
- 2.25. Ємність конденсатора коливального контуру $C=2,2$ нФ. Котушка має довжину 20 см. Вона намотана мідним дротом, діаметр якого $0,5$ мм. Знайдіть логарифмічний декремент згасання коливань. Питомий опір міді $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.
- 2.26. Яку середню потужність необхідно надавати коливальному контуру, щоб у ньому відбувалися незгасаючі коливання з амплітудою сили струму $I_{\max}=30$ мА? Активний опір провідника контуру $R=0,45$ Ом.
- 2.27. Конденсатор з ємністю C і активний опір R послідовно підключили до зовнішньої напруги, яка змінюється за законом $U_{\text{зов}}(t) = U_{\max} \cos \omega t$. Знайдіть залежність від t для сили струму в колі.
- 2.28. Котушку з індуктивністю L та опір R послідовно підключили до зовнішньої напруги $U_{\text{зов}} = U_{\max} \cos \omega t$. Знайдіть залежність від t для сили струму в колі.
- 2.29. Конденсатор коливального контуру має ємність $C=22$ мкФ, індуктивність котушки $L=0,35$ Гн, а опір $R=20$ Ом. Контур підключено до зовнішньої періодичної напруги амплітудне значення якої $U_{\max}=150$ В, а частота $\omega=314$ с⁻¹. Знайдіть амплітуду заряду на конденсаторі та зсув фаз між коливанням заряду та зовнішньою напругою.
- 2.30. Конденсатор коливального контуру має ємність C , індуктивність контуру L , а активний опір R . Знайдіть значення частот усталених вимушених коливань, коли буде максимальна напруга на ємності, коли буде максимальна напруга на опорі, коли буде максимальною напруга на індуктивності.
- 2.31. Знайдіть добротність коливального контуру, якщо для максимально можливої амплітуди сили струму напруга на конденсаторі в n разів більша напруги джерела змінного струму.
- 2.32. Котушка з активним опором 10 Ом підключена до джерела змінного струму з діючою напругою 127 В і частотою 50 Гц. Знайдіть індуктивність котушки, якщо на ній виділяється потужність 400 Вт, а зсув фаз між напругою та струмом становить 60° .

- 2.33. Конденсатор з ємністю 1 мкФ і активний опір $R=300$ Ом підключені до кола змінного струму з частотою 50 Гц. Знайдіть і порівняйте повний опір кола, якщо конденсатор і опір підключені спочатку послідовно, а потім – паралельно.
- 2.34. Порівняйте повний опір індуктивності L та опору R , коли вони з'єднані спочатку паралельно, а потім – послідовно. Частота змінного струму ω .
- 2.35. Обмотка котушки містить 500 витків мідного дроту з площею перерізу 1 мм². Довжина котушки 50 см, а її діаметр 5 см. На якій частоті коливань повний опір котушки буде у два рази більший за її активний опір? Питомий опір міді $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.
- 2.36. Котушку з індуктивністю L та опором R підключили до генератора змінного струму. На якій частоті генератора потужність, яку споживає котушка, буде в η разів менша за потужність, що виділяється в котушці при проходженні постійного струму? Вважати, що діюче значення напруги генератора дорівнює напрузі джерела постійного струму.
- 2.38. Залежність заряду під час усталених вимушених коливань описується виразом $q(t) = Q_{\max} \cos(\omega t - \alpha)$. Ці коливання збудовує зовнішня напруга з часовою залежністю $U(t) = U_{\max} \cos \omega t$. Знайдіть роботу цієї напруги за час одного періоду коливань.
- 2.39. Часова залежність сили струму в коливальному контурі описується виразом $I(t) = I_{\max} \cos(\omega t - \varphi_{zc})$. Ці коливання збудовує зовнішня напруга виду $U(t) = U_{\max} \cos \omega t$. Знайдіть роботу цієї напруги за час одного періоду коливань.