

Лабораторна робота № 2-14

ВИВЧЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ У ПОСЛІДОВНОМУ КОЛИВНОМУ КОНТУРІ

Мета роботи: вивчити роботу послідовного коливного контуру, зняти його резонансні характеристики і визначити добротність контуру.

Прилади та пристрої: звуковий генератор типу ГЗ-36, електронний осцилограф типу СІ-19Б, змінний резистор, котушка індуктивності.

Теоретичні відомості

Схема послідовного коливного контуру зображена на рис.14.1. Для того, щоб у контурі відбулися вимушені коливання, потрібно ввімкнути послідовно з елементами контуру змінну ЕРС, яка створює на клеммах кола змінну напругу

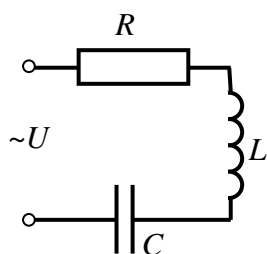


Рис. 14.1

$$U = U_m \cos \omega t.$$

Рівняння вимушених коливань у контурі має вигляд

$$\ddot{q} + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_m}{L} \cos \omega t,$$

де власна частота ω_0 коливань у контурі та коефіцієнт загасання β визначаються за формулами:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \beta = \frac{R}{2L}.$$

У стаціонарному режимі зміна заряду на обкладках конденсатора описується рівнянням:

$$q = q_m \cos(\omega t - \psi),$$

де

$$q_m = \frac{U_m / L}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}; \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{2\beta \omega}{\omega_0^2 - \omega^2} = \frac{R}{(1/\omega C) - \omega L}.$$

Сила струму в контурі при сталих коливаннях змінюється за законом:

$$i = \dot{q} = \omega q_m \cos(\omega t - \varphi) = I_m \cos(\omega t - \varphi),$$

де $\varphi = \psi - \pi/2$ - зсув фаз між струмом у контурі та прикладеною напругою U . Величини I_m та φ визначаються за формулами:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (14.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{1}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad (14.2)$$

Сума напруг на елементах коливного контуру дорівнює напрузі, прикладеній ззовні:

$$U_R + U_C + U_L = U = U_m \cos \omega t,$$

де напруги на кожному з елементів контуру:

$$U_R = RI_m \cos(\omega t - \varphi);$$

$$U_C = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t - \psi) = U_{Cm} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right);$$

$$U_C = U_{Lm} \cos\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right).$$

У цих формулах амплітуди напруг на конденсаторі та котушці зв'язані з амплітудою струму I_m виразами:

$$U_{Cm} = I_m \cdot \frac{1}{\omega C}; \quad U_{Lm} = I_m \cdot \omega L.$$

Фазові співвідношення між U_R , U_C , U_L зручно показати з допомогою векторної діаграми (рис. 14.2).

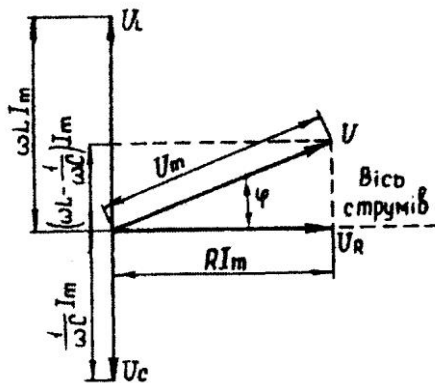


Рис. 14.2

Напруга на конденсаторі відстає за фазою від струму на $\pi/2$, а на котушці індуктивності випереджає струм на $\pi/2$. Напруга на активному опорі змінюється у фазі зі струмом. За умови $\omega L > 1/\omega C$ прикладена до контуру напруга випереджає струм по фазі $\varphi > 0$ (див.(14.2)); якщо ж $\omega L < 1/\omega C$, то струм випереджає напругу $\varphi < 0$. За умови $\omega L = 1/\omega C$ струм у контурі визначатиметься значенням активного опору R і буде максимальним:

$$I_m = I_{m \text{ рез}} = \frac{U_m}{R}.$$

Це явище називається резонансом напруг. При описаних умовах напруга на конденсаторі U_C у кожний момент часу дорівнюватиме напрузі на котушці індуктивності U_L , а зсув фаз між ними дорівнює π . Резонансна частота для струму в контурі $\omega_{\text{рез}}$ визначиться з умови, що $\omega L = 1/\omega C$:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0,$$

тобто резонансна частота для струму дорівнює власній частоті контуру. Крива залежності сили струму в контурі I_m від частоти зовнішнього джерела ω (див. (14.1))

називається резонансною кривою струму (рис. 14.3). За умов резонансу максимум тим вищий і гостріший, чим менше β , тобто – чим менший активний опір R і більша індуктивність L . При $\omega = 0$ сталий струм у колі з конденсатором проходити не може. Амплітудне значення напруги на конденсаторі U_{cm} також залежить від частоти ω зовнішнього джерела ЕРС. При цьому максимальне значення U_{cm} досягається при частоті

$$\omega_{U_{cm}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}} \leq \omega_0,$$

яка називається резонансною частотою для напруги (очевидно, що резонансна частота менша, ніж власна частота ω_0). На рис. 14.4 зображені резонансні криві для напруги на конденсаторі при різних β . Якщо $\omega \rightarrow 0$, то резонансні криві сходяться в одній точці з координатою $U_{cm} = U_m$.

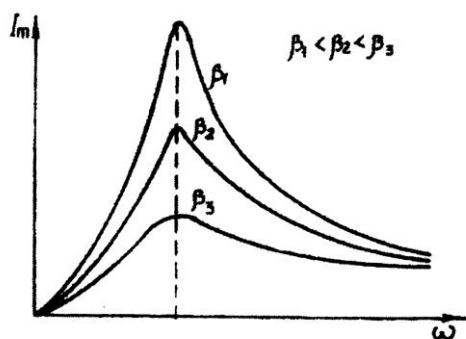


Рис. 14.3

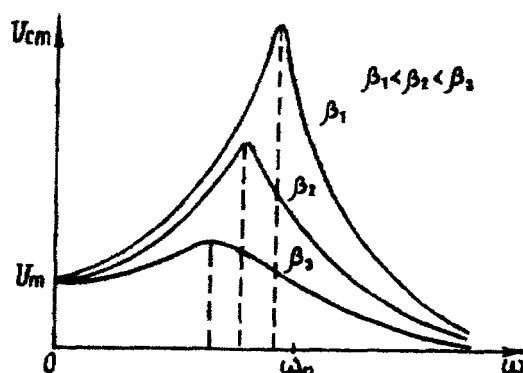


Рис. 14.4

Широко використовуюваною характеристикою коливного контуру є його добротність Q . Це безрозмірна величина, що характеризує відносний показник втрати енергії у контурі:

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W},$$

де ΔW – втрата енергії за один період, W – енергія в контурі у даний момент.

Добротність пов'язана з логарифмічним декрементом затухання λ і числом коливань N_e , що відбуваються за проміжок часу, протягом якого амплітуда зменшується в $e \approx 2,71$ разів, співвідношенням

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e.$$

У випадку малого загасання $\beta^2 \ll \omega_0^2$:

$$Q = \frac{U_{cm_{рез}}}{U_m} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

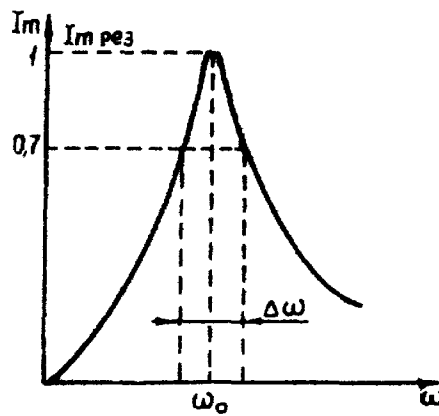


Рис. 14.5

Добротність контуру визначає також гостроту резонансних кривих. На рис. 14.5 зображено ширину резонансної кривої $\Delta \omega$ для амплітуди струму, яка дорівнює 0,71 від напруги при резонансі що відповідає $0,7^2 \approx 0,5$ потужності при резонансі. Можна показати, що у випадку малого загасання

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta \omega}, \quad (14.3)$$

тобто - чим менша ширина резонансної кривої, тим вища добротність коливного контуру.

Опис експериментальної установки

Вивчення залежності амплітуди напруги на конденсаторі U_{cm} коливального контуру від частоти ω зовнішнього джерела ЕРС проводиться на установці, зображеній на рис. 14.6. Напруга з конденсатора C подається на вхід Y осцилографа (типу С1-19Б). Осцилограф працює в режимі розгортки. Як зовнішнє джерело змінної напруги використовується звуковий генератор ЗГ типу ГЗ-36. Активний опір контуру є змінним (резистор R).

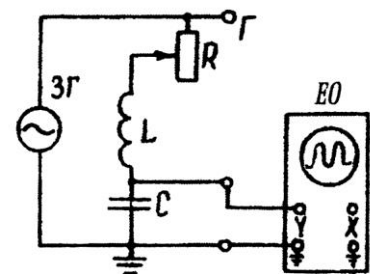


Рис. 14.6

Виконання роботи

1. Увімкнути осцилограф і звуковий генератор в мережу і дати їм прогрітисся 5...7 хв.
2. Встановити на виході генератора напругу до 10 В.
3. Підібрати підсилення осцилографа і його часову розгортку так, щоб на екрані спостерігалось 10-20 періодів розгортки.
4. Змінюючи частоту генератора, знайти резонансну частоту, за якої амплітуда напруги U_{cm} буде максимальною $U_{cm\text{рез}}$.
5. Для 8-10 значень частоти, виміряти амплітуду напруги U_{cm} . Значення ω і U_{cm} занести до табл.14.1.
6. Повторити вимірювання, вказані в пп. 3-5, для 4-5 різних значень опору R . Дані для опору і результати вимірювання занести до таблиці 14.1.

7. Не змінюючи підсилення входу γ осцилографу, замість досліджуваної напруги U_{Cm} подати на цей вхід напругу – безпосередньо зі звукового генератора (клема 1). Визначити амплітудне значення напруги генератора U_m (також у поділках сітки екрана). Напруга U_m повинна слабо залежати від R , тому можна обмежитися вимірюванням цієї напруги лише для одного із значень опору.

Обробка результатів вимірювань

1. За даними табл. 14.1 побудувати графіки резонансних кривих – залежності напруги на конденсаторі від циклічної частоти – $U_{Cm}(\omega)$ для різних значень опору R .
2. На побудованих графіках визначити ширину $\Delta\omega$ резонансних кривих на рівні 0,7 від максимального значення напруги (див. рис. 14.5) для різних значень опору R . За формулою (14.3) обчислити добротність і одержані значення занести у табл. 14.2. За даними табл. 14.2 побудувати графік залежності добротності від опору $Q(R)$.
3. Для різних R за формулою (14.4) обчислити добротність контуру (значення U_m взяти з вимірювань п.7.):

$$Q = \frac{U_{Cmрез}}{U_m} \quad (14.4)$$

Результати обчислень занести до табл. 14.2. На графіку $Q(R)$ (див. п.2) проставити отримані точки і порівняти результати.

Таблиця 14.1

№	R	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$	$R_4 =$
1	ω_1, c^{-1}				
	U_{1Cm} (под.)				
2	ω_2				
	U_{2Cm}				
...	...				
	...				
Резонанс	$\omega_{рез}$				
	$U_{резCm}$				
...	...				
	...				
8	ω_8				
	U_{8Cm}				

Таблиця 14.2

	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$	$R_4 =$
$\Delta \omega$				
Q (за графіком)				
Q (за форм.14.4)				

Контрольні запитання

1. Вивести рівняння сталих вимушених коливань у контурі.
2. Які фазові співвідношення існують між силою струму та напругою на ємності та індуктивності в послідовному коливному контурі при вимушених коливаннях?
3. Який вигляд має векторна діаграма напруг для контуру при вимушених коливаннях?
4. Що таке резонанс напруг? Який вигляд мають резонансні криві напруги на ємності у коливному контурі?
5. Який вигляд має векторна діаграма напруг за резонансу?
6. Що таке добротність контуру?
7. Який вигляд рівняння коливання, що одержують при додаванні двох взаємно перпендикулярних коливань однакової частоти?
8. За якої різниці фаз двох взаємно перпендикулярних коливань, що додаються, результуючий рух відбуватиметься а) вздовж прямої; б) по колу?
9. Як змінюються характеристики резонансних кривих зі зміною добротності?
10. Як проводиться експеримент з метою отримання результатів, необхідних для побудови резонансних кривих напруги?
11. Що таке ширина резонансної кривої і яку інформацію можна одержати, визначивши її?

Література

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти / І. М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик; К.: Техніка, 1999. Том 2: §11.2 – 11.4; 12.1 -12.2.
2. Савельев І.В. Курс общей фізики: В 3 т. Т.1.§ 55, 60; т.2. §88-91.- М. Наука. 1977 - 1979.
3. Лабораторные занятия по физике./Под ред.Л.Л.Гольдина.-М.Наука,1983.