

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 2-14

**ВИВЧЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ У
ПОСЛІДОВНОМУ КОЛИВНОМУ КОНТУРІ**

Виконана студ. групи _____

Київ-2021

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, 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

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

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

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

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).

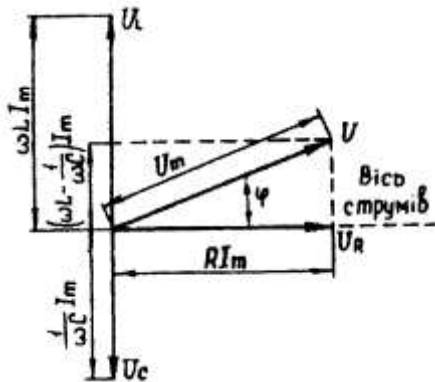


Рис. 14.2

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_{C_m} також залежить від частоти ω зовнішнього джерела ЕРС. При цьому максимальне значення U_{C_m} досягається при частоті

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

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 $U_{C_m} = U_m$.

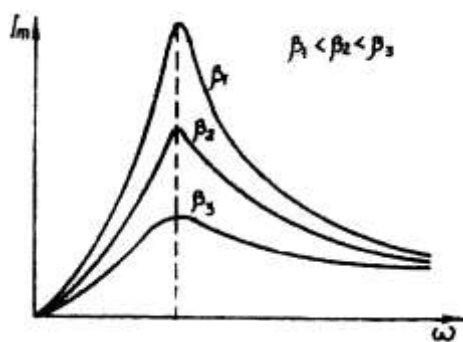


Рис. 14.3

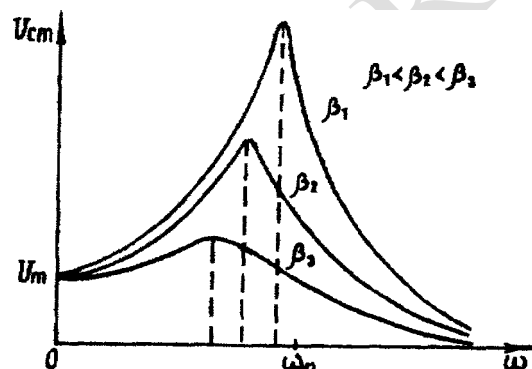


Рис. 14.4

Важливою характеристикою коливного контуру є його добротність Q . Це безрозмірна величина, що дорівнює добутку числа π та кількості коливань за час релаксації N_e (за час релаксації амплітуда коливань зменшується в $e \approx 2,71$ разів):

$$Q = \pi N_e.$$

Добротність зв'язано з логарифмічним декрементом загасання λ :

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

При малому загасанні ($\beta \ll \omega_0$) добротність характеризує відносний показник втрати енергії у контурі за період:

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

де ΔW – втрата енергії за один період, W – енергія в контурі у даний момент. Можна показати, що за умови $\beta \ll \omega_0$ добротність обчислюється як

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

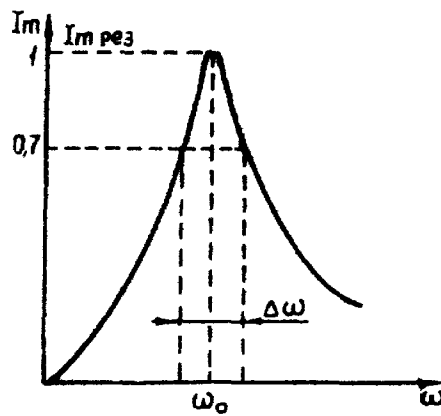


Рис. 14.5

Добротність контуру визначає також гостроту резонансних кривих. На рис. 14.5 зображено ширину резонансної кривої $\Delta\omega$ для амплітуди струму, яка дорівнює 0,707 від напруги при резонансі що відповідає $0,707^2 \approx 0,5$ 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. Активний опір контуру є змінним (резистор R).

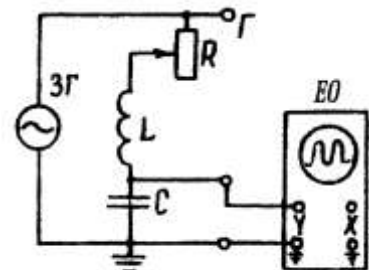


Рис. 14.6

Виконання роботи

1. Увімкнути осцилограф і звуковий генератор в мережу і дати їм прогрітися 5...7 хв.
2. Встановити на виході генератора напругу до 10 В.
3. Підібрати часову розгортку осцилографа так, щоб на екрані спостерігалось 15 - 25 періодів розгортки.
4. Змінюючи частоту генератора, знайти резонансну частоту $\nu_{рез}$, за якої амплітуда напруги U_{Cm} буде максимальною $U_{Cmрез}$ і підібрати підсилення осцилографа так, щоб максимуми та мінімуми синусоїда на екрані знаходилися поблизу верхньої та нижньої границь екрану.
5. Змінюючи частоту генератора знайти такі її значення ($\nu_1 < \nu_{рез}$ та $\nu_2 > \nu_{рез}$) при яких амплітуда напруги U_{Cm} складає $\approx U_{Cmрез}/2$. У діапазоні між частотами ω_1 та ω_2 провести 10 - 12 вимірювань амплітуди напруги U_{Cm} , змінюючи частоту генератора. Найбільш

детально (мінімальний крок зміни частоти) провести вимірювання в околі резонансної частоти. **Обчислити значення циклічної частоти ($\omega = 2\pi\nu$) з урахуванням множника частоти генератора.** Значення ω і U_{Cm} (у поділках сітки на екрані осцилографа) 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 Y осцилографа, 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.):

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

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 вимушених коливань у контурі в усталеному режимі.
2. Які фазові співвідношення існують між силою струму та напругою на конденсаторі та індуктивності в послідовному коливному контурі при вимушених коливаннях?
3. Який вигляд має векторна діаграма напруг для послідовного контуру при вимушених коливаннях?
4. Що таке резонанс напруг? Який вигляд мають резонансні криві напруги на конденсаторі у послідовному коливному контурі?
5. Який вигляд має векторна діаграма напруг при резонансі?
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.

30 TA OFFSHORE

