

Лабораторна робота № 59

ВИЗНАЧЕННЯ ДОБРОТНОСТІ КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ

Мета роботи: визначення добротності коливального контуру й побудова графіка резонансної кривої.

Прилади й матеріали: лабораторна установка для визначення добротності коливального контуру.

Теоретичні відомості

Послідовним коливальним контуром називається електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних індуктивності L , ємності C и активного опору R , що характеризує втрати в елементах контуру (катушка індуктивності має омичний опір), см. рис. 1а.

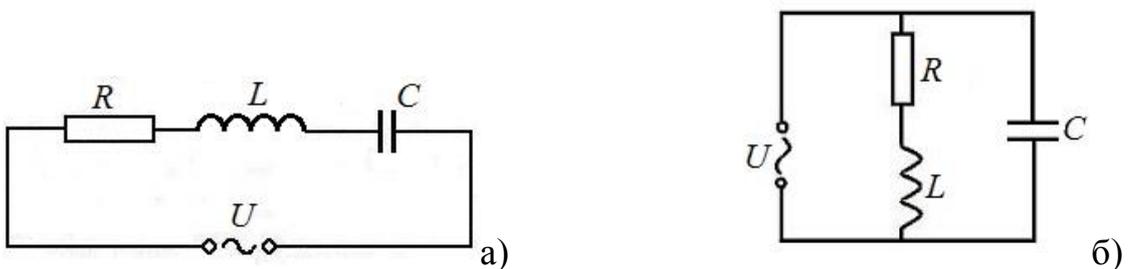


Рисунок 1. Послідовний (а) і паралельний (б) коливальні контури.

Розрізняють два типи коливальних контурів залежно від способів підключення зовнішньої напруги. Крім послідовного коливального контуру є можливим і паралельний коливальний контур (рис. 1б).

У даній роботі досліджується послідовний коливальний контур. Найважливішими характеристиками коливального контуру є власна (резонансна) частота ω_p й добротність Q .

У колах, що містять ємність й індуктивність, при певному значенні частоти сигналу, що впливає, спостерігається ефект резонансу - різке збільшення струму (резонанс струмів) або напруги (резонанс напруг) у колі. Така частота називається резонансною частотою коливального контуру й визначається для слабо згасаючих коливань по формулі Томсона:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

а добротність характеризує втрати енергії або потужності коливань за один період, тобто якість коливального контуру:

$$Q = \frac{P_p}{P_a}, \quad (2)$$

де P_p – реактивна потужність у коливальному контурі, P_a – потужність втрат електроенергії на активному опорі. Добротність реальних коливальних контурів становить 100 - 500.

У коливальному контурі переважними є втрати активної потужності в опорі R , тому потужність втрат можна розрахувати по формулі:

$$P_a = I^2 R, \quad (3)$$

де I – струм у контурі, обумовлений із закону Ома для кола змінного струму:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (4)$$

де U – напруга, $\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = Z$ – повний опір (імпеданс) коливального

контуру. Зі співвідношення (4) слідує, що при

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

струм у контурі максимальний, а повний опір контуру чисто активний. ωL і $\frac{1}{\omega C}$ називаються індуктивним й ємнісним опором або реактивним опором.

При резонансі

$$\omega_p L = \frac{1}{\omega_p C} = \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (5)$$

Величина ρ називається характеристичним (хвильовим) опором коливального контуру. Тоді добротність Q буде:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (6)$$

З'ясуємо вплив параметрів коливального контуру на форму резонансній кривій $I(\omega)$, враховуючи що величина максимального струму I_p при резонансі дорівнює

$$I_p = I_{\max} = \frac{U}{R}. \quad (7)$$

Крім цього перетворимо формулу для повного опору кола:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \omega_p^2 L^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{1}{\omega \omega_p LC}\right)^2},$$

$$Z = R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}. \quad (8)$$

Звідки для струму у колі маємо вираз:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}} = \frac{I_p}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}}. \quad (9)$$

З виразу (9) бачимо, що добротність коливального контуру можна визначити по його резонансній характеристиці, а саме, якщо вибрати такі значення струму I , що

$$I = I_p / \sqrt{2}, \quad (10)$$

і частоти ω_1 й ω_2 , для яких виконується співвідношення (10), (рис. 2), то можна показати, що

$$Q = \frac{\omega_p}{\omega_2 - \omega_1}. \quad (11)$$

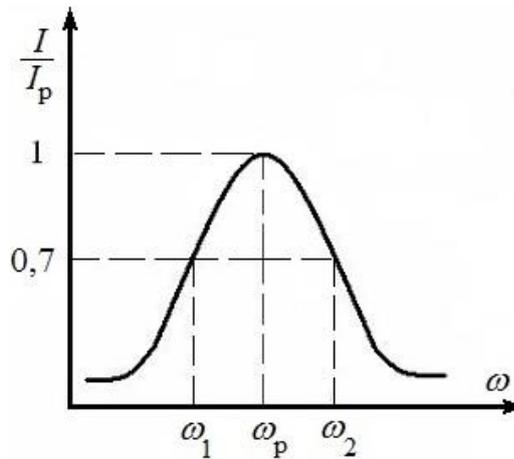


Рисунок 2. Залежність амплітуди струму від частоти.

Електрична схема установки для визначення добротності коливального контуру показана на рис. 3.

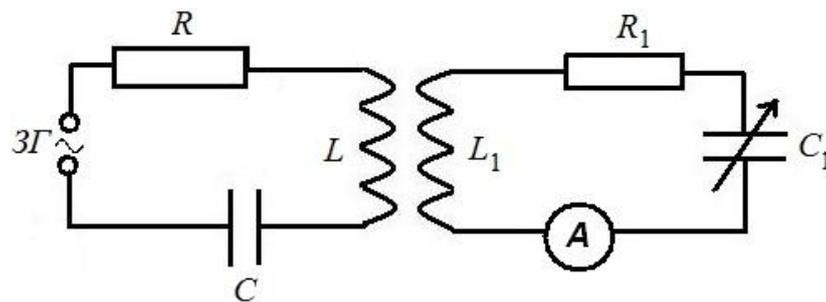


Рисунок 3. Електрична схема установки.

Установка складається зі звукового генератора $ЗГ$ і двох послідовних контурів – первинного й вторинного, зв'язаних по магнітному полю. Первинний контур утворений індуктивністю L , ємністю C , опором

катушки R і підключений до звукового генератора. Вторинний контур утворений елементами L_1 , C_1 , R_1 й амперметром A для виміру сили струму в контурі.

Резонансна частота первинного контуру незмінна. Резонансну частоту вторинного контуру можна змінювати за допомогою конденсатора змінної ємності C_1 . Конденсатором змінної ємності є плоский багатопластинчатий конденсатор з обертовим рухом однієї системи обкладок (ротор) по відношенню до іншої (статор). Зміна ємності досягається за рахунок зміни площі перекриття обкладок, тобто залежно від кута φ між його обкладками. Вісь обертання обкладок конденсатора виведена на лицьову панель приладу. Важливою характеристикою такого конденсатора є лінійний закон зміни його ємності в залежності від кута повороту обкладок ($C_1 \sim \varphi$).

Послідовність виконання роботи

1. Включити звуковий генератор у мережу.
2. Обертанням ручки осі конденсатора встановити стрілку в ліве крайнє положення.
3. Міняючи кут повороту обкладок змінного конденсатора через кожні 10° , записати показання приладу A . Показання зняти від 10° до 180° та внести в таблицю 1.
4. Розрахувати відношення $\frac{I}{I_p}$ для кожного виміру.
5. За даними вимірів побудувати графік резонансної кривої (згідно рис. 2) і визначити добротність коливального контуру.

Звіт за виконану роботу

1. Робоча формула для добротності коливального контуру:

$$Q = \frac{\varphi_p}{\varphi_2 - \varphi_1}.$$

(12)

1.1. Величина, що вимірюється:

I – струм, [I] = А.

1.2. Величина, що обчислюється:

$\frac{I}{I_p}$ – відношення струму в контурі на частоті ω до струму при

резонансі.

2. Результати експерименту внести в таблицю 1:

Таблиця 1

N	I, A	$\varphi, \text{град.}$
1		10
2		20
3		30
4		40
5		50
6		60
7		70
8		80
9		90
10		100
11		110
12		120
13		130
14		140
15		150
16		160
17		170
18		180

3. Обробка результатів експерименту:

За даними вимірів знайти максимальне значення току I_p та φ_p .

Визначити відношення I_k / I_p для кожної частоти, де $k = 1, 2, \dots, 18$.

Побудувати графік резонансної кривої за даними вимірювань.



Визначити добротність коливального контуру за формулою (12):

$$Q = \frac{\varphi_p}{\varphi_2 - \varphi_1},$$

при $I/I_p \approx 0.7$, $\varphi_p =$, $\varphi_1 =$ та $\varphi_2 =$

.

4. Висновки:

Контрольні питання

1. Дати визначення періоду, частоти, амплітуди й фази гармонійних коливань.
2. Записати рівняння зсуву коливної точки й пояснити всі величини, що входять у нього.
3. Записати закон Ома для кола змінного струму. Пояснити всі величини, що входять у нього.
4. Накреслити схему паралельного й послідовного коливального контуру.
5. У чому полягає явище резонансу? Його застосування.

6. Пояснити явища, що відбуваються в коливальному контурі.
7. Дати визначення добротності.
8. Як зміниться резонансна крива при зміні опору?
9. Побудувати векторну діаграму для резонансу напруг і резонансу струмів.
10. Побудувати графіки залежностей ємнісного й індуктивного опорів від частоти.
11. Є послідовний коливальний контур. Як зміниться резонансна частота контуру, якщо не змінюючи значень індуктивності та ємності утворити паралельний коливальний контур?