

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ

Мета роботи: експериментальне дослідження вхідних і передавальних характеристик послідовного контуру.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Основні параметри послідовного коливального контуру. Послідовним коливальним контуром називають коло, складене з котушки і конденсатора, сполучених послідовно відносно вхідних затискачів (рис.1).

Нехай на вході контуру діє джерело синусоїдальної напруги: $U_1 = U_{m1}\sin\omega t$. Для визначення струму в колі складемо рівняння за другим законом Кірхгофа для комплексних амплітуд

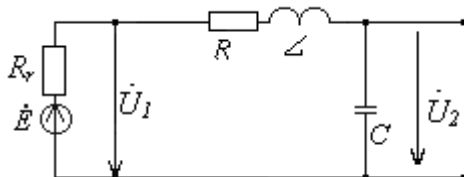


Рис.1

$$R\dot{I}_m + j\omega L\dot{I}_m - j\frac{1}{\omega C}\dot{I}_m = \dot{U}_{m1} \quad (1)$$

Звідси

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_{m1}}{R + j(\omega L - 1/\omega C)}, \quad (2)$$

а ефективне значення струму

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}. \quad (3)$$

Режим кола, при якому струм і напруга на вході кола співпадають за фазою, називається резонансом. З рівняння (2):

$$\varphi_{\text{вх}} = \arctg(\omega L - 1/\omega C)/R. \quad (4)$$

Умова резонансу $\varphi_{\text{вх}} = 0$, тобто $\omega L - 1/\omega C = 0$, звідси резонансна частота

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}; \quad f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}. \quad (5)$$

Характеристичним опором контуру називають модуль опору кожного реактивного елемента на резонансній частоті:

$$\rho = X_{L_0} = \omega_0 L = X_{C_0} = 1/\omega_0 C = \sqrt{L/C}. \quad (6)$$

На резонансній частоті напруга на котушці і конденсаторі дорівнює $U_{L0} = U_{C0} = U_{20}$, досягає максимального значення $I_p = U_1/R$.

Відношення напруги на котушці або конденсаторі до напруги, що прикладена до кола на резонансній частоті, називається добротністю контуру

$$Q = U_{20}/U_1 = \rho I_p / R I_p = \rho/R. \quad (7)$$

Таким чином, напруга на виході контуру при резонансі в Q раз більша напруги на вході: $U_{20} = QU_1$. Добротність Q є величина обернена згасанню контуру:

$$d = 1/Q = R/\rho. \quad (8)$$

Якщо до вихідних затискачів контуру підключити резистор (рис.2а), то в ньому буде розсіюватись енергія, внаслідок чого добротність кола зменшиться у порівнянні з добротністю не навантаженого контуру. Паралельне сполучення конденсатора і резистора можна замінити послідовним включенням (рис.2б), де $R' = \rho^2/R_H$ (якщо $R_H \gg \rho$).

Добротність навантаженого контуру

$$Q_{ек} = \rho/[R+L/CR_H] = Q/[1+Q\rho/R_H]. \quad (9)$$

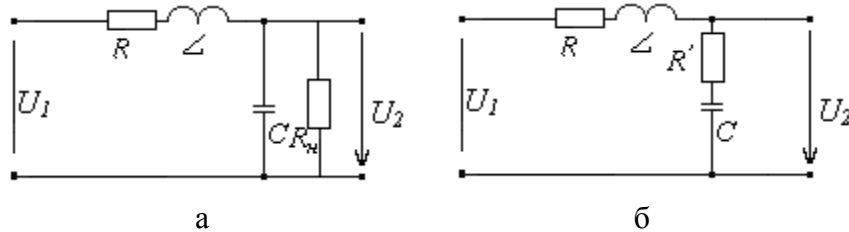


Рис. 2

Якщо частота джерела енергії ω співпадає з резонансною частотою контуру ω_0 , то такий контур настроєний у резонанс, якщо частота ω відрізняється від частоти ω_0 , то такий контур розстроєний. Абсолютною розстройкою є різниця між частотою генератора і резонансною частотою контуру; $\Delta f = f - f_0$ або $\Delta\omega = \omega - \omega_0$. Відносною розстройкою називають відношення $\epsilon = 2\Delta f / f_0$. Узагальнена розстройка $\zeta = X/R = (X_L - X_C)/R \approx 2\Delta f Q/f_0$.

2. Вхідні і передаточні характеристики послідовного контуру.

Вхідними характеристиками послідовного контуру називають залежності струму рівняння (3), вхідного опору $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ і кута зсуву фаз (4) як функції частоти. На рис. 3, 4 і 5 наведені вхідні характеристики, побудовані на підставі вищезазначених рівнянь.

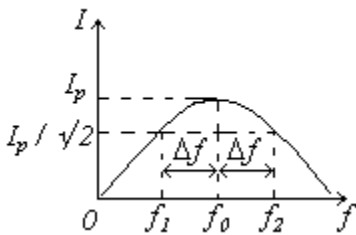


Рис.3

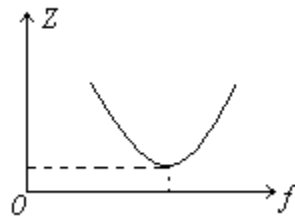


Рис.4

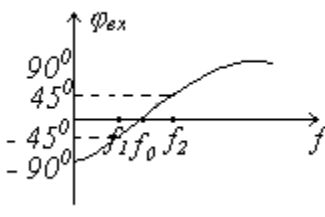


Рис.5

Характер залежності струму від частоти показує, що послідовний коливальний контур володіє вибірними властивостями, тобто відгукується на сигнали, частоти яких близькі до резонансної.

Граничними називають частоти f_1 і f_2 , на яких діюче значення струму зменшується на 3 дБ (тобто у $\sqrt{2}$ рази) у порівнянні з його значенням на резонансній частоті (рис.3). Діапазон частот від f_2 до f_1 , називають абсолютною шириною смуги прозорості контуру:

$$\Pi = 2\Delta f = f_0 / Q. \quad (10)$$

Граничні частоти знаходяться з виразів

$$f_{1,2} = f_0 \pm \Pi/2 \approx (f_0/2Q)(2Q \pm 1) \quad (11)$$

Передаточними характеристиками послідовного контуру називають залежності $U_2 = F(f)$ і $\phi_k = F(f)$. Згідно із законом Ома для ділянки кола

$$U_2 = U_C = I \frac{1}{\omega C} = U_1 / \sqrt{(\omega CR)^2 + (\omega^2 LC - 1)^2} \quad (12)$$

і має таку ж форму як і залежність $I = F(f)$ (рис.3). Передаточна ФЧХ описується виразом (рис.6)

$$\phi_k = - [\arctg(\omega L - 1/\omega C)/R + \pi/2] \quad (13)$$

У радіоелектроніці за незалежну змінну частоти використовують узагальнену розстройку ζ , а вхідні і передаточні характеристики будують у відносних координатах: $I/I_p = 1/\sqrt{1+\zeta^2}$; $Z/R = \sqrt{1+\zeta^2}$; $\varphi_{\text{вх}} = \arctg \zeta$; $U_C/U_{C0} = 1/\sqrt{1+\zeta^2}$; $\varphi_k = -(\arctg \zeta + \pi/2)$.

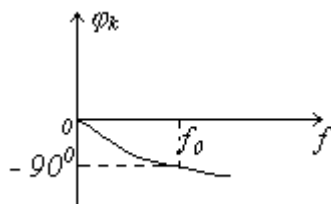


Рис.6

На границі смуги прозорості в поодинокому контурі узагальнена розстройка $\zeta = \pm 1$. Відносна ширина смуги прозорості чисельно дорівнює згасанню контуру: $S_0 = d = 1/Q$.

Контрольні запитання

1. Чи може напруга на якому-небудь реактивному елементі контуру перевищувати величину прикладеної напруги?
2. Який знак має фаза струму по відношенню до прикладеної напруги на резонансній частоті; на частоті меншій за резонансну; на частоті меншій за резонансну?
3. Як веде себе модуль повного опору послідовного контуру із зміною частоти?
4. Чому при наближенні до резонансної частоти напруга на вхідних затискачах генератора зменшується (рис.1)?
5. У скільки разів активна потужність, що виділяється в контурі на граничній частоті, відрізняється від потужності на резонансній частоті?
6. Як змінюються при резонансі струм у колі I , активна потужність P_a , напруги U_R , U_L і U_C , якщо активний опір контуру збільшити у два рази?

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості про послідовний контур.
2. Дати відповіді на контрольні запитання у письмовій формі.
3. Обчислити резонансну частоту f_0 , добротність Q , згасання d , граничні частоти f_1 і f_2 для контуру (рис.1). Вихідні дані: $L = 0,11$ Гн; $R = 208$ Ом, а ємність конденсатора C брати згідно з варіантом завдання.
4. Повторити пункт 3 для випадку, коли паралельно конденсатора ввімкнено опір навантаження $R_n = 30$ кОм (рис.2).

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C , пФ	700	850	1000	1150	1300	1450	1600	1750	1900	2000	2200

Лабораторне завдання

1. Ознайомитись з принципом роботи вимірювальних приладів, що використовуються в роботі: генератор ГЗ – 33, фазометр, мілівольтметр ВЗ – 38.
2. Зібрати функціональну схему лабораторної роботи (рис.7). Увімкнути прилади для прогріву. Регулятор вихідного опору генератора повинен знаходитись у положенні мінімального опору. Перемикач П2 на макеті розімкнутий ($R_n = \infty$).
3. Визначити резонансну частоту контуру за максимумом струму. Порівняти розрахункове значення частоти з виміряним.
4. Зняти залежності: $I = F(f)$, $U_{\text{вих}} = F(f)$, $\varphi_k = F(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$. Частоту змінювати в межах від f_0 до $\pm 4\Delta f$ (тобто $f_0 - 4\Delta f < f < 4\Delta f + f_0$). Кожний раз при зміні частоти контролювати сталість напруги U_1 і при необхідності підправляти її регулятором виходу генератора.

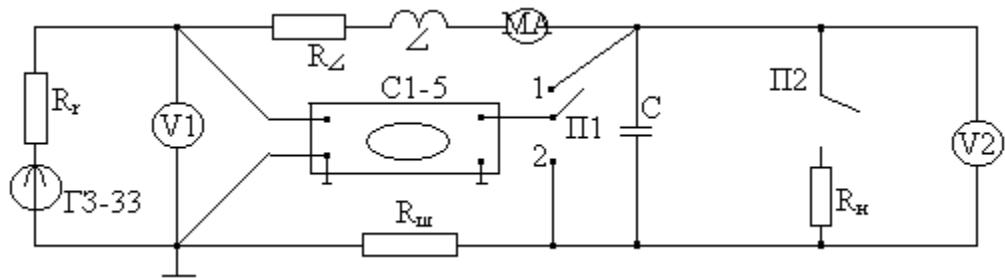


Рис.7

5. Побудувати графіки знятих залежностей. З графіків визначити: граничні частоти, смугу прозорості, згасання, добротність.
6. За допомогою перемикача П2 ввімкнути опір навантаження R_n . Повторити пункти 4 і 5.
7. Використовуючи рівняння (1), побудувати векторні діаграми на резонансній f_0 і граничних частотах f_1 і f_2 .
8. У звіті привести: а) таблиці теоретичних розрахунків і таблиці експериментальних даних; б) графіки експериментальних залежностей; в) векторні діаграми; г) висновки і оцінки отриманих результатів.

Список літератури

1. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.: Высш. шк., 1985. – 496с.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – Л.: Энергия, 1972. – 816с.