

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНОГО КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ

Мета роботи: експериментально дослідити входні і передаточні характеристики паралельного коливального контуру.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Резонанс у простому коливальному контурі. Електричне коло з паралельно сполученими котушкою і конденсатором називають простим паралельним контуром (рис.1).

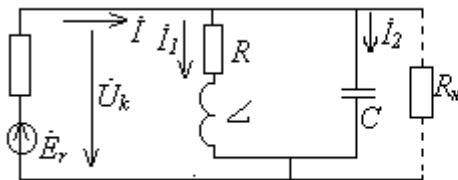


Рис.1

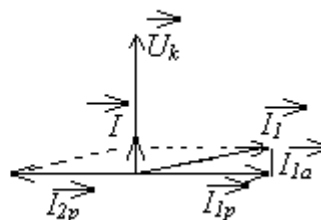


Рис.2

Напруга на контурі $\dot{U}_k = \dot{E}_r - R_r \dot{I}$, де R_r – внутрішній опір джерела живлення. Струми у вітках

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_k}{R + j\omega L} = \frac{\dot{U}_k}{z_1^2} R - j \frac{\dot{U}_k}{z_1^2} \omega L; \quad (1)$$

$$\dot{I}_2 = j\omega C \dot{U}_k; \quad (2)$$

а струм у зовнішньому колі

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{U}_k (R/z_1^2) + j\dot{U}_k (\omega C - \omega L/z_1^2). \quad (3)$$

Тут $z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ – модуль повного опору індуктивної вітки.

Провідність контуру

$$Y_k = \dot{I} / \dot{U}_k = R/z_1^2 + j(\omega C - \omega L/z_1^2). \quad (4)$$

Як виходить з рівняння (4), у загальному випадку струму \dot{I} і напруга \dot{U}_k зсунуті за фазою на деякий кут φ

$$\varphi = \arctg(\omega C - \omega L/z_1^2) / (R/z_1^2). \quad (5)$$

Під резонансом розуміють такий режим кола, при якому загальний струм співпадає за фазою з прикладеною напругою. Отже, умова резонансу струмів, як впливає з рівняння (5), $\varphi = 0$, тобто

$$\omega C - \omega L/z_1^2 = 0. \quad (6)$$

Рішення рівняння (6)

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - d^2}, \quad (7)$$

де $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, $d = R/\rho$ – згасання контуру, $\rho = \sqrt{L/C}$ – хвильовий опір контуру.

Для контурів, що використовуються в радіотехніці, завжди справедлива нерівність $d \ll 1$, а тому при практичних розрахунках можна покласти $\omega_p \approx \omega_0$.

2. Добротність паралельного контуру. На резонансній частоті реактивна складова провідності паралельного контуру дорівнює нулю, а тому резонансний опір контуру, як величина обернена до провідності, досягає максимального значення. З рівняння (4)

$$R_0 = 1/Y_{kp} = z_1^2 / R = [R_1^2 + (\omega_0 L)^2] / R.$$

На резонансній частоті $\omega_0 L = \rho \gg R$, а тому резонансний опір контуру

$$R_0 = \rho^2 / R = \rho Q, \quad (8)$$

де

$$Q = \rho / R \quad (9)$$

власна добротність контуру.

Реактивні складові струмів у вітках і струму на вході кола на резонансній частоті дорівнюють

$$\dot{I}_{1p} = -j\dot{U}_k / \rho; \quad \dot{I}_{2p} = j\dot{U}_k / \rho; \quad (10)$$

$$\dot{I} = \dot{U}_k R / [R^2 + (\omega_0 L)^2] \approx \dot{U}_k R / \rho^2 \quad (11)$$

З (10) і (11) випливає

$$I_{1p} / I = I_{2p} / I = \rho / R = Q. \quad (12)$$

Таким чином, реактивні складові струмів у вітках паралельного контуру при резонансі за амплітудою в Q раз перевищують струм у зовнішньому колі. У будь-яку мить часу реактивні складові струмів у вітках рівні за величиною і протилежні за напрямком (10). Іншими словами, при резонансі реактивні складові струму циркулюють у контурі, не відгалужуючись у зовнішнє коло. В індуктивній вітці за рахунок активного опору котушки має місце активна складова струму, яка створює струм у зовнішньому колі. На рис.2 згідно з рівнянням (3) побудована векторна діаграма на резонансній частоті.

На добротність контуру впливає внутрішній опір генератора R_r , який увімкнений паралельно контуру. Перерахуємо R_r у послідовне сполучення з конденсатором, одержимо $R'_r = \rho^2 / R_r$.

Еквівалентна добротність контуру

$$Q_{ek} = \rho / (R + R'_r) = Q / (1 + R_0 / R_r). \quad (13)$$

Зрівнюючи (13) з (9) бачимо, що $Q_{ek} < Q$.

Якщо контур навантажений на резистор R_H (рис.1), то в усі розрахункові вирази потрібно підставляти: $R_r R_H / (R_r + R_H)$.

3. Резонансні характеристики паралельного контуру. До вхідних характеристик відносяться залежності $Z_{вх} = F(f)$ і $\varphi = F(f)$.

З рівняння (4) $z_{ex} = 1 / Y_k$, звідси модуль вхідного опору

$$z_{ex} = R_0 / \sqrt{1 + \zeta^2}, \quad (14)$$

де $\zeta = 2Q\Delta f / f_0$ – узагальнена розстройка контуру.

Фазо-частотна характеристика описується рівнянням (5). На рис.3 і 4 подані вхідні характеристики паралельного контуру.

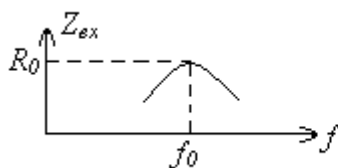


Рис.3

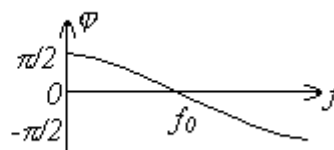


Рис.4

Передаточною характеристикою паралельного контуру є залежність $U_k = F(f)$. Щоб напруга на контурі змінювалась у залежності від частоти вхідного сигналу, потрібно мати коло, в якому вхідний струм залишається практично постійним при зміні частоти джерела сигналу. Для одержання такого режиму послідовно з джерелом вмикають резистор $R_{дод}$ такої величини, щоб $R_r + R_{дод} = R_1 = (3 \div 8)R_0$.

Таким чином, якщо струм джерела I не залежить від навантаження, напруга на контурі

$$U_k = I z_{ex} = I R_0 / \sqrt{1 + \zeta^2} = U_{kp} / \sqrt{1 + \zeta^2},$$

де $U_{kp} = I R_0$ – напруга на контурі при резонансі, яка є найбільшою ($\zeta = 0$).

Амплітудно-частотна характеристика напруги на контурі у відносних одиницях

$$U_k / U_{kp} = 1 / \sqrt{1 + \zeta^2}. \quad (15)$$

Якщо на висоті 0,707 провести пряму, паралельну осі узагальненої розстройки ζ (рис.5), то точки перетину з характеристикою дадуть відносне значення смуги прозорості:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{zp}^2}}; \zeta_{zp} = \pm 1 = \pm 2Q \frac{\Delta f}{f_0}.$$

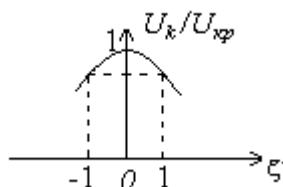


Рис. 5

Звідси

$$S_0 = 2\Delta f/f_0 = 1/Q = d. \quad (16)$$

Отже, відносна смуга прозорості контуру чисельно дорівнює його згасанню.

Контрольні запитання

1. При якому режимі кола у паралельному контурі спостерігається резонанс струмів?
2. Як веде себе резонансний опір контуру із зміною його добротності?
3. Як зміниться смуга прозорості паралельного контуру, якщо внутрішній опір джерела ЕРС зменшиться?
4. Як обчислити резонансну частоту паралельного контуру при: а) малих втратах; б) великих втратах?
5. Як визначається добротність: а) навантаженого контуру; б) ненавантаженого контуру?
6. На яких частотах вхідний опір паралельного контуру носить: а) ємнісний характер; б) індуктивний характер; в) активний характер?
7. Наскільки слід розстроїти контур, щоб вихідна напруга зменшилась у два рази?
8. Як зміниться $Q_{ек}$, якщо опір R_H збільшити у два рази (рис.1)?

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості про паралельний коливальний контур.
2. Дати відповіді на контрольні запитання у письмовій формі.
3. Обчислити резонансну частоту f_0 , власну добротність Q , еквівалентну добротність $Q_{ек}$ і резонансний опір контуру R_0 , якщо $L = 5,10^{-2}$ Гн, $R = 20$ Ом; $R_i = 50$ кОм; $R_H = 10$ кОм, а ємність C береться згідно з варіантом завдання.
4. Розрахувати і побудувати характеристики $z_{вх} = F(f)$ і $\varphi = F(f)$ для тих же значень параметрів контуру, що і в п.3. Розрахунок провести для частот: f_0 ; $f_0 \pm 200$ Гц; $f_0 \pm 400$ Гц; $f_0 \pm 600$ Гц; $f_0 \pm 800$ Гц.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С, пФ	1500	1740	2000	2260	2510	2760	3000	3220	3500	4000	4300

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.6). Увімкнути прилади для прогріву.

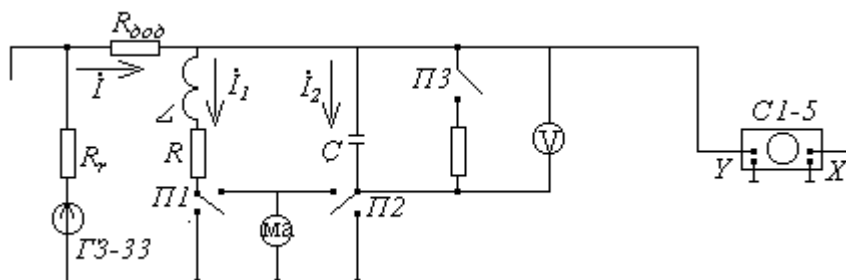


Рис.6

3. Зняти залежності $I = F(f)$ і $\varphi = F(f)$ при умові, що ефективне значення напруги на виході генератора підтримується постійним ($U \leq 5\text{В}$), а частота змінюється в межах $0,5f_0 \leq f \leq 1,5f_0$.
4. За даними вимірювань п.3:
 - а) побудувати графік $I = F(f)$, з якого визначити резонансну частоту контуру і порівняти із розрахунковим значенням частоти;
 - б) побудувати графік $\varphi = F(f)$, на якому показати, при яких частотах коло носить індуктивний, ємнісний або виключно активний характер;
 - в) розрахувати і побудувати графік $z_{\text{вх}} = F(f)$, з якого визначити резонансний опір контуру і зрівняти його з розрахунковим.
5. Зняти залежності $U_k = F(f)$, $I_1 = F(f)$, $I_2 = F(f)$ за умовою, що загальний струм підтримується постійним $I \leq 1 \text{ мА}$. Частоту змінювати в тих же межах, що і в п.4.
6. За даними вимірювань п.5:
 - а) побудувати графік знятих залежностей;
 - б) з резонансних кривих визначити: резонансну частоту, смугу прозорості, еквівалентну добротність (через смугу прозорості і відношення струмів);
7. Повторити п.5 і п.6 для випадку, коли перемикач ПЗ розімкнений ($R_H = \infty$).
8. За даними вимірювань п.5 побудувати векторні діаграми на частотах:
 - а) $f = f_0$,
 - б) $f = f_0 + \Delta f$,
 - в) $f = f_0 - \Delta f$,
 де Δf відповідає граничним частотам смуги прозорості контуру.
9. У звіті привести: а) таблиці теоретичних обчислень і таблиці експериментальних даних; б) графіки теоретичних і експериментальних залежностей; в) векторні діаграми; г) висновки і оцінки отриманих результатів.

Список літератури

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