

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК RC – ФІЛЬТРІВ

Мета роботи: вивчити схеми, принцип роботи і характеристики RC – фільтрів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електричні фільтри призначені для виділення корисного сигналу з шуму або з суміші інших сигналів, що мають спектральний склад, відмінний від спектру корисного сигналу. Фільтри передають сигнали в певній області частот, яка називається областю прозорості або смугою прозорості фільтра. У залежності від того, в якій області частот фільтр прозорий, розрізняють: нижні (ФНЧ), верхні (ФВЧ), смугові (СФ) і загороджувальні (ЗФ) фільтри.

Основним показником фільтра є коефіцієнт передачі за напругою:

$$\dot{K} = \dot{U}_2 / \dot{U}_1 = U_2 e^{j\varphi_2} / U_1 e^{j\varphi_1} = K e^{j\varphi},$$

де $K = U_2/U_1$; $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, U_2 – напруга на виході фільтра, U_1 – напруга на вході фільтра. Залежність $K = F(\omega)$ називається амплітудно-частотною характеристикою фільтра, а залежність $\varphi = F(\omega)$ називається фазо-частотною характеристикою фільтра.

1. Фільтр нижніх частот. ФНЧ має область прозорості від $\omega = 0$ до деякої частоти ω_0 , яка називається частотою зрізу фільтра. Елементарний (одна ланка) ФНЧ подано на рис.1,а.

На частоті $\omega = 0$ опір конденсатора $X_C = 1/\omega C = \infty$, а тому напруга $U_2 = U_1$ і, отже, $K=1$. Із збільшенням частоти опір конденсатора зменшується, отже, зменшується і вихідна напруга U_2 . Частота, на якій U_2 зменшується в порівнянні з U_1 в $\sqrt{2}$ рази, називається частотою зрізу ω_0 .

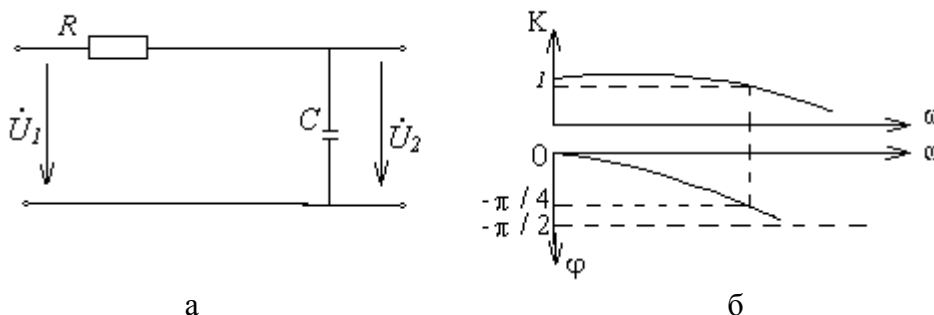


Рис.1

Напруга на виході ФНЧ

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{R + 1/j\omega C} \cdot \frac{1}{j\omega C} = \frac{\dot{U}_1}{1 + j\omega CR}.$$

Коефіцієнт передачі фільтра

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + (\omega CR)^2} - j \frac{\omega CR}{1 + (\omega CR)^2}.$$

Звідси

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}; \quad (1)$$

$$\varphi = -\arctg \omega CR. \quad (2)$$

Згідно з визначенням частоти зрізу

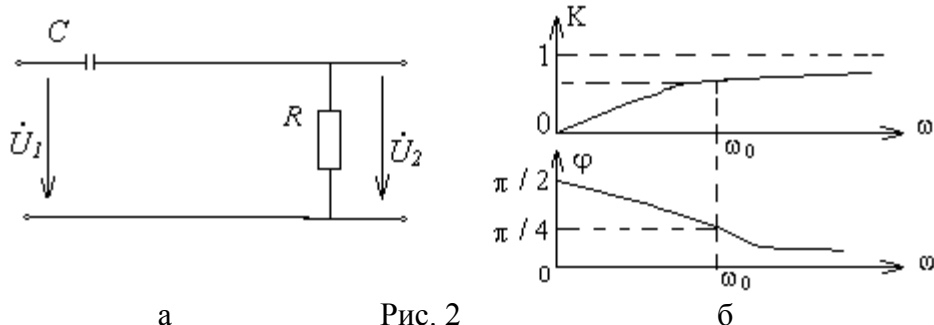
$$\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

$$\text{Звідси } \omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (3)$$

На рис.1,б подані амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики ФНЧ, побудованих за рівняннями (1) і (2) відповідно.

2. Фільтр верхніх частот. ФВЧ має область прозорості від частоти зрізу ω_0 до $\omega = \infty$. Елементарну ланку ФВЧ подано на рис.2,а.

На частоті $\omega = \infty$ опір конденсатора дорівнює нулю, а тому $U_2 = U_1$ і $K=1$. Із зменшенням частоти опір конденсатора зростає, а напруга на виході зменшується.



Напруга на виході ФВЧ

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{R + 1/j\omega C} \cdot R = \frac{\dot{U}_1}{1 + 1/j\omega CR}$$

Коефіцієнт передачі фільтра

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR} = \frac{(\omega CR)^2}{1 + (\omega CR)^2} + j \frac{\omega CR}{1 + (\omega CR)^2}$$

Звідси

$$K = \omega CR / \sqrt{1 + (\omega CR)^2}, \tag{4}$$

$$\varphi = \arctg 1/\omega CR. \tag{5}$$

Частота зрізу визначається з рівняння

$$\omega CR / \sqrt{1 + (\omega CR)^2} = 1/\sqrt{2}$$

і співпадає з формулою (3).

На рис.2,б подані характеристики ФВЧ, які побудовані за рівняннями (4) і (5).

3. Смугові фільтри. СФ має смугу прозорості в діапазоні частот $\omega_n \div \omega_b$ і являє собою послідовне сполучення елементарних RC – ланок фільтрів нижніх (R_1, C_1) і верхніх (R_2, C_2) частот (рис.3,а). ФНЧ не пропускає сигналів високої частоти, а ФВЧ – сигналів низьких частот. Цим і обумовлені властивості схеми смугового фільтра.

Напруга на виході СФ

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + 1/j\omega C_2 + R_2/(1 + j\omega C_1 R_2)} \cdot \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2}$$

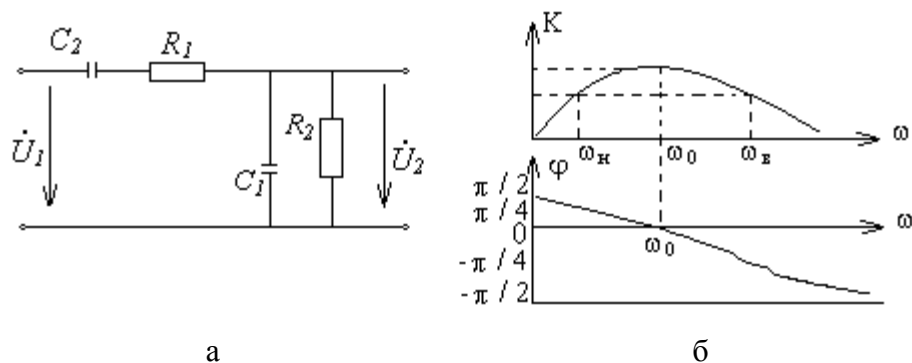


Рис.3

Коефіцієнт передачі фільтра

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{(1 + R_1/R_2 + C_1/C_2) + j(\omega C_1 R_1 - 1/\omega C_2 R_2)}, \quad (6)$$

З (6) випливає

$$K = \frac{1}{\sqrt{(1 + R_1/R_2 + C_1/C_2)^2 + (\omega C_1 R_1 - 1/\omega C_2 R_2)^2}} \quad (7)$$

$$\varphi = -\arctg \frac{\omega C_1 R_1 - 1/\omega C_2 R_2}{1 + R_1/R_2 + C_1/C_2}. \quad (8)$$

Коефіцієнт передачі досягає максимального значення

$$K_0 = \frac{1}{1 + R_1/R_2 + C_1/C_2}, \quad (9)$$

якщо $\omega C_1 R_1 - 1/\omega C_2 R_2 = 0$.

Звідси квазірезонансна частота СФ

$$\omega_0 = 1/\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}. \quad (10)$$

Якщо $R_1 = R_2 = R$ і $C_1 = C_2 = C$, то $K_0 = 1/3$, а $\omega_0 = 1/RC$.

З рівняння (6)

$$\dot{K} = \frac{1}{3 + j(\Omega - 1/\Omega)}, \quad (11)$$

де $\Omega = \omega CR$.

Звідси рівняння для визначення смуги прозорості фільтра

$$\frac{K_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{3\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{9 + (\Omega - 1/\Omega)^2}}.$$

Частоти зрізу СФ: $\Omega_1 = 3,3$; $\omega_b = 3,3/RC$; $\Omega_2 = 0,3$; $\omega_n = 0,3/RC$. Від'ємні значення Ω відповідають частотам $\omega < \omega_0$, а позитивні – частотам $\omega > \omega_0$.

На рис.3,б подані амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики, побудовані за рівняннями (7) і (8).

4. Загороджувальний фільтр. ЗФ являє собою двійний Т-подібний міст (рис.4,а), утворений паралельним сполученням ФНЧ і ФВЧ. Сигнал у схемі ЗФ проходить на вихід з малим ослабленням на низьких (через ФНЧ) і на високих (через ФВЧ) частотах. На середніх частотах ФНЧ і ФВЧ погано пропускають коливання. А тому ЗФ на деякій частоті має коефіцієнт передачі рівний нулю, оскільки коливання, що проходять через ФНЧ і ФВЧ, поступають на вихід фільтра в протилежних фазах.

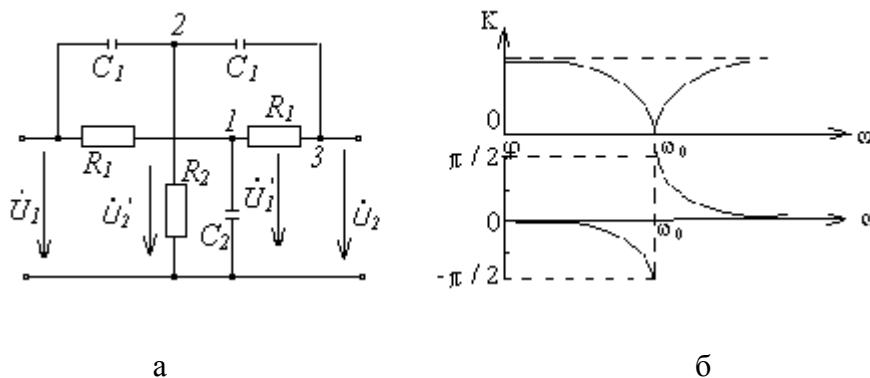


Рис.4

Для розрахунку частотної характеристики ЗФ використаємо метод вузлових потенціалів. Для вузлів 1, 2 і 3 (рис.4,а) отримаємо такі рівняння:

$$\frac{\dot{U}_1 - \dot{U}'_1}{R_1} + \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}'_1}{R_1} - \dot{U}'_1 j\omega C_2 = 0;$$

$$(\dot{U}_1 - \dot{U}'_2)j\omega C_1 + (\dot{U}_2 - \dot{U}'_2)j\omega C_1 - \dot{U}'_2 / R_2 = 0;$$

$$(\dot{U}'_2 - \dot{U}_2)j\omega C_1 + (\dot{U}'_1 - \dot{U}_2) / R_1 = 0;$$

Виключаючи з цих рівнянь \dot{U}'_1 і \dot{U}'_2 , отримаємо

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1/R_1(2 + j\omega C_1 R_1) - \omega^2 C_1^2 / (2j\omega C_1 + 1/R_2)}{j\omega C_1 + 1/R_1 + \omega^2 C_1^2 / (2j\omega C_1 + 1/R_2) - 1/(2R_1 + j\omega C_2 R_1^2)}. \quad (12)$$

У практичних схемах вибирають параметри елементів ЗФ так, щоб $R_1 = 2R_2 = R$, $C_1 = C_2/2 = C$. Введемо нову змінну $\Omega = \omega CR$. Рівняння (12) набуде вигляду:

$$\dot{K} = \frac{1 - \Omega^2}{1 - \Omega^2 + j4\Omega}. \quad (13)$$

Звідси модуль і фазовий зсув

$$K = \frac{1 - \Omega^2}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + 16\Omega^2}}, \quad (14)$$

$$\varphi = \arctg 4\Omega / (\Omega^2 - 1). \quad (15)$$

На рис.4,б подані амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики ЗФ, що побудовані за рівняннями (14) і (15).

Контрольні запитання

1. Що таке частота зрізу фільтра і з якої умови вона визначається?
2. Чому ФНЧ пропускає сигнали низьких частот і не пропускає сигналів високої частоти?
3. Яким чином можна змінити частоту зрізу ФВЧ?
4. Чому в смузі прозорості ЗФ фазова характеристика змінює знак (рис.3,б)?
5. За яких умов визначається квазірезонансна частота СФ?
6. Чому ЗФ пропускає як сигнали низьких, так і сигнали високих частот?
7. Чому в ЗФ на квазірезонансній частоті (рис.4,б) коефіцієнт передачі дорівнює нулю?

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості з RC-фільтрів.
2. Дати відповіді на контрольні запитання у письмовій формі.
3. Розрахувати і побудувати графіки частотних і фазових характеристик ФНЧ, ФВЧ, СФ і ЗФ, якщо $R = 10$ кОм, а ємність конденсатора задається згідно з варіантами завдань.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С, пф	330	360	390	470	560	620	750	820	910	2000	3600

Лабораторне завдання

1. Ознайомитися з принципом роботи вимірювальних приладів, що використовуються в роботі: генератор GFG-8210, фазометр Ф2-34, мілівольтметр ВЗ-38.
2. Зібрати функціональну схему лабораторної роботи (рис.5). Увімкнути прилади для прогріву.

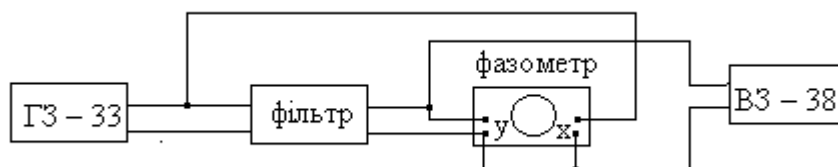


Рис. 5

3. Експериментально визначити частоту зріза ФНЧ $f_0 = \omega_0 / 2\pi$.
4. Зняти амплітудно-частотну характеристику ФНЧ $k = F(f)$. Частоту змінювати в межах від $0,25 f_0$ до $3 f_0$. Експериментальні точки нанести на відповідний теоретичний графік.
5. Зняти фазо-частотну характеристику ФНЧ $\varphi = F(f)$. Експериментальні точки нанести на відповідний теоретичний графік.
6. Пункт 3, 4 і 5 повторити для фільтрів: а) ФВЧ, б) СФ, в) ЗФ.
7. Пояснити можливі розходження теоретичних і експериментальних залежностей з урахуванням впливу вихідного опору генератора і вхідних опорів фазометра і мілівольтметра.
8. У звіті привести: а) таблиці теоретичних розрахунків і експериментальних даних; б) графіки теоретичних і експериментальних залежностей; в) висновки і оцінки отриманих результатів.

Список літератури

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
2. Лосев А.К. Линейные радиотехнические цепи. – М.: Высш. шк., 1971.-560с.