

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ ФІЛЬТРІВ ТИПУ К

Мета роботи: дослідити амплітудно-частотні, фазо-частотні і передаточні характеристики фільтрів типу К.

#### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Граничні частоти смуги прозорості фільтра. Електричний фільтр являє собою пасивний чотириполюсник, який пропускає певну смугу частот з малим згасанням; за межами цієї смуги частот згасання велике.

Смуга частот, при якій згасання мале, називається смугою прозорості фільтра.

Звичайно фільтри будують за симетричною Т-, або П-подібною схемою, рис.1 а,б.

Позначення, що приведені на схемах, дають можливість встановити єдині кількісні співвідношення, справедливі для будь-якої схеми фільтра. Фільтри типу К задовольняють умови:  $\underline{Z}_2 = L/C = \rho^2$ , тобто  $\underline{Z}_1$  і  $\underline{Z}_2$  – реактивні опори різних знаків.

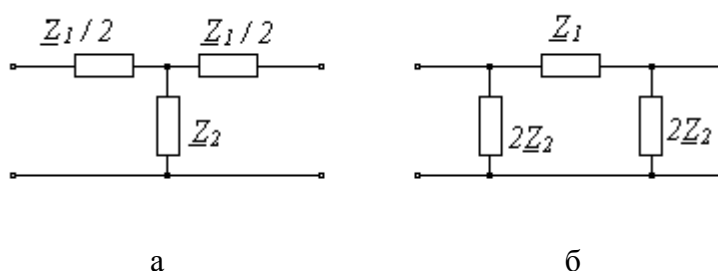


Рис.1

Нехай фільтр, навантажений на опір, дорівнює характеристичному ( $Z_n = Z_o$ ). У випадку симетричного чотириполюсника  $\underline{Y}_{gx} = \underline{Y}_{gux}$ ,  $Z_0 = \sqrt{\underline{A}_{12} \underline{A}_{21}}$ , де  $\underline{A}_{12}$  і  $\underline{A}_{21}$  – параметри чотириполюсника. У випадку погодженого навантаження відношення напруг на вході і виході:

$$\dot{U}_1 / \dot{U}_2 = U_1 e^{j\varphi_1} / U_2 e^{j\varphi_2} = m e^{j\beta} = e^\gamma, \quad (1)$$

де  $m = U_1 / U_2$  – коефіцієнт трансформації,  $\beta = \varphi_1 - \varphi_2$  – коефіцієнт фази,  $\gamma = \alpha + j\beta$  – постійна передачі чотириполюсника. Для схеми (рис.1)

$$Ch\gamma = 1 + \underline{Z}_1 / 2\underline{Z}_2 \quad (2)$$

З визначення смуги прозорості і рівняння (2) слідує, що опори  $\underline{Z}_1$  і  $\underline{Z}_2$  повинні задовольняти нерівності  $-1 \leq \underline{Z}_1 / 4\underline{Z}_2 \leq 0$ , або якщо  $\underline{Z}_1$  і  $\underline{Z}_2$  вважати реактивними

$$-1 \leq X_1 / 4X_2 \leq 0, \quad (3)$$

тобто  $X_1$  і  $X_2$  повинні бути різних знаків і  $|X_1| < |4X_2|$ .

Граничні частоти  $f_1$  і  $f_2$ , згідно (3), визначаються з рівнянь:

$$X_1(f_1) / 4X_2(f_1) = -1 \quad (4)$$

$$X_1(f_2) / 4X_2(f_2) = 0 \quad (5)$$

Граничні частоти можна визначати при експериментальному дослідженні фільтра. З досліду холостого ходу ( $Z_n = \infty$ ) знаходять залежність  $K_{xx} = F(f)$ , де  $K_{xx} = U_2 / U_1$  – коефіцієнт передачі фільтра при холостому ході. Ті частоти, для яких  $K_{xx} > 1$ , лежать у смузі прозорості, а частоти, для яких  $K_{xx} = 1$ , є граничними.

2. Частотні характеристики фільтра. Частотними характеристиками фільтра є залежності коефіцієнта згасання  $\alpha = \ln U_1 / U_2$  і фази  $\beta$  від частоти.

У смузі прозорості фільтра згасання  $\alpha = 0$ . А тому частотна характеристика зливається з віссю частот. У смузі непрозорості з (2)

$$\operatorname{Ch} \alpha = \left| 1 + \frac{Z_1}{2Z_2} \right|, \quad (6)$$

що являє собою рівняння амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) у смузі прозорості. Для смуги прозорості з (2) отримуємо рівняння фазо-частотної характеристики (ФЧХ).

$$\beta = \arccos \left| 1 + \frac{Z_1}{2Z_2} \right| \quad (7)$$

У смузі непрозорості, якщо  $\frac{Z_1}{4Z_2} > 0$ , то  $\beta = 0$ , якщо ж  $\frac{Z_1}{4Z_2} < -1$ , то  $\beta = \pi$ .

3. Фільтр нижніх частот (ФНЧ). Т-подібну схему ФНЧ подано на рис.2, а її частотні характеристики – на рис.3 а, б. Із збільшенням частоти зростає опір послідовних віток ( $X_L = \omega L$ ) і зменшується опір паралельної вітки ( $X_C = 1/\omega C$ ), що погіршує умови проходження сигналу через фільтр.

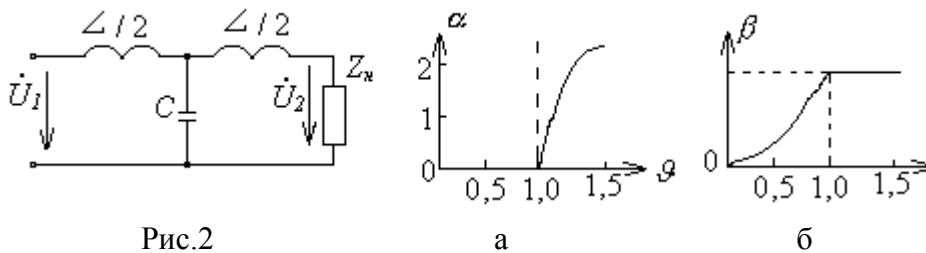


Рис.2

а

Рис.3

б

З рівнянь (4) і (5) стосовно до схеми (рис.2) граничні частоти дорівнюють

$$F_1 = 0; f_2 = 1/\pi \sqrt{LC}. \quad (8)$$

Для смуги непрозорості з рівняння (6) і схеми (рис.2)

$$\alpha = \operatorname{Arch} (1-2g^2), \quad (9)$$

де  $g = f/f_2$ . Нехай  $|1 - 2g^2| = X$ . Тоді

$$\alpha = \operatorname{Arch} X = \pm \ln \left| X + \sqrt{X^2 - 1} \right| \quad (X \geq 1). \quad (10)$$

Модуль коефіцієнта передачі

$$K = e^{-\alpha} = F(g) \quad (11)$$

ФЧХ згідно з (7)

$$\beta = \arccos (1-2g^2). \quad (12)$$

У смузі непрозорості  $\beta = \pi$ , оскільки  $X_1 / 4X_2 < -1$ .

Характеристичний опір ФНЧ

$$Z_{от} = \rho \sqrt{1 - g^2}, \quad \rho = \sqrt{L/C}. \quad (13)$$

Як слідує з (13),  $Z_{от}$  і за характером і величиною залежить від частоти. Отже, для повного узгодження для кожної частоти потрібно підібрати свій опір навантаження. Одним з кращих наближень до узгодженої роботи є навантаження фільтра на опір  $R_n = \rho$ . У реальних умовах  $R_n \neq \rho$ , а тому частотні характеристики фільтра відрізняються від тих, які мали б місце при умові повної узгодженості.

4. Фільтри верхніх частот (ФВЧ). П-подібна схема ФВЧ подана на рис.4, а його частотні характеристики на рис.5 а,б. Із зменшенням частоти збільшується опір послідовної вітки ( $X_c = 1/\omega c$ ) і зменшується опір паралельних віток ( $X_L = \omega L$ ); що погіршує умови проходження сигналу через фільтр.

Зрівнянь (4) і (5) граничні частоти

$$f'_1 = 1/4\pi\sqrt{Lc} ; f'_2 = \infty . \quad (14)$$

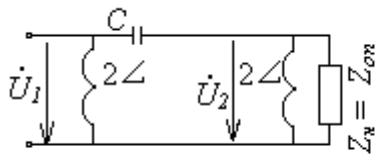


Рис.4

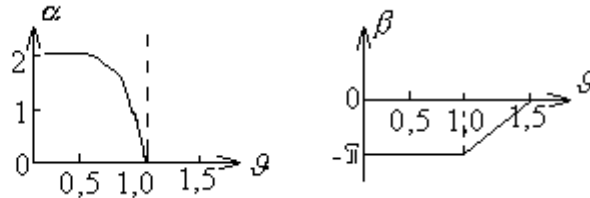


Рис.5

Характеристичний опір

$$Z_{оп} = \pm \rho / \sqrt{1 - 1/g^2} . \quad (15)$$

У смузі непрозорості рівняння АЧХ на підставі (6)

$$\alpha = Arch \left| 1 - 2/g^2 \right| \quad (16)$$

У смузі прозорості рівняння ФЧХ на підставі (7)

$$\beta = arccos \left| 1 - 2/g^2 \right| . \quad (17)$$

Достатнім наближенням до режиму узгодження є рівність  $R_n = \rho$ .

5. Смуговий фільтр (СФ). Т- подібна схема СФ подана на рис.6, а його частотні характеристики на рис.7 а,б. Звичайно  $1/2\pi\sqrt{L_1 C_1} = 1/2\pi\sqrt{L_2 C_2} = f_0$ .

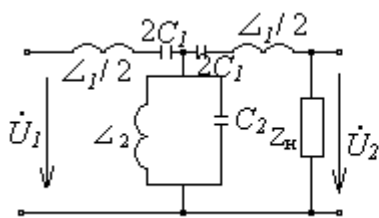


Рис.6

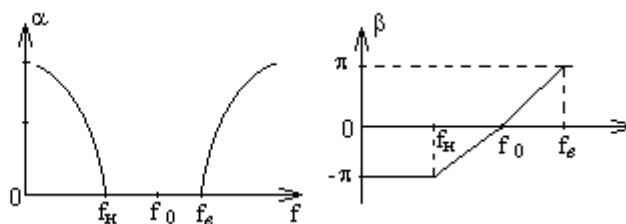


Рис.7

Розглянемо роботу СФ при холостому ході ( $Z_n = \infty$ ). На частоті  $f_0$  обидві послідовні вітки мають опір, який дорівнює нулю ( $\omega_0 L_1 - 1/\omega_0 C_1 = 0$ ), а паралельні вітки – нескінченно великий опір (рис.8). А тому  $K_{хх} = 1$  ( $\alpha = 0$ ).

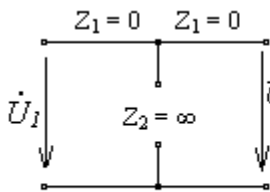


Рис.8

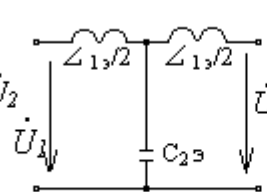


Рис.9

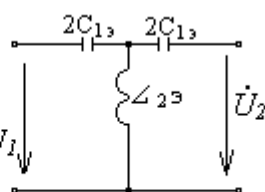


Рис.10

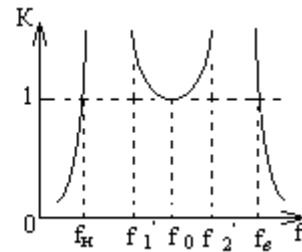


Рис.11

На частотах  $f > f_0$  послідовні контури ведуть себе як індуктивні опори, а паралельний контур – як ємнісний опір (рис.9). Еквівалентна схема подібна схемі ФНЧ. Це значить, що фільтр буде мати смугу прозорості для всіх частот від  $f_0$  до деякої граничної частоти  $f_e$  (рис.11). Сплеск частотної характеристики на частоті  $f'_2$  обумовлений послідовним резонансом контуру  $L_{13} / 2C_{23}$ .

Якщо  $f < f_0$  послідовні вітки ведуть себе як ємності, а паралельний контур – як індуктивність (рис.10) – маємо ФВЧ. В діапазоні частот від  $f_H$  до  $f_0$  коефіцієнт передачі  $K_{xx} > 1$ .

На частоті  $f'_1$ , що відповідає резонансу в послідовному контурі  $2C_{13}, L_{23}$  спостерігається другий сплеск  $K_{xx}$  (рис.11).

З розв'язання рівняння (5) для схеми (рис.6), знаходимо граничні частоти СФ:

$$f_H = f_0 \sqrt{n^2 + 1 - n}; \quad (18)$$

$$f_e = f_0 \sqrt{n^2 + 1 + n}; \quad (19)$$

$$\text{де } n^2 = L_2 / L_1 = C_1 / C_2.$$

У режимі узгодження СФ володіє частотними характеристиками, рівняння яких можна знайти з (6) і (7):

$$\alpha = \text{Arch} \left| 1 - C_2 / 2C_1 \left( f / f_0 - f_0 / f \right)^2 \right|; \quad (20)$$

$$\beta = \arccos \left| -C^2 / 2C_1 \left( f / f_0 - f_0 / f \right)^2 \right|; \quad (21)$$

Характеристичний опір СФ

$$Z_{om} = \sqrt{L_1 / C_1} \cdot \sqrt{1 - C_2 / 4C_1 \left( f / f_0 - f_0 / f \right)^2}. \quad (22)$$

В області частот, що примикає до частоти  $f_0$ ,  $Z_{om}$  мало змінюється з частотою і наближено дорівнює  $Z_{om} \approx \sqrt{4 / C_2}$ .

### Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії ФНЧ і його АЧХ.
2. Поясніть принцип дії ФВЧ і його АЧХ.
3. Поясніть принцип дії СФ і його АЧХ.
4. Як експериментально визначити граничні частоти фільтра?
5. Як впливає на АЧХ і ФЧХ фільтрів опір втрат індуктивних котушок?
6. Покажіть, що ФНЧ (рис.2) і ФВЧ (рис.4) є фільтрами типу К.
7. Які умови погодження фільтрів?
8. Як визначається постійна передачі фільтра?

### Домашнє завдання

1. Вивчити короткі теоретичні відомості про пасивні фільтри типу К.
2. Дайте відповіді на контрольні питання в письмовій формі.
3. Для Т-подібної схеми ФНЧ і П-подібної схеми ФВЧ розрахувати граничні частоти, якщо для обох фільтрів параметри елементів однакові:  $L = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ , а ємності С вибираються згідно з таблицею варіантів завдань.
4. Для Т-подібної схеми СФ розрахувати граничні частоти  $f_n$  і  $f_g$ , якщо  $L_1 = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ,  $C_1 = 10^{-9} \text{ ф}$ ,  $L_2 = 11 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ,  $C_2 = 1,45 \cdot 10^{-9} \text{ ф}$ .

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С, мкф	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,15	0,2

### Лабораторне завдання

1. Ознайомитись з макетом фільтрів і приладами, що використовуються в роботі: фазометром, генератором ГЗ-34, мілівольтметром ВЗ-38, магазином ємностей
2. Зібрати схему вимірювань для дослідження ФНЧ (рис.12). Перемикач роду фільтра поставити в положення «ФНЧ». За допомогою магазину конденсаторів встановити величину ємності вашого варіанту завдання. Опір навантаження відключити ( $R_n = \infty$ , режим холостого ходу). Увімкнути прилади для прогріву.

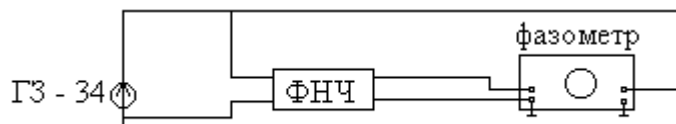


Рис.12

3. Зняти залежність  $K_{xx} = F(f)$ . Частоту змінювати у межах  $f_1 < f \leq 1,5 f_2$ .
4. Побудувати графік отриманої залежності і з нього визначити граничні частоти. Порівняти дані експерименту з розрахунком.
5. Навантажити фільтр на опір навантаження, що відповідає кращому наближенню до узгодженої роботи. Зняти залежності: а)  $K = F(f)$ , б)  $\beta = F(f)$ .
6. Побудувати графіки знятих залежностей. Зробити висновки з співставлення розрахункових і експериментальних даних.
7. Перемикач роду фільтра поставити в положення «ФВЧ». Для П-подібної схеми ФВЧ при тих же параметрах елементів, що і для ФНЧ, повторити пункти 3,4,5,6.
8. Перемикач роду фільтра поставити в положення «СФ». Повторити пункти 3,4,5,6.
9. У звіті привести: розрахунки, схеми вимірювань, графіки і висновки про отримані результати.

### Список літератури

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