

## Практична робота 4

### Проектування підсилювальних блоків вимірювального каналу комп'ютеризованих ІВС

**Мета роботи:** поглиблення теоретичних знань по роботі активних фільтрів, побудованих на базі операційних підсилювачів, опанування методами розробки функціональних схем різних видів активних фільтрів.

#### Короткі відомості з теорії

Фільтр – це схема, розрахована на пропускання сигналів у певній смузі частот і придушення (загородження) сигналів за межами цієї смуги. Тобто це чотириполіусники, послаблення в яких в деякій смузі частот мале (0,1...3ДБ), а іншій смузі частот велике (20...80 ДБ).

Сму́га пропускання це сму́га частот, де сигнал має мінімальне згасання  $k=0,1$ -3ДБ.

Сму́га затримання це сму́га частот, де сигнал має максимальне згасання  $k=20$ -80 ДБ.

Гранична частота між сму́гою пропускання і сму́гою затримання називається частотою зрізу  $\omega_{ср}$ .

Кола фільтрації можуть бути пасивними і активними. Пасивні фільтри містять тільки резистори, котушки індуктивності і конденсатори. Активні фільтри містять у собі поряд з резисторами, котушками індуктивності і конденсаторами транзистори або операційні підсилювачі.

Фільтри називають по смузі пропускання. Існує чотири типи фільтрів: фільтри нижніх і верхніх частот, смугові та режекторні (або - що загороджують) фільтри (рис. 4.1). Суцільна лінія графіків відповідає характеристикам ідеального фільтра, а пунктирна – реальному.

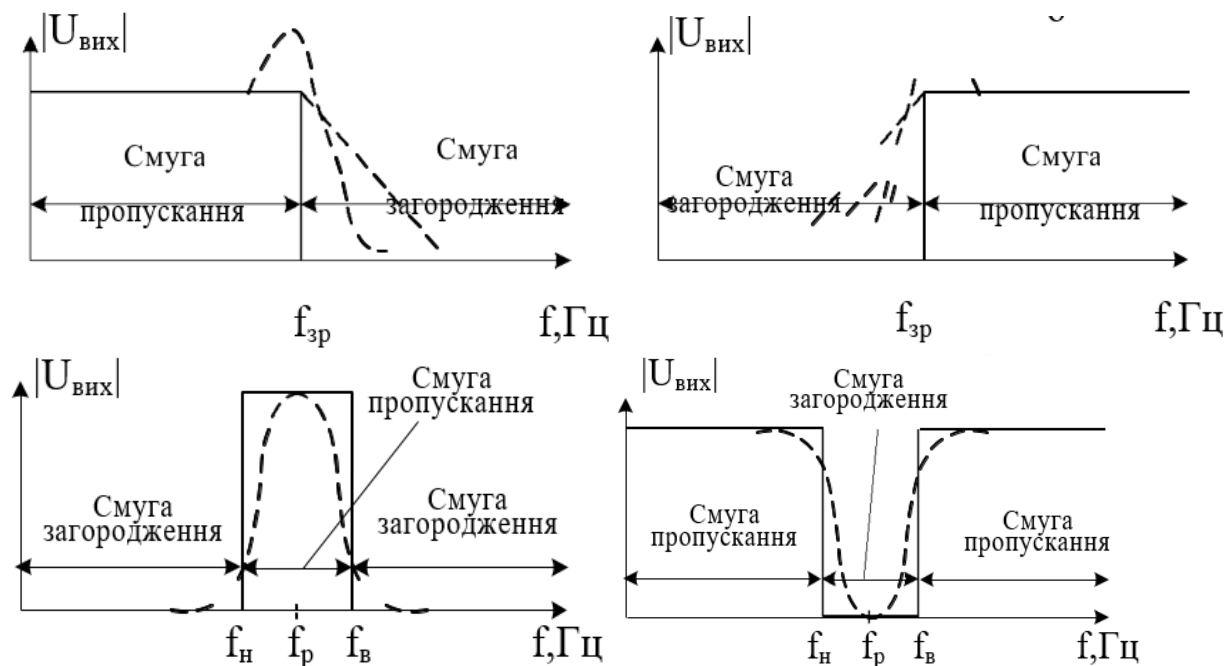


Рисунок 4.1– Частотні характеристики фільтрів: нижніх (а) і верхніх (б) частот, смугового (в) і режекторного (г)

*Фільтр нижніх частот:*

– напруга на виході фільтра

$$U_{\text{ВНХ}} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} U_{\text{ВХ}}; \quad (4.1)$$

– коефіцієнт підсилення по напрузі зі зворотним зв'язком

$$k_{\text{з.з.}} = \frac{U_{\text{ВНХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}; \quad (4.2)$$

частота зрізу визначається як частота напруги  $U_{\text{ВХ}}$ , на якій  $|k_{\text{з.з.}}|$  зменшується до 0,707

$$\omega_{\text{зр}} = \frac{1}{RC} = 2\pi f_{\text{зр}}, \quad (4.3)$$

звідки

$$C = \frac{1}{\omega_{\text{зр}} R} = \frac{1}{2\pi f_{\text{зр}} R}; \quad (4.4)$$

- Значення  $k_{\text{з.з.}}$  на частоті зрізу  $\omega_{\text{р}}$  знаходять, поклавши в рівнянні (4.1)

$\omega RC = 1$ :

$$k_{\text{з.з.}} = \frac{1}{j+1} = \frac{1}{\sqrt{2}e^{j45^\circ}} \approx 0,707e^{-j45^\circ}$$

Отже, амплітуда  $k_{\text{з.з.}}$  на частоті  $\omega_{\text{зр}}$

$$|k_{\text{з.з.}}| = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 = -3\text{дБ}, \quad (4.5)$$

а зсув по фазі (виходу щодо входу) становить  $-45^\circ$ .

Розрахунок фільтра НЧ здійснюється в три етапи:

- обирають частоту зрізу  $\omega_{\text{зр}}$ ;
- обирають вхідний опір  $R$ , звичайно між 10 і 100 кОм;
- обчислюють значення  $C$  із рівняння (4.4).

*Фільтр верхніх частот:*

– напруга на виході фільтра

$$U_{\text{ВНХ}} = \frac{1/j\omega C}{R - 1/j\omega C} U_{\text{ВХ}}; \quad (4.6)$$

– частота зрізу визначається як частота  $U_{\text{ВХ}}$ , на якій  $|k_{\text{з.з.}}|$  зменшується до 0,707

$$\omega_{\text{зр}} = \frac{1}{RC} = 2\pi f_{\text{зр}}, \quad (4.7)$$

$$R = \frac{1}{\omega_{\text{зр}} C} = \frac{1}{2\pi f_{\text{зр}} C}. \quad (4.8)$$

Розрахунок фільтра ВЧ здійснюється в три етапи:

- обирають частоту зрізу  $\omega_{\text{зр}}$ ;

- вибирають зручне значення  $C$ ;
- обчислюють вхідний опір  $R$  з рівняння (4.4);
- вибір  $R_{з.з.} = R$ .

### Смугові фільтри

Фільтр такого типу дає на виході максимальну напругу на одній частоті, на-зиваній резонансною  $\omega_p$ . Існує одна частота вище ( $\omega_B$ ) і одна – нижче ( $\omega_H$ ) частоти  $\omega_p$ , на яких коефіцієнт підсилення по напрузі дорівнює  $0,707 k_p$ . Смуга частот між  $\omega_B$  і  $\omega_H$  є смугою пропускання

$$B = \omega_B - \omega_H. \quad (4.9)$$

При  $B > 0,1\omega_p$  фільтр вважається вузькосмуговим, а при  $B < 0,1\omega_p$  – широкосмуговим.

Добротність фільтра визначається як

$$Q = \frac{\omega_p}{B}. \quad (4.10)$$

Розрахунок смугового фільтра:

- обираємо  $C1 = C2 = C$ ;
- визначаємо величину резисторів зі співвідношень

$$R2 = \frac{2}{BC}; \quad R1 = \frac{R2}{2K_p}; \quad R3 = \frac{R2}{4Q^2 - 2K_p}. \quad (4.11)$$

### Режекторні фільтри

Розрахунок режекторного фільтра:

- обираємо  $C1 = C2 = C$  (деяке прийнятне значення);
- визначаємо  $R2$  з формули

$$R2 = 2/BC; \quad (4.12)$$

- обчислюємо  $R1$  за формулою

$$R1 = R2/4Q^2; \quad (4.13)$$

- обираємо прийнятне значення  $R_a$ , наприклад 1 кОм;
- обчислюємо  $R_b$  за формулою

$$R_b = 2Q^2 R_a \quad (4.14)$$

## Приклади виконання роботи

### 1. Дослідження фільтра нижніх частот

Вихідні дані:

Значення напруги  $U_{ВХ}=1$  В,  $f=10$  кГц;  $R1 = R_{з.з.} = 10$  кОм;  $C1 = 0,001$  мкФ.

Розрахувати частоту зрізу фільтра за формулою (8.3).

Скласти схему представлену на рис. 4.2. Подати на вхід напругу 1 В

частотою 10 кГц. Одержати АЧХ фільтра, за якою визначити частоту зрізу.

Порівняйте отримане значення з теоретичним розрахунком за формулою 4.3.

Поясніть від яких параметрів схеми залежить частота зрізу фільтра.

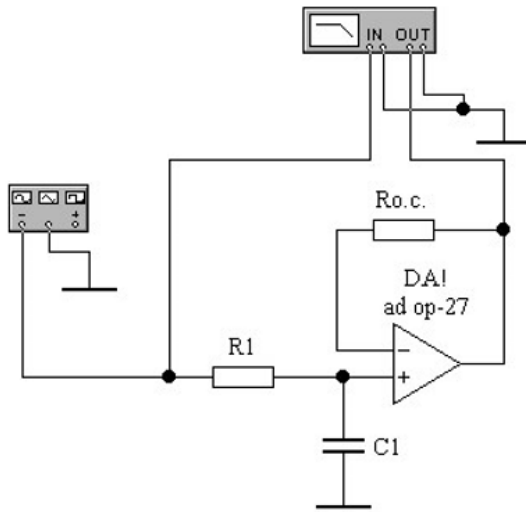


Рисунок 4.2 – Фільтр нижніх частот

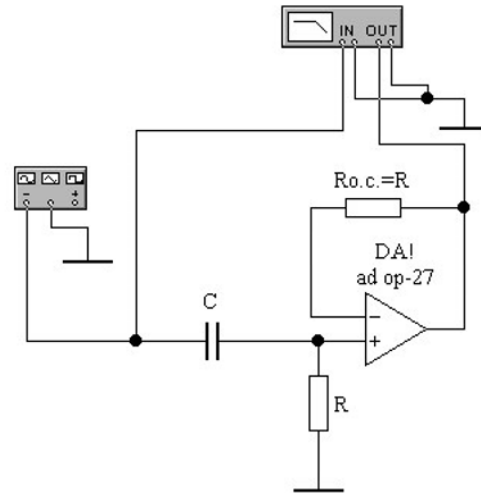


Рисунок 4.3 – Фільтр верхніх частот

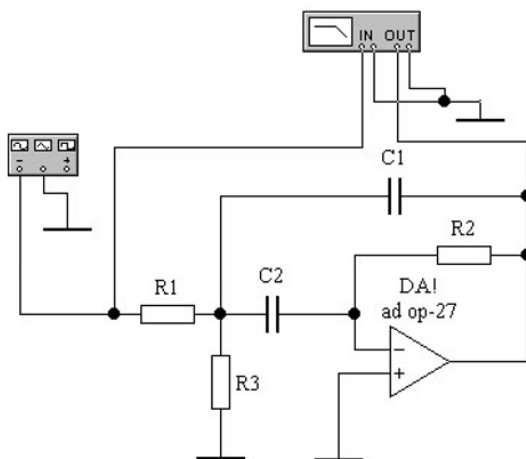


Рисунок 4.4 – Вузкосмуговий фільтр

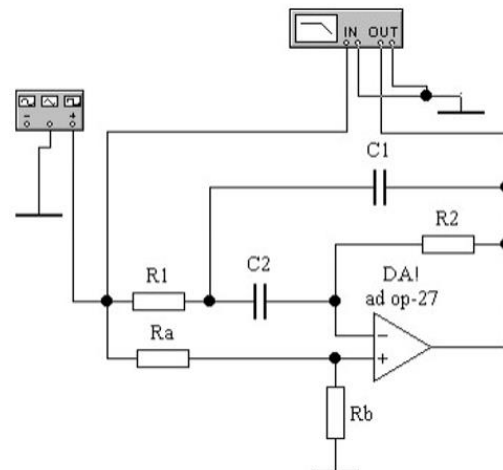


Рисунок 4.5 – Режкторний фільтр

## 2. Дослідження фільтра верхніх частот

*Вихідні дані:*

Значення напруги  $U_{ВХ}=1\text{ В}$ ;  $f=10\text{ кГц}$ ;  $R = R_{3,3} = 22\text{ кОм}$ ;  $C = 0,01\text{ мкФ}$ .

Розрахувати частоту зрізу фільтра за формулою (4.3).

Зібрати схему представлену на рис. 4.3. Подати на вхід напругу 1В частотою 10 кГц. Одержати АЧХ фільтра, по якій визначити частоту зрізу.

Порівняйте отримане значення з теоретичним розрахунком за формулою 8.3.

Поясніть які параметри схеми впливають на величину смуги пропускання.

## 3. Дослідження смугового фільтра

*Вихідні дані:*

Значення напруги  $U_{ВХ}=1$  В;  $f=10$  кГц;  $\omega_p = 10\,000$  рад/с;  $k_p = 40$ ;  $Q = 20$ ;  
 $C_1 = C_2 = C = 0,01$  мкФ.

Розрахувати величину резисторів по формулах (4.11).

Скласти схему представлену на рис. 4.4.

Подати на вхід напругу 1В частотою 10 кГц. Одержати АЧХ фільтра, по якій визначити резонансну частоту і ширину смуги пропущення фільтра.

Пояснить від яких параметрів схеми залежить смуга пропущення і добротність фільтра.

#### *4. Дослідження режекторного фільтра*

*Вихідні дані:*

Значення напруги  $U_{ВХ}=1$  В;  $f=1$  кГц;  $f_p = 400$  кГц;  $Q = 5$ ;  $C_1 = C_2 = C = 0,01$  мкФ;  $R_a = 1$  кОм.

Розрахувати величину резисторів за формулами (4.12 – 4.14).

Скласти схему представлену на рис. 4.5.

Подати на вхід напругу 1В частотою 10 кГц.

Одержати АЧХ фільтра, по якій визначити резонансну частоту і ширину смуги пропущення фільтра на рівні – 3 дБ.

Пояснить від яких параметрів схеми залежить смуга пропущення і добротність фільтра.

### **Виконання роботи**

1. Виконати попередній аналіз активного фільтра за даними індивідуального варіанту (табл. 4.1).
2. Розрахувати схему електричну функціональну фільтра та визначити його характеристики згідно формул у теоретичних відомостях.
3. На основі початкових даних варіанту шляхом моделювання у програмі схемотехнічного моделювання перевірити працездатність фільтра та отримати його характеристики.
4. Зробити висновки.

Параметри активного фільтра

Варіант	Тип фільтра	Порядок фільтра	Частота зрізу, КГц
1	ФНЧ	2	100
2	ФВЧ	2	150
3	ПФ	1	20, 50
4	ФНЧ	2	80
5	ФВЧ	2	170
6	ПФ	1	50, 70
7	ФНЧ	2	60
8	ФВЧ	2	190
9	ПФ	1	60, 80
10	ФНЧ	2	60
11	ФВЧ	2	200
12	ПФ	1	80, 100
13	ФНЧ	2	40
14	ФВЧ	2	220
15	ПФ	1	100, 120
16	ФНЧ	2	120
17	ФВЧ	2	240
18	ПФ	1	120, 140
19	ФНЧ	2	140
20	ФВЧ	2	250

### Контрольні запитання

1. Що називається активним фільтром?
2. Які основні параметри активного фільтра?
3. По яких ознаках класифікуються фільтри?
4. Якого типу фільтр дає на виході напругу, що має незмінне значення від постійного струму до частоти зрізу?
5. Як, використовуючи ФНЧ і ФВЧ, одержати смуговий фільтр?
6. Як визначити смугу пропускання фільтра?
7. Що таке центральна частота фільтра, для фільтрів яких типів застосовується це поняття?
8. Як зі смугового фільтра одержати режекторний?