

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Факультет Електроніки
Кафедра мікроелектроніки

РОЗРАХУНОКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА
з дисципліни: «Схемотехніка-1. Аналогова схемотехніка»

«Синтез активних RC-фільтрів»
варіант №5

Виконав:

Студент 3-го курсу

(підпис)

Мнацаканов А.С.

Перевірила:

(підпис)

Голубєва І.П.

1. Завдання

1. Визначити параметри специфікації для синтезу активного RC-фільтра. Обрати тип фільтру у відповідності до варіанту табл. 1, тип апроксимації АЧХ обрати у відповідності до табл. 2, числові параметри відповідно до табл. 3.
2. Визначити необхідний порядок фільтру та записати аналітичний вираз для функції передачі фільтру у загальному вигляді.
3. Записати аналітичний вираз функції передачі фільтру у вигляді послідовно з'єднаних ланок другого порядку в загальному вигляді.
4. Розрахувати коефіцієнти функції передачі фільтру.
5. Обрати структури фільтрів для реалізації ланок другого порядку.
6. Розробити принципову електричну схему активного RC-фільтру для кожної ланки другого порядку (провести аналітичний розрахунок секцій другого порядку, провести розрахунки номіналів схеми, обрати елементну базу).
7. Оформити повну схему електричну принципову розробленого фільтра у відповідності до вимог ЕСКД.
8. Провести аналіз розробленої схеми. Побудувати АЧХ та ФЧХ розробленого фільтра. Впевнитися у відповідності параметрів розробленого фільтра вимогам специфікації.

Тип: N1=1-ФВЧ (Фільтр верхніх частот)

Апроксимація: Батерворта

Коефіцієнт передачі у смузі пропускання: $\text{Gain}=3 \text{ dB}$

f_p : 4 kHz

f_s : 1.33 kHz

Рівень пульсації у смузі пропускання: $R_p=6 \text{ dB}$

Мінімальне подавлення у смузі затримки: $R_s=22 \text{ dB}$

Скористаймося програмою MATLAB для знаходження порядку фільтра та коефіцієнтів функції передачі:

```
n=1;  
Rp=6;  
Rs=22;  
fp=4e+3;  
fs=1.33e+3;  
wp=2*pi*fp;  
ws=2*pi*fs;  
[n,wn]=buttord(wp,ws,Rp,Rs,'s');  
disp(n);  
[b,a]=butter(n,wp,'high','s');  
disp(b(1));  
disp(b(2));  
disp(b(3));  
disp(a(1));  
disp(a(2));  
disp(a(3));
```

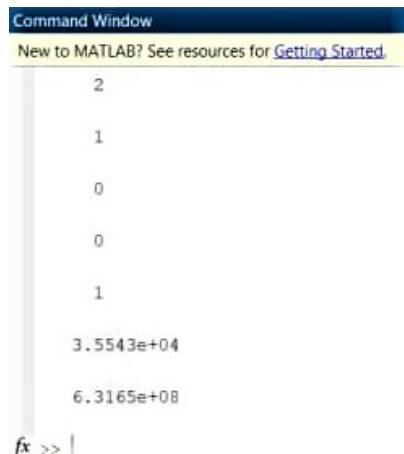


Рис. 1: Результат роботи програми

З допомогою MATLAB ми визначили наступні параметри:

Порядок фільтру $n = 2$

$$b(1) = 1, b(2) = 0, b(3) = 0$$

$$a(1) = 1, a(2) = 3,5543 \cdot 10^4, a(3) = 6,3165 \cdot 10^8$$

Функція передачі в загальному вигляді виглядає наступним чином:

$$K_U(p) = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{b(1) \cdot p^n + b(2) \cdot p^{n-1} + \dots + b(n+1)}{a(1) \cdot p^n + a(2) \cdot p^{n-1} + \dots + a(n+1)}. \quad (1)$$

Перепишемо її, врахувавши максимальний порядок $n = 2$:

$$K_U(p) = \frac{b(1)p^2 + b(2)p + b(3)}{a(1)p^2 + a(2)p + a(3)}, \quad (2)$$

Запишемо вираз функції передачі з урахуванням знайдених коефіцієнтів та коефіцієнта підсилення в смузі пропускання ($Gain = 3 \text{ дБ} = 1,413$ рази):

$$K_U(p) = 1,413 \times \frac{p^2}{p^2 + 3,5543 \cdot 10^4 \cdot p + 6,3165 \cdot 10^8} \quad (3)$$

Підберемо таку структуру фільтра аби вона задовольняла нашому виразу для $K_U(p)$. Для цього зручно буде обрати каскадне з'єднання **схеми Рауха** інвертуючого ФВЧ-2 порядку та інвертуючого масштабуючого підсилювача, аби забезпечити необхідне підсилення.

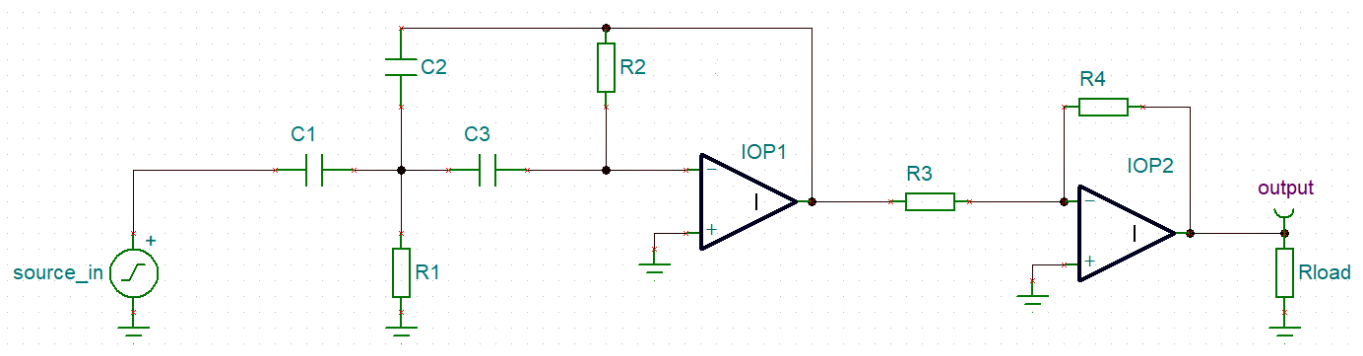


Рис. 2: Схема рауха інвертуючого ФВЧ-2 та масштабуючого підсилювача

Запишемо вирази $K_U(p)$ послідовно з'єднаних ланок:

$$K_{U\Sigma}(p) = K_{U1}(p)K_{U2}(p) = -\frac{R_4}{R_3} \times -\frac{C_1C_3 \cdot p^2}{C_2C_3 \cdot p^2 + G_2(C_1 + C_2 + C_3) \cdot p + G_2G_1} \quad (4)$$

Модифікуємо формулу (4) наступним чином:

$$K_U(p) = \frac{R_4}{R_3} \times \frac{C_1C_3 \cdot p^2}{C_2C_3 \left[p^2 + \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2C_3} \cdot p + \frac{G_2G_1}{C_2C_3} \right]}$$

Спростивши, отримали два остаточні вирази для $K_U(p)$:

$$\boxed{\begin{aligned} K_U(p) &= \left(\frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right) \times \frac{p^2}{p^2 + \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2C_3} \cdot p + \frac{G_2G_1}{C_2C_3}} \\ K_U(p) &= 1,413 \times \frac{p^2}{p^2 + 3,5543 \cdot 10^4 \cdot p + 6,3165 \cdot 10^8} \end{aligned}} \quad (5)$$

Прирівняємо між собою коефіцієнти, записавши наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{C_1}{C_2} = 1,413 \\ \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2C_3} = 3,5543 \cdot 10^4 \\ \frac{G_2G_1}{C_2C_3} = 6,3165 \cdot 10^8 \end{cases}$$

- нехай $C_1 = C_2 = C_3 = C = 1$ нФ.
- з другого рівняння знаходимо G_2 як:

$$G_2 = \frac{3,5543 \cdot 10^4 \times C^2}{3C} = \frac{3,5543 \cdot 10^4 \times (10^{-9})^2}{3 \cdot 10^{-9}} = 1,185 \cdot 10^{-5} \text{ СМ.}$$

- з третього рівняння знаходимо G_1 як:

$$G_1 = \frac{6,3165 \cdot 10^8 \times C^2}{G_2} = \frac{6,3165 \cdot 10^8 \times (10^{-9})^2}{1,185 \cdot 10^{-5}} = 5,33 \cdot 10^{-5} \text{ СМ.}$$

- з першого рівняння при $C_1 = C_2 = C_3 = C = 1$ нФ маємо $\frac{R_4}{R_3} = 1,413$, тому нехай $R_4 = 1413$ Ом, $R_3 = 1000$ Ом.

Отже наші номінали компонентів наступні:

- $R_1 = 18,76 \text{ кОм.}$
- $R_2 = 84,39 \text{ кОм.}$
- $R_3 = 1 \text{ кОм.}$
- $R_4 = 1,413 \text{ кОм.}$
- $C_1 = C_2 = C_3 = 1 \text{ нФ.}$

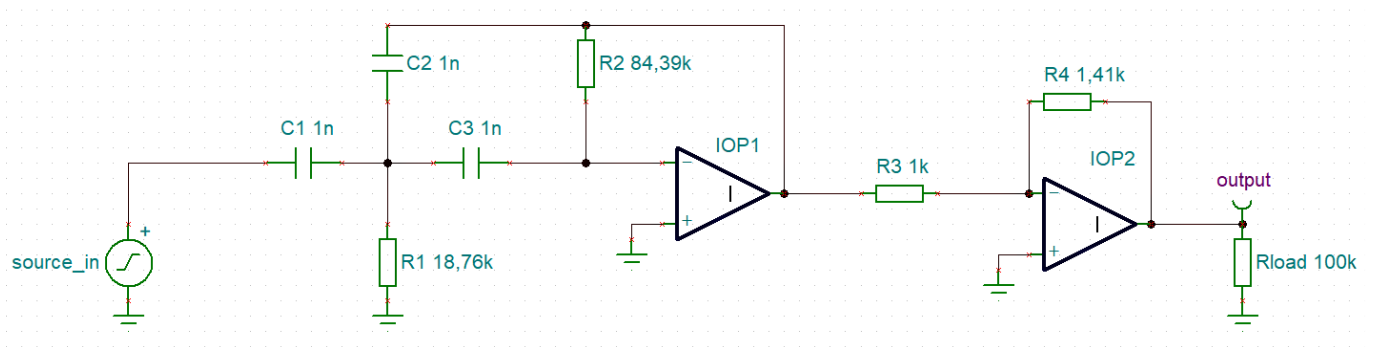


Рис. 3: Схема рауха інвертуючого ФВЧ-2 та масштабуючого підсилювача з розрахованими номіналами

Побудуймо АЧХ та ФЧХ нашого фільтру:

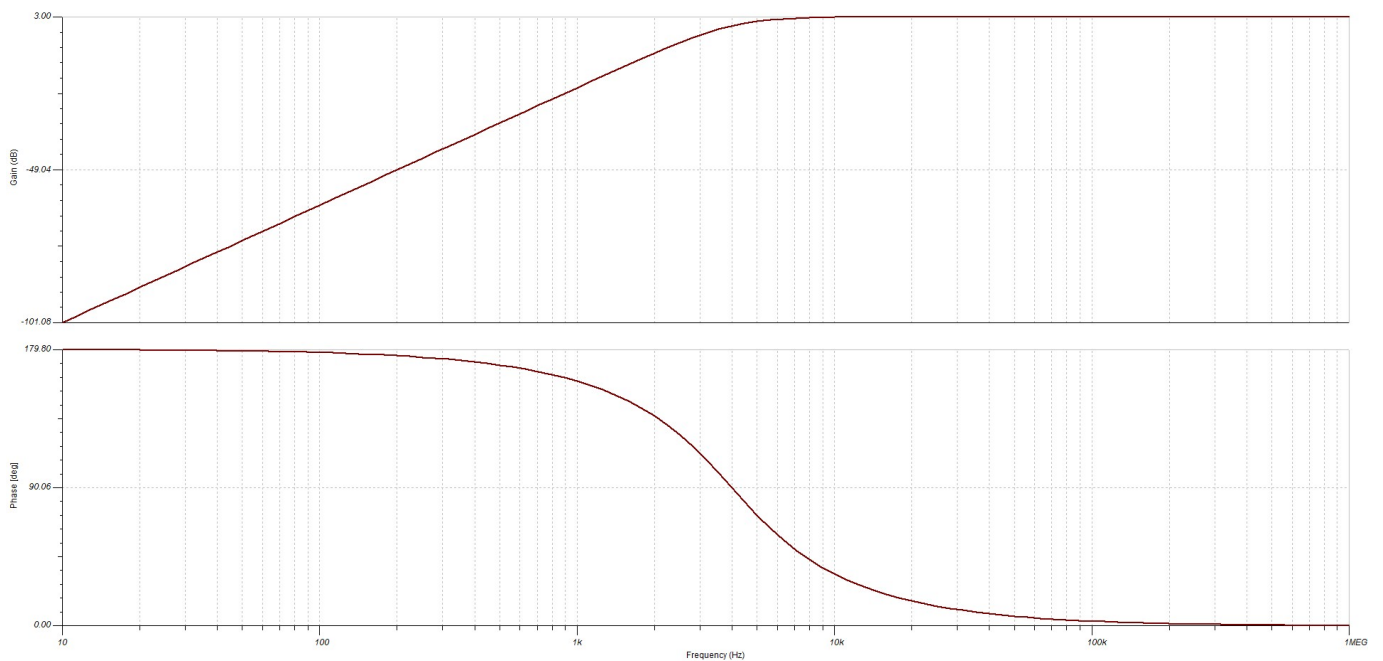


Рис. 4: АЧХ (зверху) та ФЧХ (знизу) фільтра

Розглянемо більш детально амплітудну характеристику:

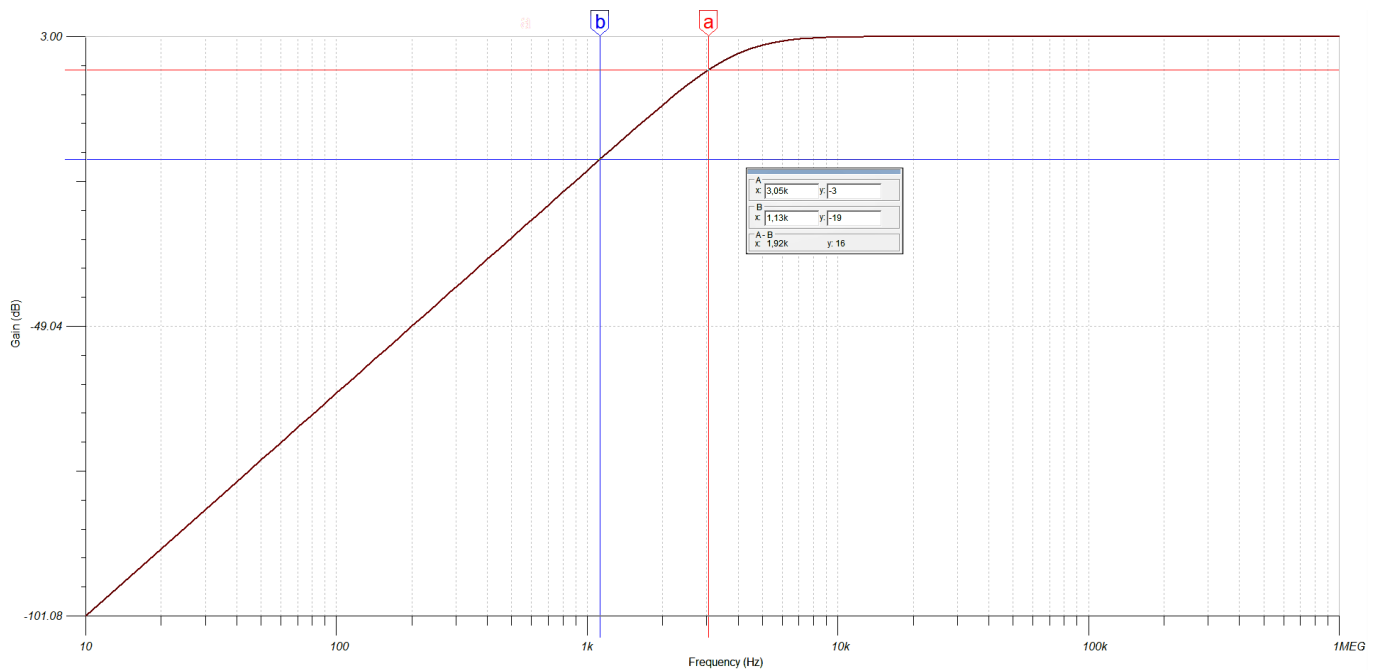


Рис. 5: АЧХ фільтра

В специфікації було сказано, що коефіцієнт передачі в смузі пропускання має становити 3 дБ, що ми і можемо спостерігати на графіку- підсилення в 3 дБ наявне. Розглянемо вертикальний червоний маркер *a*, що відтинає на осі *Gain(dB)* рівень -3 дБ. Як ми пам'ятаємо з умов специфікації, рівень пульсації в смузі пропускання становить 6 дБ, тобто значення в -3 дБ (3-6) має спостерігатись на частоті $f_p = 4$ кГц. На графіку ж значення $f_p = 3,05$, тобто відносна похибка δ склала 31,15%. Розглянувши вертикальний червоний маркер *b*, що відтинає рівень -19 дБ, ми бачимо що фактична частота f_s складає 1,13 кГц, що доволі непогано відповідає умовам специфікації ($f_s = 1,33$ кГц), відносна похибка тут складає всього 17,7%.

Розглянувши ФЧХ нашого фільтра, ми бачимо, що вона є зеркально протилежною до теоретичних викладок, але це можна пояснити наявністю в ланці додаткового інвертуючого масштабуючого підсилювача.