

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

ЗВІТ
Про виконання РГР
з дисципліни: «Схемотехніка-1»
«Синтез активних РС-фільтрів»

Виконавець:

Студент 3-го курсу

_____ А. С. Мнацаканов
(підпис)

Перевірила:

_____ Г. С. Порева
(підпис)

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.

1

Тип активного RC-фільтра: $N_1 = \text{mod}(4 + 5, 4) = 1$;

Тип апроксимації АЧХ: $N_2 = \text{mod}(\text{mod}(5 \cdot 4 + 3 \cdot 5, 7), 3) = 0; \Rightarrow$ Батерворта;

Коефіцієнт передачі у смузі пропускання: $G_{ain}=3$ дБ;

$f_p = 4$ кГц;

$f_s = 1.33$ кГц;

Рівень пульсації у смузі пропускання: $R_p=6$ дБ;

Мінімальне подавлення у смузі затримки: $R_s=22$ дБ;

2

Код на matlab

```
n=1;
Rp=6; %dB
Rs=22; %dB
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));
```

Функція передачі в загальному вигляді виглядає наступним чином:

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

3

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

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

Модифікуємо формулу (2) наступним чином:

$$K_U(p) = \frac{R_4}{R_3} \times \frac{C_1C_3 \cdot p^2}{C_2C_3 \left[p^2 + \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2C_3} \cdot p + \frac{G_2G_1}{C_2C_3} \right]} \quad (3)$$

4



Рис. 1: Результат роботи програми

Таким чином знаходимо порядку фільтра(2) та коефіцієнти функції передачі(1,0,0,1,3, $5 \cdot 10^4$, $6,3 \cdot 10^8$).

$$K_u(p) = G_{ain} \cdot \frac{p^2}{p^2 + 3,5 \cdot 10^4 \cdot p + 6,3 \cdot 10^8},$$

де $G_{ain} = 3 \text{ дБ} = 1,413$, тоді

$$K_u(p) = 1,4 \cdot \frac{p^2}{p^2 + 3,5 \cdot 10^4 \cdot p + 6,3 \cdot 10^8} \quad (4)$$

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

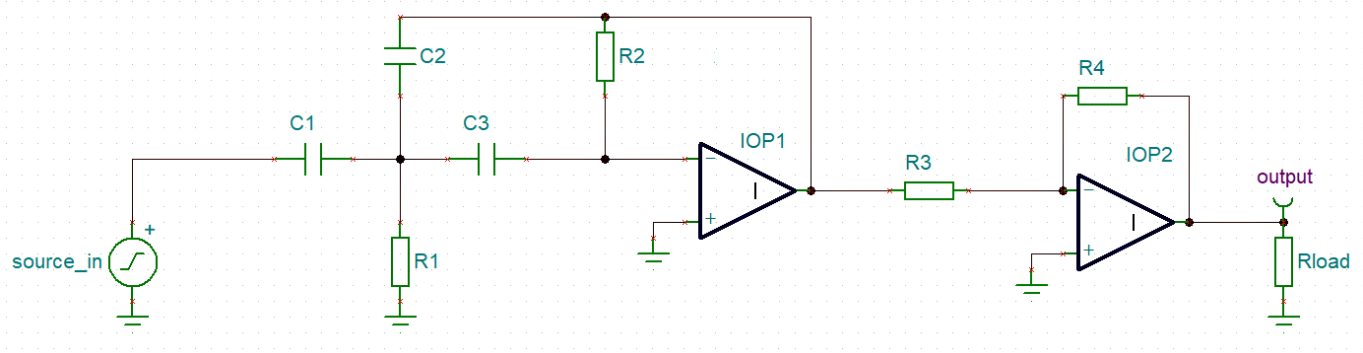


Рис. 2: Схема рауха інвертуючого ФВЧ-2 та масштабуючого підсилювача

Спростивши вираз (3) та об'єднавши його з (4), маємо:

$$K_U(p) = \left(\frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right) \times \frac{p^2}{p^2 + \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2 C_3} \cdot p + \frac{G_2 G_1}{C_2 C_3}} \quad (5)$$

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

Прирівняємо між собою коефіцієнти, записавши наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{C_1}{C_2} = 1,413 \\ \frac{G_2(C_1 + C_2 + C_3)}{C_2 C_3} = 3,5543 \cdot 10^4 \\ \frac{G_2 G_1}{C_2 C_3} = 6,3165 \cdot 10^8 \end{cases}$$

- 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:

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

7

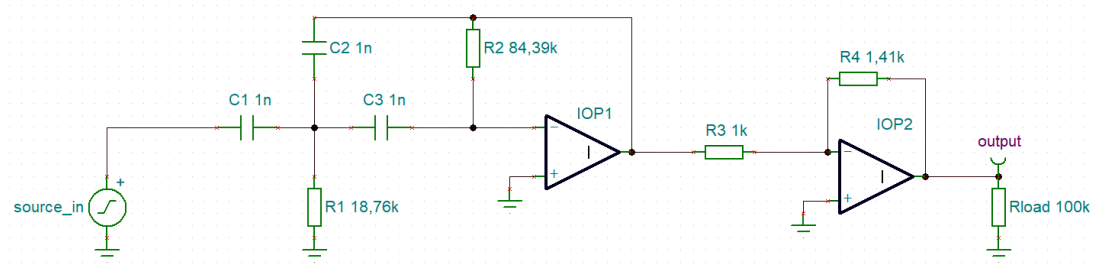


Рис. 3: Схема рауха інвертуючого ФВЧ-2 та масштабуючого підсилювача з розрахованими номіналами

Побудуймо АЧХ та ФЧХ нашого фільтру:

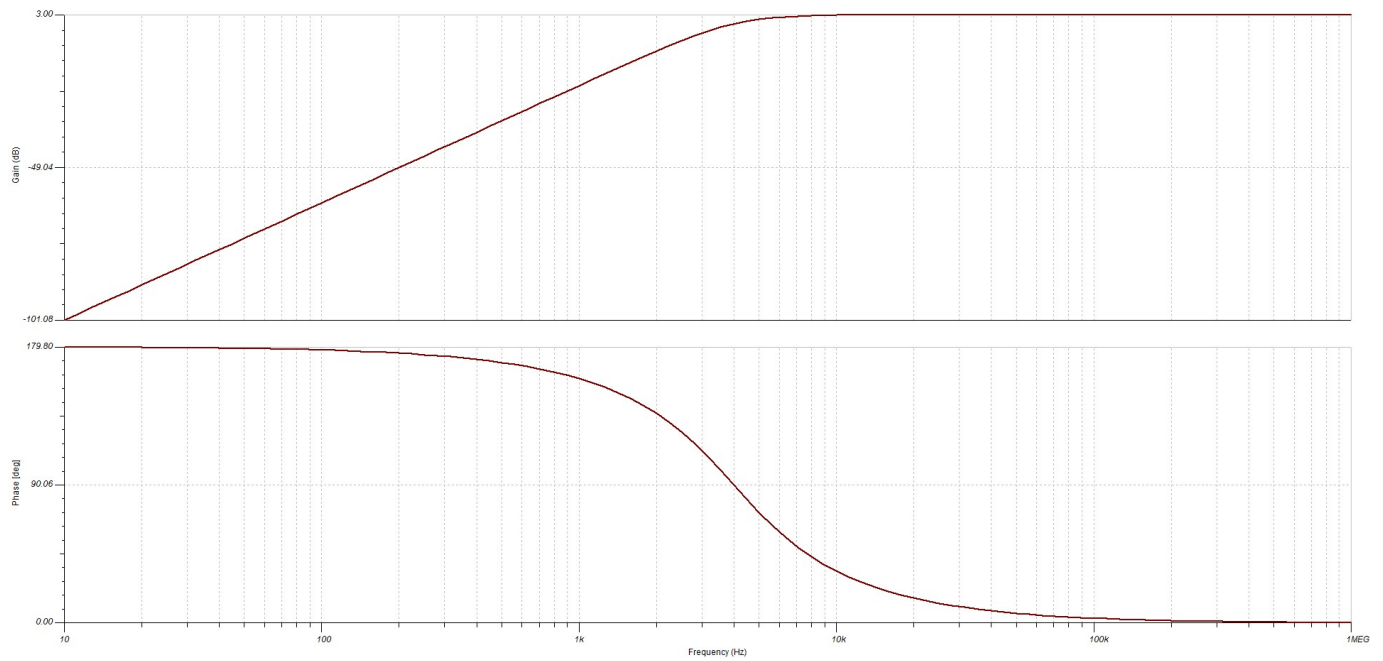


Рис. 4: АЧХ (зверху) та ФЧХ (знизу) фільтра

Розглянемо більш детально амплітудну характеристику:

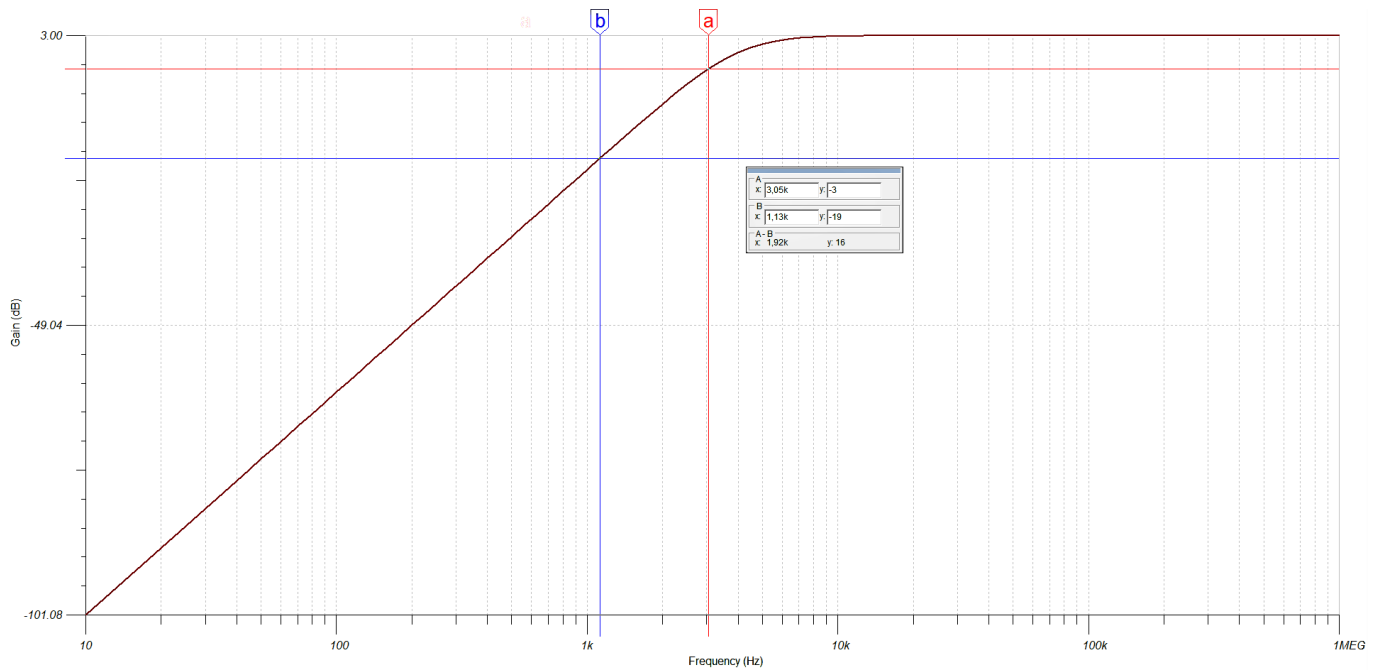


Рис. 5: АЧХ фільтра

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.