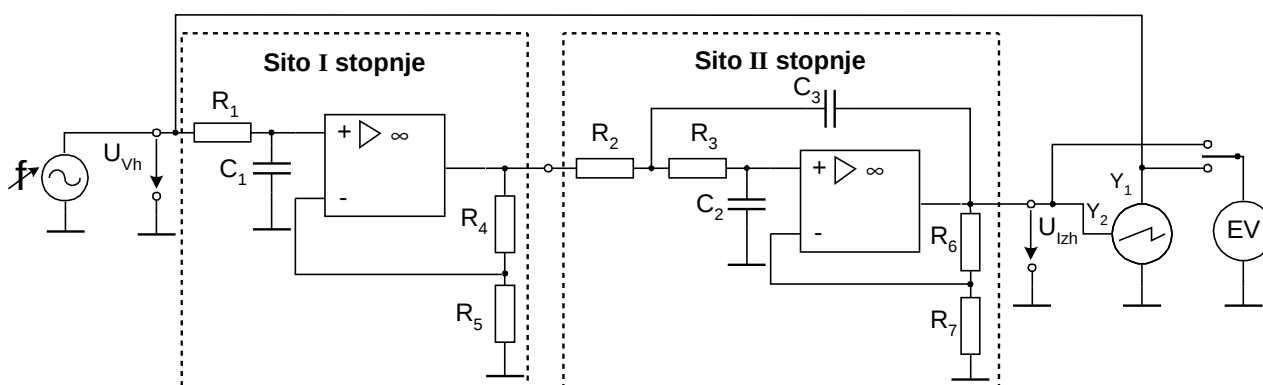


Analiza aktivnih analognih vezij

14. Vaja: Sinteza aktivnega nizko prepustnega sita

1. Projektirajte in sestavite aktivno nizko prepustno Butterworth-ovo sito tretje stopnje (glej sliko 1). Sito naj ima v prepustnem pasu ojačenje $A_0 = 10$ in mejno frekvenco $f_m = 1000$ [Hz].
2. Izmerite amplitudno in fazno frekvenčno karakteristiko posameznih stopenj in celotnega vezja. Izmerite mejni frekvenci na izhodu prve in druge stopnje. Komentirajte kako ste ju izmerili.
3. Izmerite odziv nizko prepustnega Butterworth-ovega sita tretje stopnje na stopnično spremembo vhodne napetosti iz 0 na 1[V].
4. Komentirajte kako vgrajeni pol operacijskega ojačevalnika vpliva na potek ojačenja in faze posameznih stopenj (komentirajte razliko med pričakovanim in izmerjenim amplitudnim in faznim spektrom pri višjih frekvencah). Pri kateri frekvenci je vgrajen dominantni pol in kolikšno je ojačenje odprtih sponk OPA μA 741.



Slika 1: Nizko prepustno sito tretje stopnje

Primer sinteze nizko prepustnega sita tretje stopnje

OPOMBA: Primer sinteze je podan za drugačne vrednosti R, C elementov kot jih potrebujete. Zato za kondenzatorje $C_1 = C_2 = C_3$ izberite eno vrednost med 10 in 100 [nF], vrednosti uporov R pa izračunajte.

Sinteza nizko prepustnega sita tretje stopnje:

Zahteve: $U_{bat} = \pm 12$ [V], OPA μA 741.

$A=10$, $f_m=100$ [Hz], Butterworthovo sito tretje stopnje ($n=3$).

Filter projektiramo po metodi SALLEN KEY EQUAL COMPONENT FILTER, za katero je značilno, da so vsi upori in vsi kondenzatorji enake vrednosti

Prenosna funkcija za sito tretje stopnje je:

$$H(p) = \frac{1}{(1 + a_1 p)(1 + a_2 p + b_2 p^2)}$$

Iz tabele 1 poiščemo potrebne koeficiente prenosne funkcije za Butterworthovo sito tretje stopnje.

Tabela1: Koeficienti za nizko prepustno sito tretje stopnje

Stopnja n	Struktura i	Koeficient a_i	Koeficient b_i
1	1	1	-
2	1	1,41	1
3	1	1	-
	2	1	1

Iz tabele sledi: $a_1=1$, $a_2=1$, $b_2=1$.

I. Stopnja:

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow R_1 \cdot C_1 = \frac{1}{\omega_m}$$

Izberemo npr. $C_1=100$ [nF] ($C=C_1=C_3=C_3$).

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow R_1 = \frac{1}{\omega_m C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100[\text{Hz}] \cdot 100[\text{nF}]} = 15,91[\text{k}\Omega].$$

Izberemo najbližjo vrednost iz uporovne lestvice E12: $R=15$ [kΩ] ($R=R_1=R_2=R_3$).

Ojačanje prve stopnje izračunamo kasneje:

$$A_{01} = 1 + \frac{R_4}{R_5}$$

II. Stopnja:

Ojačanje druge stopnje je določeno z izrazom:

$$A_{02} = 1 + \frac{R_6}{R_7} \text{ oziroma je določen s prenosno funkcijo:}$$

$$A_{02} = 3 - \frac{a_2}{\sqrt{b_2}} = 3 - 1 = 2 \Rightarrow A_{02} = 2 = 1 + \frac{R_6}{R_7} \Rightarrow \frac{R_6}{R_7} = 1 \quad R_6 = R_7$$

Zaradi minimiziranja OFF SET tokov operacijskega ojačevalnika je potrebno da so $R_{vh+} = R_{vh-}$.

$R_{vh+} = R_2 + R_3 = 30$ [kΩ] sledi da je

$$R_{vh-} = 30[\text{k}\Omega] = \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7}, \quad R_6 = R_7 \Rightarrow R_6 = R_7 = 2 \cdot 30[\text{k}\Omega] = 60[\text{k}\Omega]$$

Izberemo najbližjo vrednost iz uporovne lestvice E12: $R_6=R_7=68$ [kΩ] (v primeru da ne želimo minimizirati OFF SET tokov je možna tudi izbira druge vrednosti upornosti).

Iz zahteve da naj bo celotno ojačenje $A_0 = A_{01} \cdot A_{02} = 10 \Rightarrow A_{01} = 5$.

$$A_{01} = 1 + \frac{R_4}{R_5} = 5 \Rightarrow \frac{R_4}{R_5} = 4 \quad R_4 = 4R_5.$$

Zaradi minimiziranja OFF SET tokov prvega operacijskega ojačevalnika je potrebno da so $R_{vh+} = R_{vh-}$.

$$R_{vh+} = R_1 = 15[\text{k}\Omega] \Rightarrow$$

$$R_{vh-} = 15[\text{k}\Omega] = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}, \quad R_4 = 4 \cdot R_5 \Rightarrow R_4 = 5 \cdot 15[\text{k}\Omega] = 75[\text{k}\Omega] \Rightarrow R_5 = \frac{75\text{k}\Omega}{4} = 18,75[\text{k}\Omega].$$

Izberemo najbližji vrednosti iz uporovne lestvice E12: $R_4=82$ [kΩ], $R_5=22$ [kΩ] (v primeru da ne želimo minimizirati OFF SET tokov je možna tudi izbira druge vrednosti upornosti).

Analiza nizko prepustnega sita tretje stopnje:

$$A_0 = A_{01} \cdot A_{02} = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_7}\right) = 2 \cdot 4,72 = 9,45$$

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 R_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100[\text{nF}] \cdot 15[\text{k}\Omega]} = 106,16[\text{Hz}].$$

IZRAČUNI:

I. Stopnja:

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow R_1 \cdot C_1 = \frac{1}{\omega_m}$$

Izberemo npr. $C_1 = \underline{\quad}$ [nF] ($C_1 = C_3 = C_3$).

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow R_1 = \frac{1}{\omega_m C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \underline{\quad} [Hz] \cdot \underline{\quad} [nF]} = \underline{\quad} [k\Omega].$$

Izberemo najbližjo vrednost iz uporovne lestvice E12: $R = \underline{\quad}$ [kΩ] ($R = R_1 = R_2 = R_3$).

II. Stopnja:

Ojačanje druge stopnje je določeno z izrazom:

$$A_{02} = 3 - \frac{a_2}{\sqrt{b_2}} = 3 - 1 = 2 \Rightarrow A_{02} = 2 = 1 + \frac{R_6}{R_7} \Rightarrow \frac{R_6}{R_7} = 1 \quad R_6 = R_7$$

Zaradi minimiziranja OFF SET tokov operacijskega ojačevalnika je potrebno da so $R_{vh+} = R_{vh-}$.

$R_{vh+} = R_2 + R_3 = \underline{\quad}$ [kΩ] sledi da je

$$R_{vh-} = \underline{\quad} [k\Omega] = \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7}, \quad R_6 = R_7 \Rightarrow R_6 = R_7 = 2 \cdot \underline{\quad} [k\Omega] = \underline{\quad} [k\Omega]$$

Izberemo najbližjo vrednost iz uporovne lestvice E12: $R_6 = R_7 = \underline{\quad}$ [kΩ] (v primeru da ne želimo minimizirati OFF SET tokov je možna tudi izbira druge vrednosti upornosti).

Iz zahteve da naj bo celotno ojačanje $A_0 = A_{01} \cdot A_{02} = 10 \Rightarrow A_{01} = 5$.

$$A_{01} = 1 + \frac{R_4}{R_5} = 5 \Rightarrow \frac{R_4}{R_5} = 4 \quad R_4 = 4R_5.$$

Zaradi minimiziranja OFF SET tokov prvega operacijskega ojačevalnika je potrebno da so $R_{vh+} = R_{vh-}$.

$R_{vh+} = R_1 = \underline{\quad}$ [kΩ] \Rightarrow

$$R_{vh-} = \underline{\quad} [k\Omega] = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}, \quad R_4 = 4 \cdot R_5 \Rightarrow R_4 = 4 \cdot \underline{\quad} [k\Omega] = \underline{\quad} [k\Omega] \Rightarrow R_5 = \frac{k\Omega}{4} = \underline{\quad} [k\Omega].$$

Izberemo najbližji vrednosti iz uporovne lestvice E12: $R_4 = \underline{\quad}$ [kΩ], $R_5 = \underline{\quad}$ [kΩ] (v primeru da ne želimo minimizirati OFF SET tokov je možna tudi izbira druge vrednosti upornosti).

Analiza nizko prepustnega sita tretje stopnje:

$$A_0 = A_{01} \cdot A_{02} = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_7}\right) = 2 \cdot \underline{\quad} = \underline{\quad}$$

$$a_1 = \omega_m \cdot R_1 \cdot C_1 = 1 \Rightarrow f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 R_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \underline{\quad} [nF] \cdot \underline{\quad} [k\Omega]} = \underline{\quad} [Hz].$$

REZULTATI MERITEV:

a) Merjenje karakteristike nizko prepustnega sita prve stopnje

Tabela za vnos izmerjenih veličin za nizko prepustno sito prve stopnje:

f [Hz]					$f_{m1} =$					
U_{vh} [dB]										
U_{zh} [dB]										
A_u [dB]										
ϕ [°]										

b) Merjenje karakteristike nizko prepustnega sita druge stopnje

Tabela za vnos izmerjenih veličin za nizko prepustno sito druge stopnje:

f [Hz]					$f_{m2} =$					
U_{vh} [dB]										
U_{zh} [dB]										



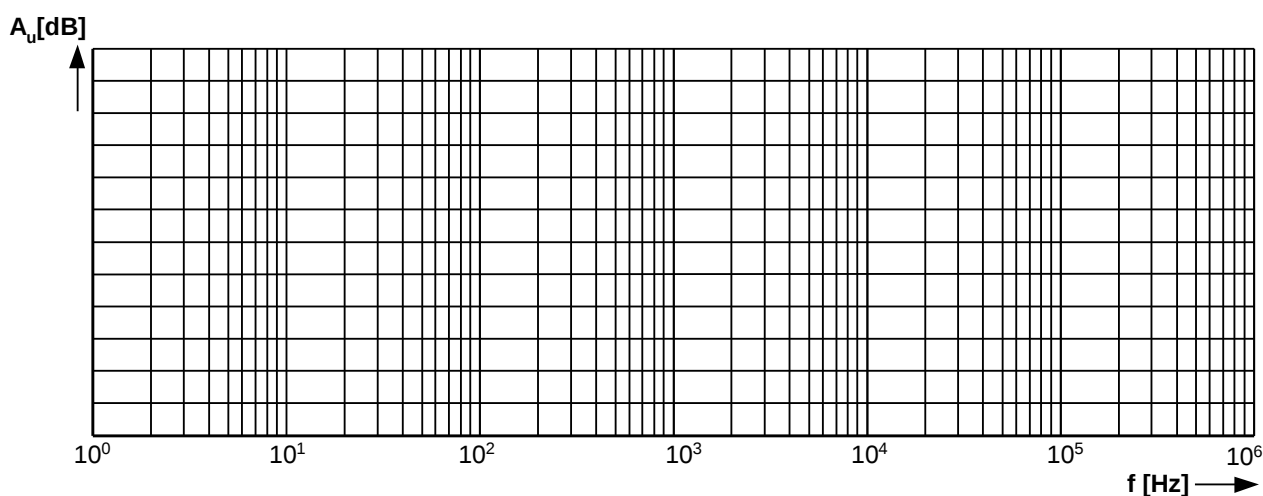
A_u [dB]												
ϕ [°]												

c) Merjenje karakteristike nizko prepustnega sita tretje stopnje

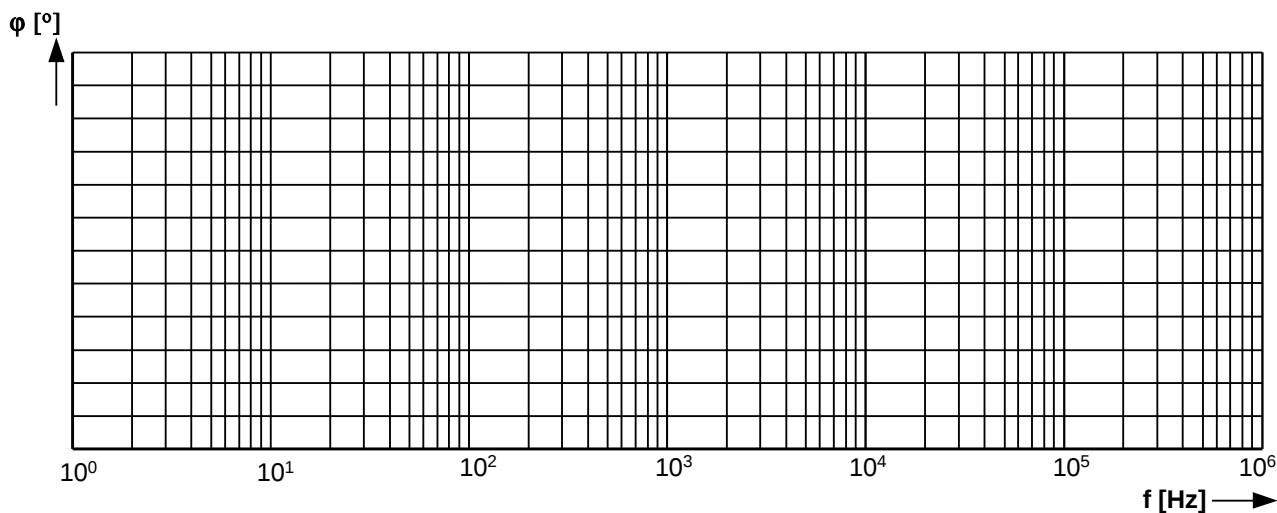
Tabela za vnos izmerjenih veličin za nizko prepustno sito tretje stopnje:

f [Hz]					$f_{m3} =$							
U_{vh} [dB]												
U_{lzh} [dB]												
A_u [dB]												
ϕ [°]												

Amplitudno-frekvenčna karakteristika za sito prve, druge in tretje stopnje:



Fazno-frekvenčna karakteristika za sito prve, druge in tretje stopnje:



Opomba: V logaritemsko mrežo vrišite vsako karakteristiko posamezne stopnje z drugo barvo.