

Zadanie

Należy zaprojektować filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości 3-decybelowej równej 100kHz, tłumienie dla 200kHz powinno wynosić co najmniej 30dB natomiast wzmocnienie dla pasma przepustowego 6dB. Do dyspozycji projektanta dostępne są wzmacniacze transkonduktancyjne o transkonduktancji równej 100uS i dowolne kondensatory. Należy użyć aproksymacji Butterwotha.

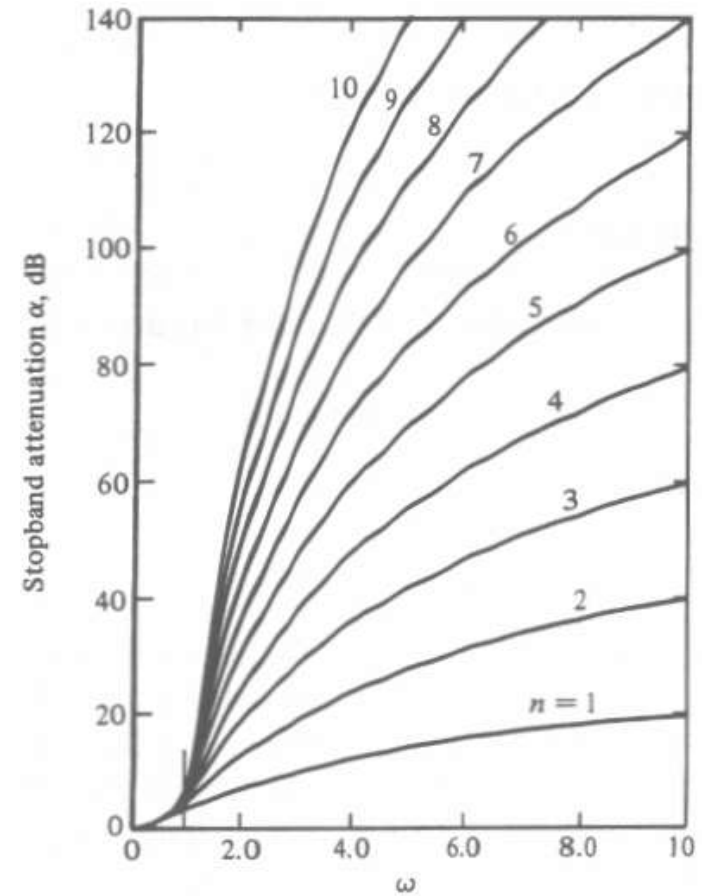
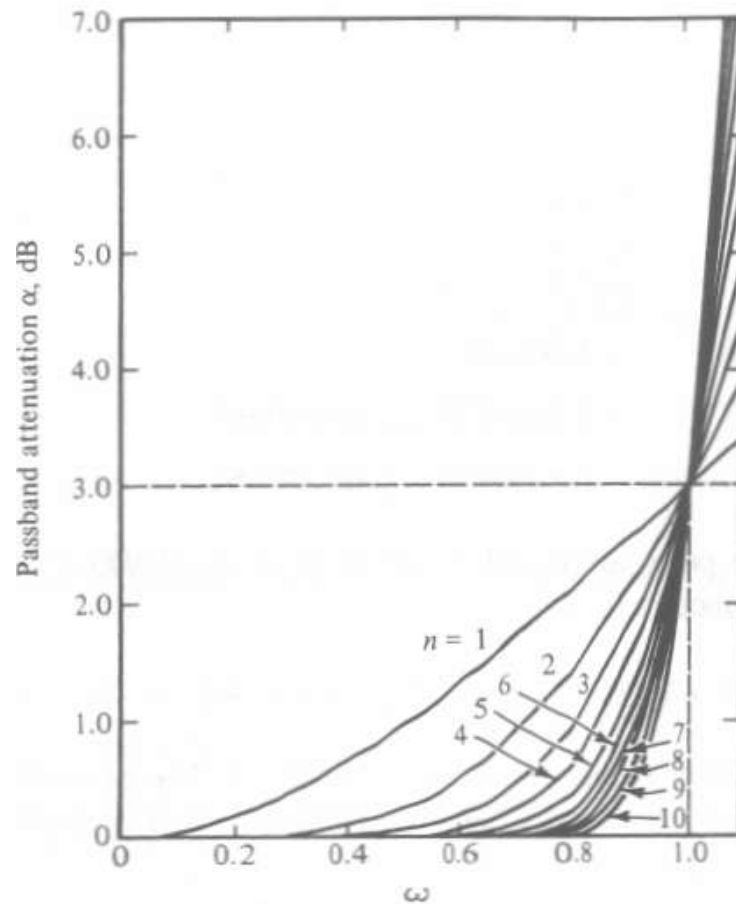
Rozwiązanie

Normalizacja wymagań:

- 1) 6dB \rightarrow 0dB, tłumienie 30dB \rightarrow 36dB,
- 2) 100kHz \rightarrow 1rad/sec, 200kHz \rightarrow 2rad/sec,
- 3) $\omega_s = 2\pi \cdot 100\text{kHz}$,

Wyznaczenie wymaganego rzędu filtru

1) Poprzez wykorzystanie nomogramu.



2) Poprzez zastosowanie wzoru

$$|T(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2n}}$$

$$1 + \omega^{2n} = \frac{1}{|T(j\omega)|^2}$$

$$\omega^{2n} = \frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1$$

$$\ln(\omega^{2n}) = \ln\left(\frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1\right)$$

$$2n \ln(\omega) = \ln\left(\frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1\right)$$

$$n = \frac{1}{2} \frac{\ln\left(\frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1\right)}{\ln(\omega)}$$

$$n = \frac{1}{2} \frac{\ln\left(\frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1\right)}{\ln(\omega)}$$

$$-36dB = 20 \log(|T(j2)|)$$

$$-1,8 = \log(|T(j2)|)$$

$$|T(j2)| = 10^{-1,8}$$

$$\frac{1}{|T(j\omega)|^2} = \frac{1}{10^{-1,8^2}} = 10^{3,6} = 3981,07$$

$$n = \frac{1}{2} \frac{\ln\left(\frac{1}{|T(j\omega)|^2} - 1\right)}{\ln(\omega)} = \frac{1}{2} \frac{\ln(3980,07)}{\ln(2)} = \frac{8,289}{2 \cdot 0,6931} = 5,98 \Rightarrow 6$$

Realizacja metodą kaskadową

<i>n</i> even								<i>n</i> odd ^a						
2	4	6	8	10	12	14	16	3	5	7	9	11	13	15
0.71	0.54	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	1.00	0.62	0.55	0.53	0.52	0.51	0.51
	1.31	0.71	0.60	0.56	0.54	0.53	0.52		1.62	0.80	0.65	0.59	0.56	0.55
		1.93	0.90	0.71	0.63	0.59	0.57			2.24	1.00	0.76	0.67	0.62
			2.56	1.10	0.82	0.71	0.65				2.88	1.20	0.88	0.75
				3.20	1.31	0.94	0.79					3.51	1.41	1.00
					3.83	1.51	1.06						4.15	1.62
						4.47	1.72							4.78
							5.10							

^a For *n* odd there is also a real pole for which $Q = 0.5$.

$$H_1 = 2$$

$$f_1 = 100\text{kHz}$$

$$Q_1 = 0,52$$

$$H_2 = 1$$

$$f_2 = 100\text{kHz}$$

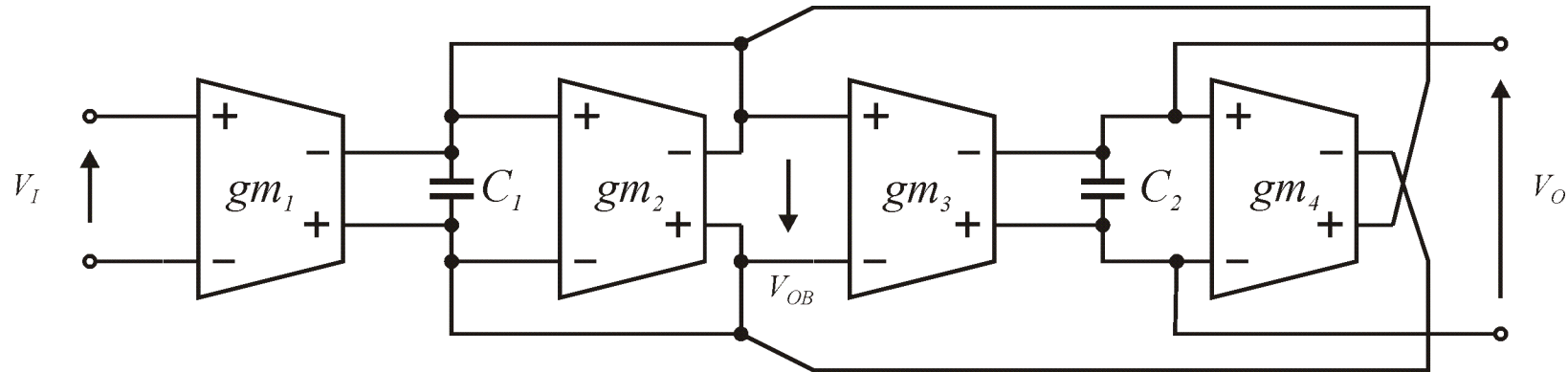
$$Q_2 = 0,71$$

$$H_3 = 1$$

$$f_1 = 100\text{kHz}$$

$$Q_1 = 1,93$$

Schemat sekcji bikwadratowej



$$H = \frac{gm_1}{gm_4} \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{gm_3 gm_4}{C_1 C_2}} \quad Q = \sqrt{\frac{C_1 gm_3 gm_4}{C_2 gm_2^2}}$$

Zakładamy, że dla realizacji niejednostkowych wartości H gm_1 może być zwielokrotniany, stąd:

$$gm_2 = gm_3 = gm_4 = gm$$

$$Q^2 = \frac{C_1}{C_2} \Rightarrow C_1 = C_2 Q^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{gm \ gm}{C_2 Q^2 C_2}} \Rightarrow C_2 = \frac{gm}{Q \omega_0} \quad C_1 = \frac{gm Q}{\omega_0}$$

Ostateczne wartości elementów

I sekcja:

$$gm_1 = 2 \times 100\mu S$$

$$gm_2 = gm_3 = gm_4 = 100\mu S$$

$$C_1 = \frac{100\mu S \cdot 0,52}{2\pi 100kHz} = 82,76 pF$$

$$C_2 = \frac{100\mu S}{0,52 \cdot 2\pi 100kHz} = 306,1 pF$$

II sekcja:

$$gm_{1-4} = 100\mu S$$

$$C_1 = 113 pF$$

$$C_2 = 224,15 pF$$

III sekcja:

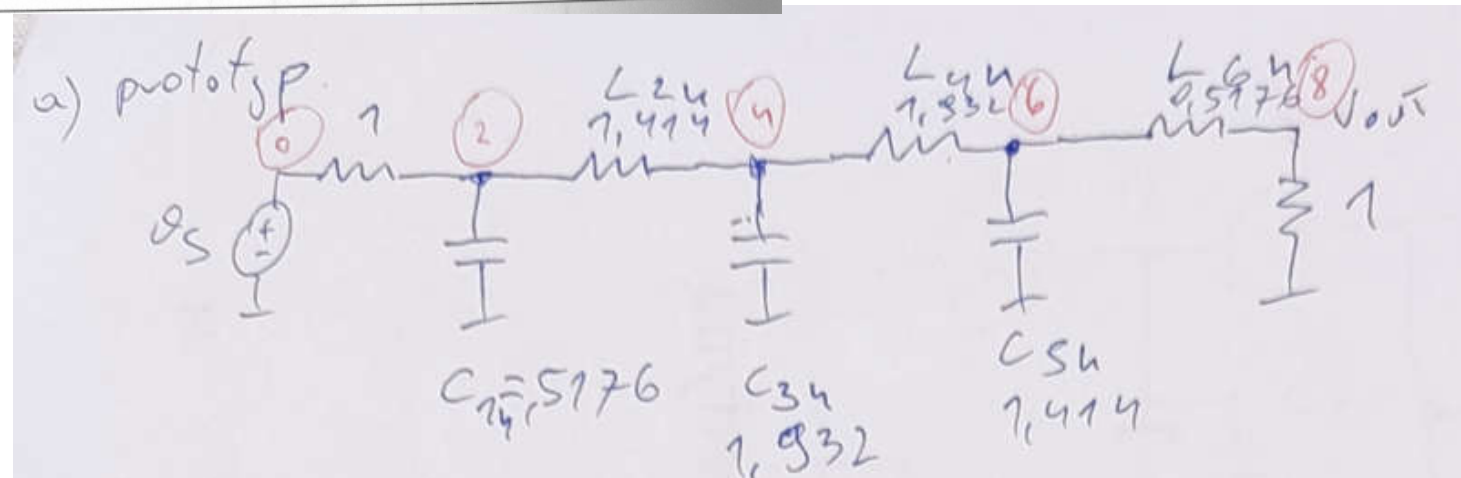
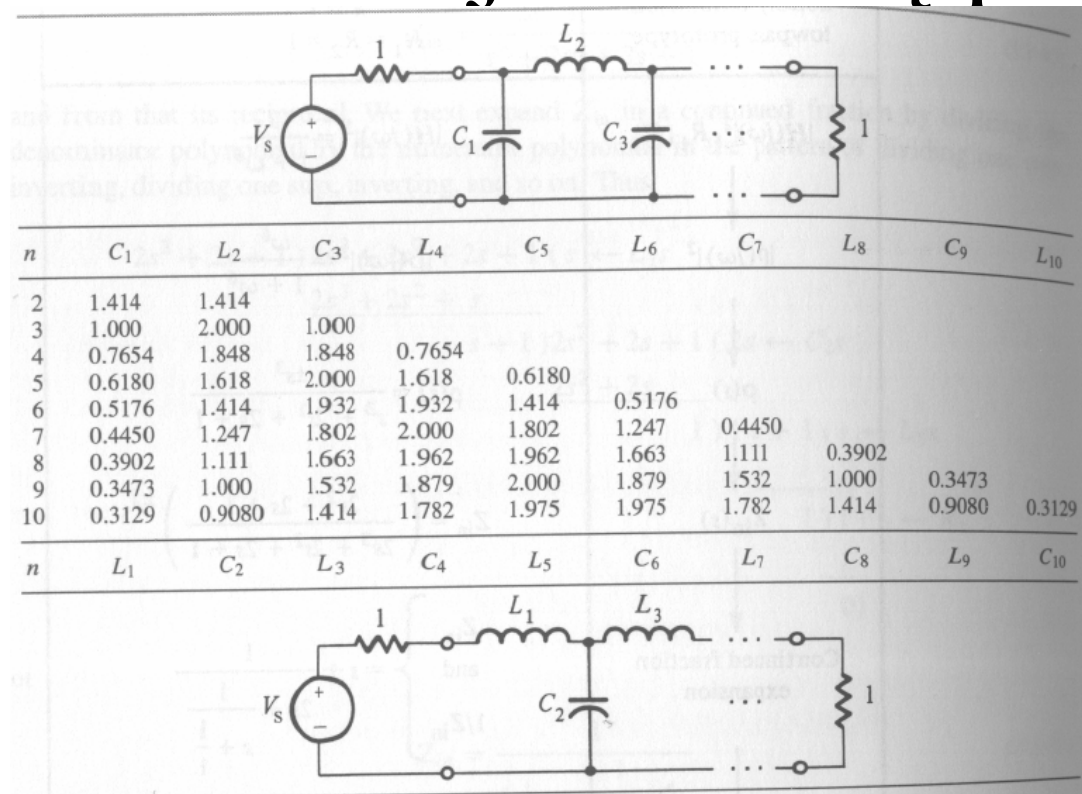
$$gm_{1-4} = 100\mu S$$

$$C_1 = 307,16 pF$$

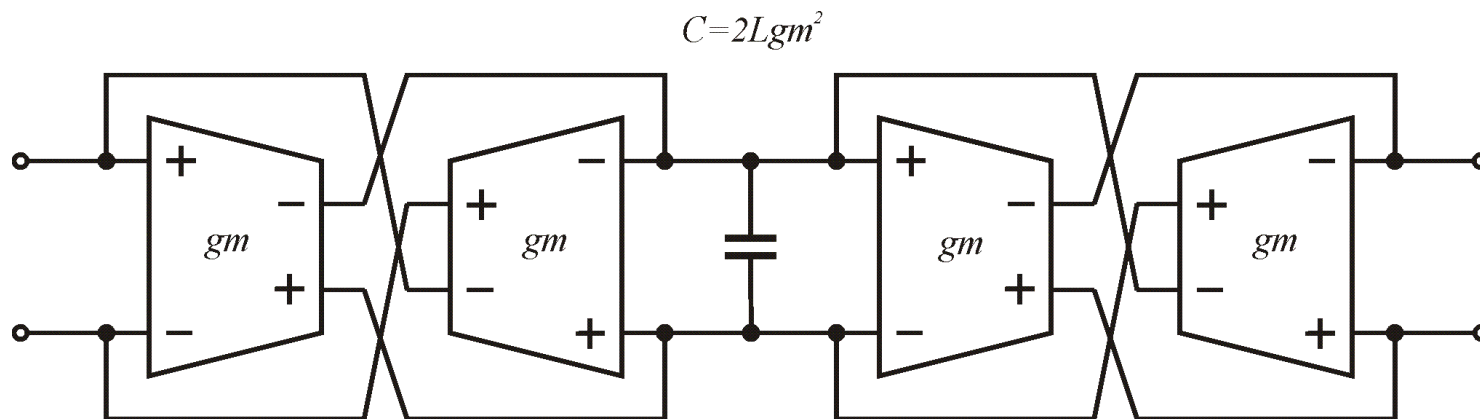
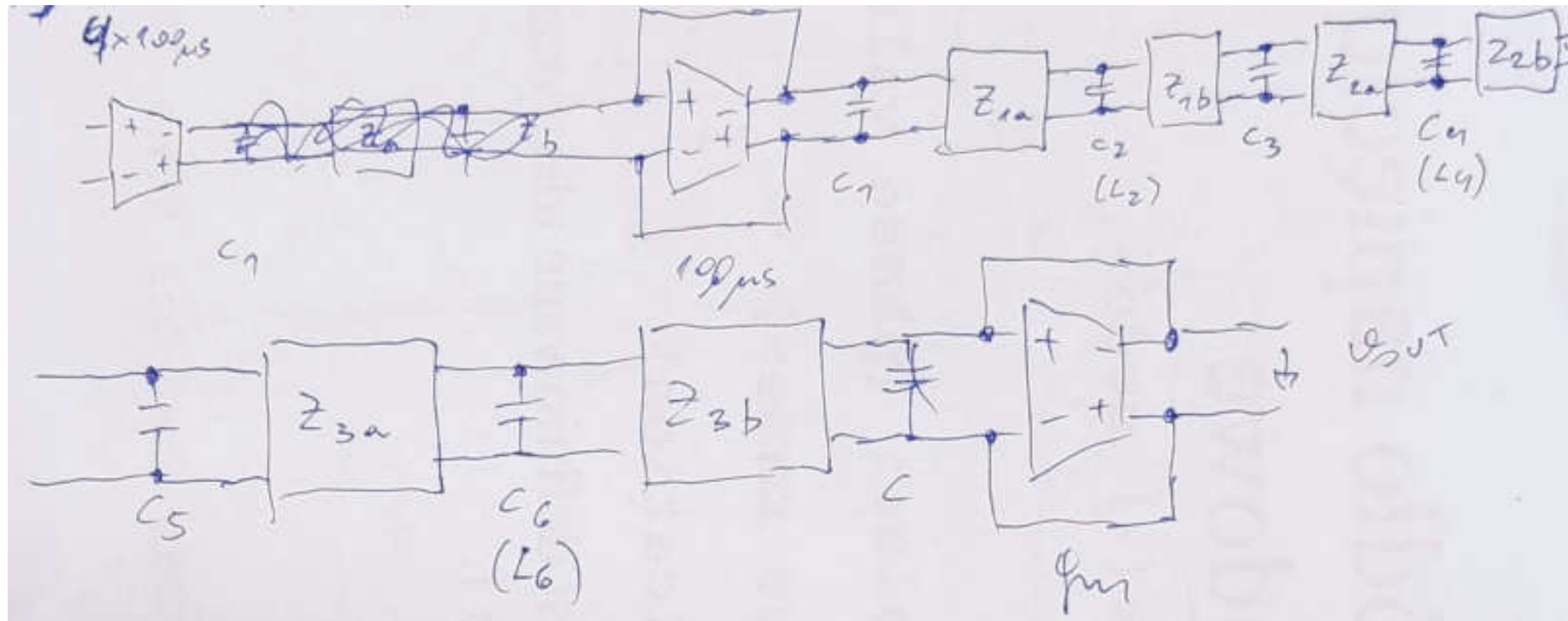
$$C_2 = 82,46 pF$$

Łącznie potrzeba $1 + 3 \cdot 4 = 13$ wzmacniaczy OTA

Realizacja metodą prototypu RLC



Bezpośrednia symulacja prototypu



Wartości kondensatorów:

$$C_1 = \frac{1}{R_S \omega_S} C_{1n} = \frac{q_m}{\omega_S} \cdot C_{1n} = \frac{100 \mu S}{2\pi \cdot 190 \text{ kHz}} \cdot 0,5176 = 82,38 \text{ pF}$$

$$C_2 = L_2 q_m^2 = \frac{1}{q_m \omega_S} \cdot L_{2n} q_m^2 = \frac{q_m}{\omega_S} \cdot L_{2n} = 225,04 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{q_m}{\omega_S} \cdot C_{3n} = 307,48 \text{ pF}$$

$$C_4 = 307,48 \text{ pF}$$

$$C_5 = 225,04 \text{ pF}$$

$$C_6 = 82,38 \text{ pF}$$

Typowe 18 OTA

c) Synalizacja dwóch przepływów sygnału

