

Semestrální práce z předmětu EFI

Dolní propust

Jan Ingerle

29. října 2000

1 Zadání

Z13 — DP pro předzpracování akustického signálu.

DP má sloužit jako antialiasingový filtr pro předzpracování kvalitního akustického signálu v kmitočtovém pásmu 40Hz – 16kHz před digitalizací vzorkovacím kmitočtem 42kHz.

Útlumové požadavky: propustné pásmo: $a_{max} < 0, 2dB$

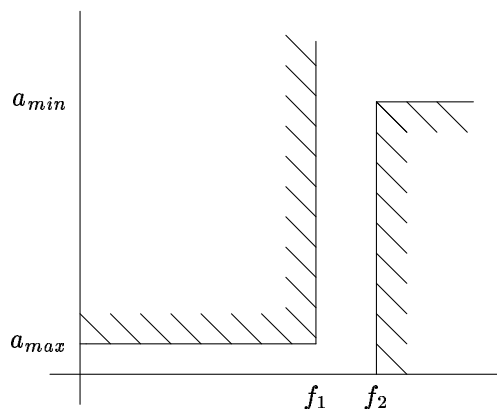
nepropustné pásmo: a_{min} volte tak, aby vyhovělo požadavku na 12-ti bitovou digitalizaci.

Doporučení:

Realizujte jako ARC filtr. Optimalizujte návrh pro minimalizaci vlivu reálných parametrů aktivních prvků a pro dosažení co největší dynamiky.

2 Vypracování

Ze zadání můžeme nakreslit toleranční schéma.



kde

$$a_{max} = 0, 2dB$$

$$a_{min} = 20 \log 2^n = 20 \log 2^{12} = 72, 23dB, \text{ tuto hodnotu ještě upravíme vzhledem k vlivu teploty} \Rightarrow$$

$$a_{min} = 73dB$$

$$f_1 = 16kHz$$

$$f_2 = f_v/2 = 21kHz$$

Po kmitočtovém normování výjde $f_1 = 1$ a $f_2 = 1, 3125$.

Ze známých vzorců vypočítáme pro jednotlivé aproximace stupeň aproximace:

– Butterworthova aproximace:

$$n \geq \frac{1}{2} \frac{\log \frac{10^{\frac{a_{min}}{20}} - 1}{10^{\frac{a_{max}}{20}} - 1}}{\log \Omega_s}$$

$$\text{kde } \Omega_s = 2\pi f_2$$

– Čebyševova aproximace:

$$n \geq \frac{\arg \cosh \frac{1}{k_1}}{\arg \cosh \Omega_s}$$

$$\text{kde } \Omega_s = 2\pi f_2 \text{ a } k_1 = \sqrt{\frac{10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1}{10^{\frac{a_{min}}{10}} - 1}}$$

– Caurova aproximace:

$$n \frac{K(k')}{K(k)} = \frac{K(k'_1)}{K(k_1)}$$

$$\text{kde } K(x) \text{ má význam úplného elyptického integrálu, } k' = \sqrt{1 - k^2}, k = \frac{1}{2\pi f_2} \text{ a } k_1 = \sqrt{\frac{10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1}{10^{\frac{a_{min}}{10}} - 1}}$$

bližší postup výpočtu stupně Caurovy aproximace je v [1].

My jsme pro výpočet jednotlivých n použili program SYNTFIL:

Butterworth: $n=38$
 Čebyšev: $n=15$
 Cauer: $n=8$

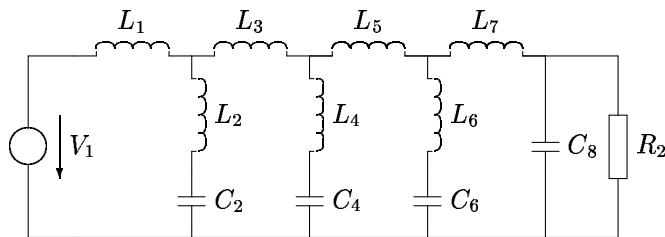
Aproximaci tedy provedeme Cauerem.

Vzhledem k náročnosti výpočtu prvků Caurovy aproximace jsme hodnoty jednotlivých obvodových prvků našli v katalogu (viz. [2]).

Zde jsme volili parametry:

Caurova aproximace 8. stupně s $a_{max} < 0.2dB$ a $\Omega_s = 1.302295998$

zapojení NDP:



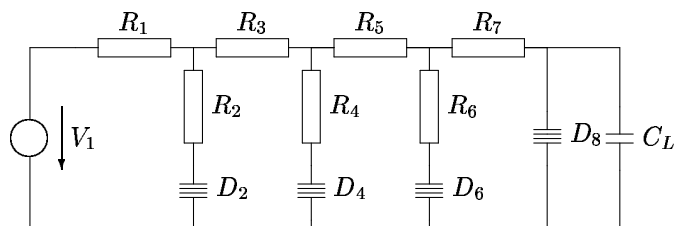
jednotlivé prvky normované dolní propusti:

$l_1 = 1,369794$	$c_2 = 1,637247$
$l_2 = 0,135592$	$c_4 = 1,166985$
$l_3 = 1,376653$	$c_6 = 1,127375$
$l_4 = 0,492542$	$c_8 = 0,676790$
$l_5 = 1,163642$	
$l_6 = 0,402225$	$r_1 = 0$
$l_7 = 1,062676$	$r_2 = 1$

Vzhledem k tomu, že jsme vzbrali katalogové součástky, ověříme si, za má LC prototyp požadované vlastnosti. V programu PSPICE jsme nakreslili průběh $P = \frac{U_2}{U_1} [dB]$ (viz. příloha). Vidíme, že charakteristika vyhovuje tolerančnímu schématu. Můžeme tedy pokračovat v aktivní syntéze.

S ohledem k náročnosti požadavků na filtr budeme dále pokračovat realizací ARC filtru simulací prvků LC prototypu.

Provedeme Brutonovu transformaci:



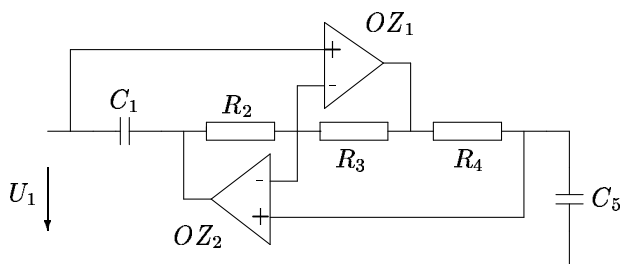
Hodnoty součástek:

$$R_i = L_i, D_i = C_i, C_i = \frac{1}{R_i}$$

$$\begin{aligned} r_1 &= 1,369794 \\ r_2 &= 0,135592 \\ r_3 &= 1,376653 \\ r_4 &= 0,492542 \\ r_5 &= 1,163642 \\ r_6 &= 0,402225 \\ r_7 &= 1,062676 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= 1,637247 \\ d_4 &= 1,166985 \\ d_6 &= 1,127375 \\ d_8 &= 0,676790 \\ c_q &= 0 \\ c_l &= 1 \end{aligned}$$

Vzhledem k náročnosti filtru, budeme volit obvodové řešení dvojných kapacitorů pomocí Antoniova konvertoru:



Pro optimální návrh musí platit vztahy:

$$R_2 = R_3 = R, R_4 = \frac{1}{\omega_c C_5}, C_1 = C_5 = C \Rightarrow$$

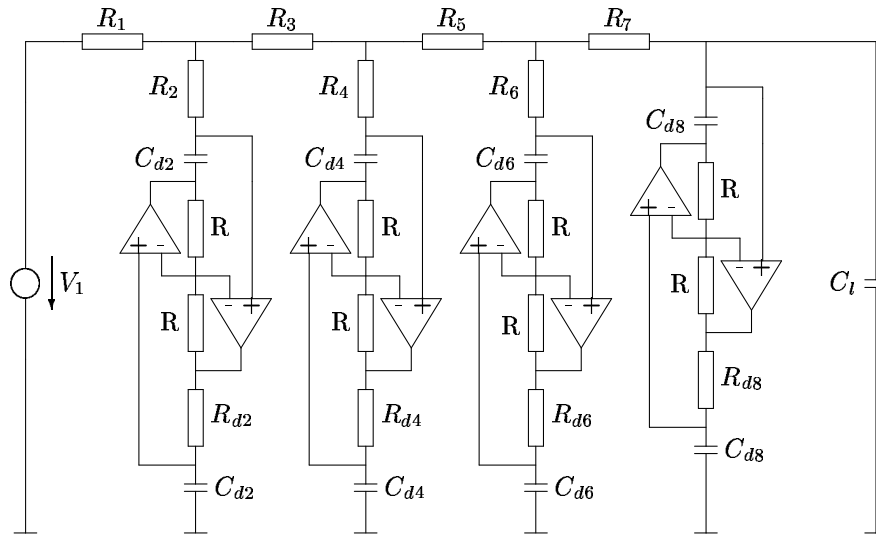
$$Y_{vst} = p^2 C^2 R_4 = p^2 D \Rightarrow D = C^2 R_4 \Rightarrow D = \frac{1}{\omega_c^2 R_4} \Rightarrow R_4 = \frac{1}{\omega_c^2 D}$$

Kde jednotlivé ω_c je rezonanční kmitočet jednotlivých seriových rezonančních obvodů $\omega_{ci} = 1/(L_i C_i)$. Z těchto vztahů vypočítáme hodnoty výsledného schématu NDP:

$$\begin{aligned} r_1 &= 1,369794 \\ r_2 &= 0,135592 \\ r_3 &= 1,376653 \\ r_4 &= 0,492542 \\ c_l &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_5 &= 1,163642 \\ r_6 &= 0,402225 \\ r_7 &= 1,062676 \\ r &= 0,2 \end{aligned}$$

$\omega_{c2} = 2,122393$	$r_{d2} = 0,135592$	$c_{d2} = 3,474883$
$\omega_{c4} = 1,318003$	$r_{d4} = 0,493290$	$c_{d4} = 1,538088$
$\omega_{c6} = 1,485016$	$r_{d6} = 0,402225$	$c_{d6} = 1,674171$
$\omega_{c8} = 1,000000$	$r_{d8} = 1,477563$	$c_{d8} = 0,676790$



Nyní již zbývá pouze kmitočtově a impedančně odnormovat danou strukturu. Kmitočtové odnormování provedeme k frekvenci $\omega_N = 2\pi 16 \cdot 10^3 = 1,005310 \cdot 10^5$. Toto odnormování se projeví pouze na hodnotách kondenzátorů:

$$C_i = \frac{c_i}{\omega_N}$$

Impedanční hladinu zvolíme tak, aby nám vyšli přijatelné hodnoty kondenzátorů. Normovací odpor zvolíme $5k\Omega$. Odnormování provedeme podle vztahů

$$C_i = \frac{c_i}{R_0}, R_i = r R_0$$

Konečné hodnoty obvodových prvků tedy jsou:

$R_1 = 6848,970 \Omega$	$R_5 = 5818,210 \Omega$
$R_2 = 677,960 \Omega$	$R_6 = 2012,710 \Omega$
$R_3 = 6883,265 \Omega$	$R_7 = 5313,380 \Omega$
$R_4 = 2462,710 \Omega$	$R = 1000 \Omega$
$C_l = 1,989437 nF$	$C_{d2} = 6,913066 nF$
$R_{d2} = 677,960 \Omega$	$C_{d4} = 3,059929 nF$
$R_{d4} = 2466,450 \Omega$	$C_{d6} = 3,330657 nF$
$R_{d6} = 2011,125 \Omega$	$C_{d8} = 1,346431 nF$
$R_{d8} = 7387,815 \Omega$	

Výslednou strukturu odsimulujeme opět v programu PSPICE a výsledná charakteristika s ideálními a reálnými OZ je přiložena. Jako reálný OZ jsme použili TL081 s $f_T = 3MHz$. Jak je vidět výsledný průběh odpovídá požadavkům v zadání. Můžeme tedy říci, že se nám podařilo splnit zadání.

Reference

- [1] Laipert, M., Vlček, M.: Lineární obvody. ČVUT, Praha 1995.
- [2] Martinek, P., Boreš, P., Matzner, I.: Elektrické filtry. ČVUT, Praha 1997.
- [3] Saal, R.: Spravočik po rasčetu filtrov. Radio i svjaz, Moskva 1983.
- [4] program SYNTFIL, SADYS, PSPICE