

ANALOGOVÉ FILTRY NA BÁZI DISKRÉTNÍCH FILTRŮ FIR

Dalibor Biolek^{*)}

Anotace: V článku je popsán způsob návrhu analogových aktivních filtrů, jejichž vlastnosti se blíží diskretním filtrům FIR s exaktně konstantním průběhem skupinového zpoždění. Je provedeno srovnání s kmitočtovými charakteristikami filtrů dle Besselovy a Feistel-Unbehauenovy aproximace.

Úvod

Funkční bloky a řetězce s konstantním skupinovým zpožděním jsou vyžadovány v řadě dnešních aplikací zpracování signálů. Jmenujme alespoň filtraci signálu s minimalizovaným fázovým zkreslením před analogově číslicovým převodem, korektory fázového zkreslení v přenosových vedeních, syntézu lineárních zpožďovacích členů pro pulsní kompresi nebo některé části splitterů pro modulátory na principu fázového klíčování.

Klasické analogové filtry, ať už pasivní nebo aktivní, vykazují vždy nelineární fázovou kmitočtovou charakteristiku. Existence této nelinearity je u těchto filtrů principiální a volbou vhodných aproximací amplitudové kmitočtové charakteristiky se lze v určitém kmitočtovém pásmu pouze přiblížit k ideálnímu průběhu.

Diskretní a číslicové filtry nabízejí východisko ve formě filtrů s konečnou impulsní odezvou (filtry FIR), které po splnění určitých podmínek vykazují principiálně zcela lineární fázovou kmitočtovou charakteristiku (konstantní skupinové zpoždění) v celém kmitočtovém pásmu. Takovéto filtry lze realizovat nerekurzivní realizační strukturou, jejíž páteř je tvořena řadou zpožďovacích registrů.

Práce, které by se zabývaly konstrukcí analogových aktivních filtrů na bázi diskretních filtrů FIR prakticky neexistují.

Možnosti návrhu analogových filtrů z diskretních prototypů

Metodika návrhu analogových aktivních filtrů na základě jejich diskretních prototypů v rovině z je velmi málo rozpracována. Běžně se používá opačný postup, kdy diskretní filtr se navrhuje na základě jeho analogového prototypu. Nabízí se jednoduchý přístup, kdy se nerekurzivní struktura diskretního filtru realizuje analogově za pomoci analogových fázovacích článků. Například fázovací články s jedním operačním zesilovačem a jejich nejrůznější aplikace ve filtrech jsou všeobecně známy již řadu let [1]. Na obr. 1 je ukázka 1. kanonické struktury diskretního filtru FIR N -tého řádu (a), aktivního fázovacího článku 1. řádu neinvertujícího (b) a invertujícího (c) a způsob realizace aktivního filtru (d). Diskretní filtr FIR má systémovou funkci v rovině z

$$K(z) = \sum_{k=0}^N a_k z^{-k} \quad (1)$$

Přenosová funkce fázovacího článku v rovině p je

$$K_{FC}(p) = \pm \frac{1 - \tau p}{1 + \tau p}, \quad \tau = RC \quad (2)$$

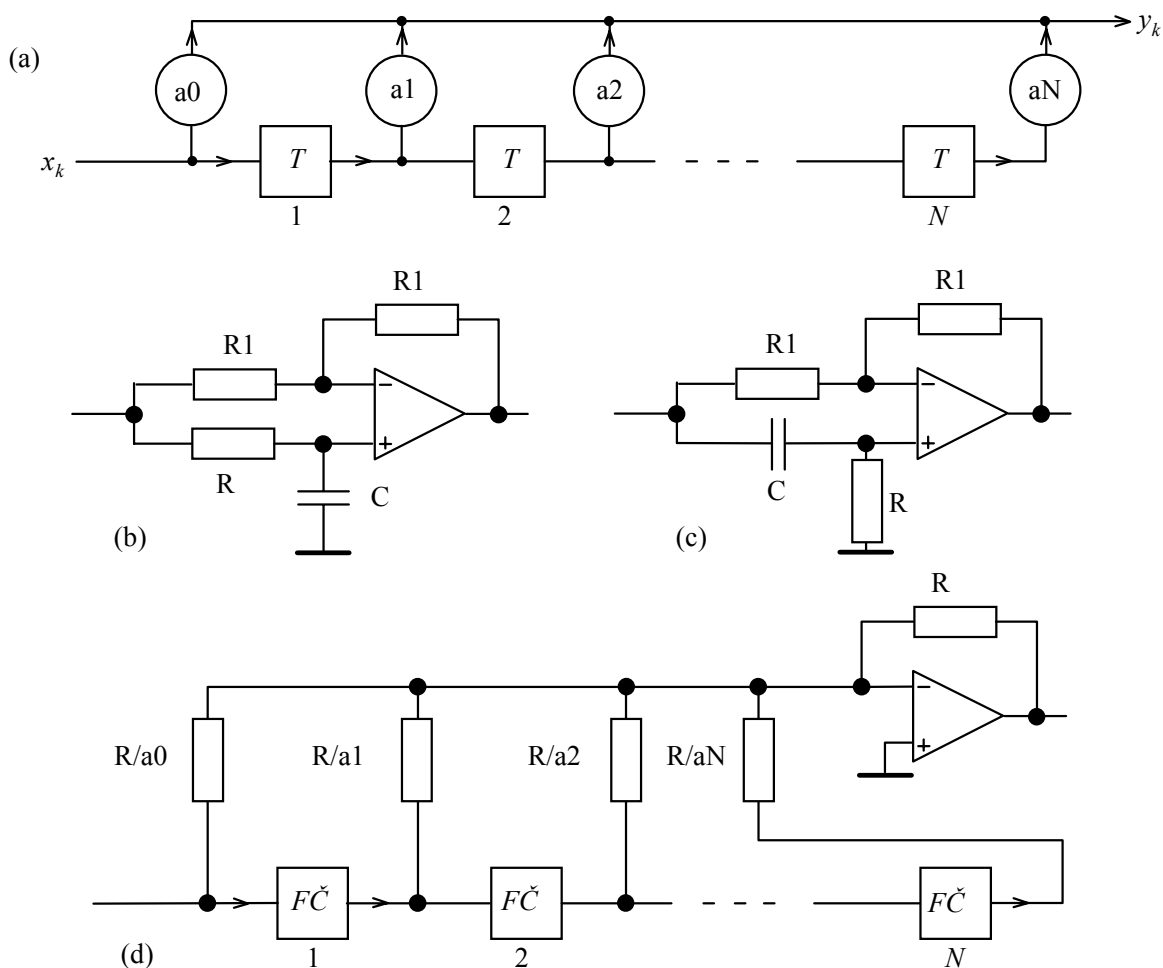
Skupinové zpoždění dosahuje pro oblast nízkých kmitočtů hodnoty 2τ , s rostoucím kmitočtem klesá podle vzorce

$$\tau_{sk}(\omega) = \frac{2\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (3)$$

Uvědomíme-li si, že 2τ je nominální zpoždění fázovacího článku, v souvislosti s diskretním prototypem se jedná o vzorkovací periodu T a číslo $x = f \cdot 2\tau$ je pak normovaný kmitočet (kmitočet dělený vzorkovacím kmitočtem). Jednoduchý výpočet pak ukazuje, že například při požadovaném zvlnění skupinového zpoždění do 0,1% je třeba volit normovaný kmitočet do velikosti 0.01.

Vzhledem k složitosti výsledného filtru vyššího řádu na obr. 1 (d) je vhodné uvažovat o integrované realizaci.

^{*)} Dalibor Biolek, Prof. Ing. CSc., VA Brno, Kounicova 65, PS13, 612 00 Brno, tel. 41182487, fax 41182888, e-mail biolek@cs.vabo.cz



Obr.1. (a) 1. kanonická struktura diskrétního filtru FIR, (b), (c) analogový fázovací článek neinvertující a invertující, (d) příklad analogové realizace diskrétního filtru FIR.

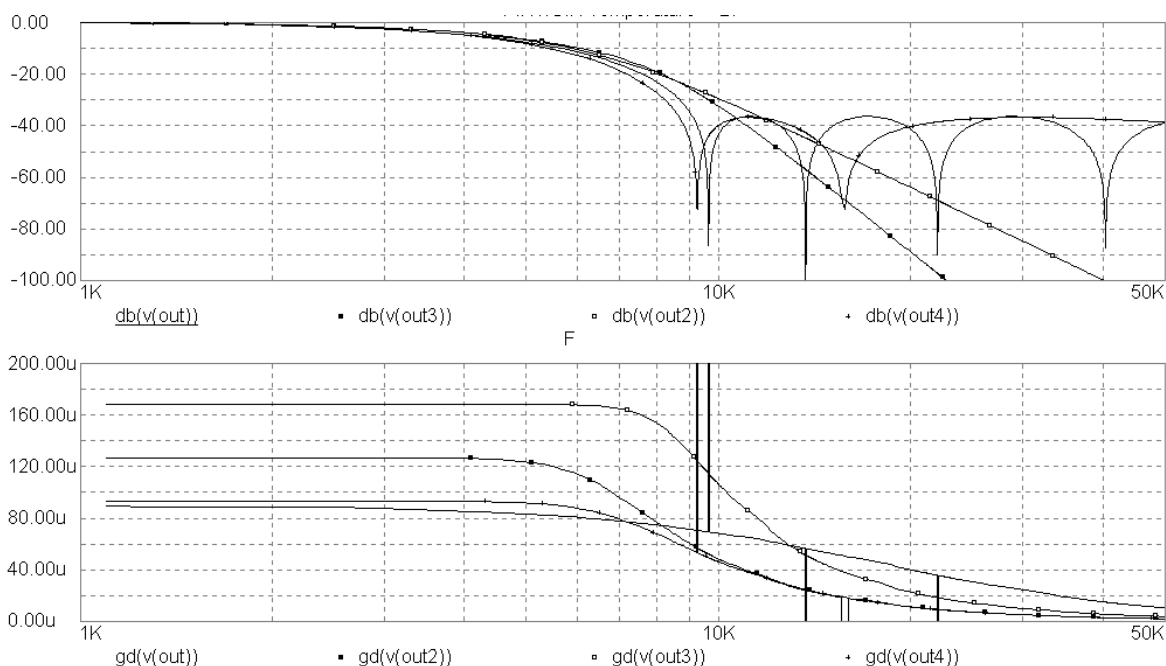
Takto syntetizovaný analogový filtr bude ovšem polynomiální a bližší rozbor ukazuje, že jeho přenosová funkce bude vykazovat násobný pól a řadu nulových bodů, jejichž rozložení v rovině p bude závislé na koeficientech diskrétního prototypu. Takovýto filtr lze realizovat úsporněji než uvedenou strukturou s fázovacími články, a to známými metodikami kaskádní či nekaskádní syntézy s aktivními bloky.

Srovnání s filtry dle klasických aproximací

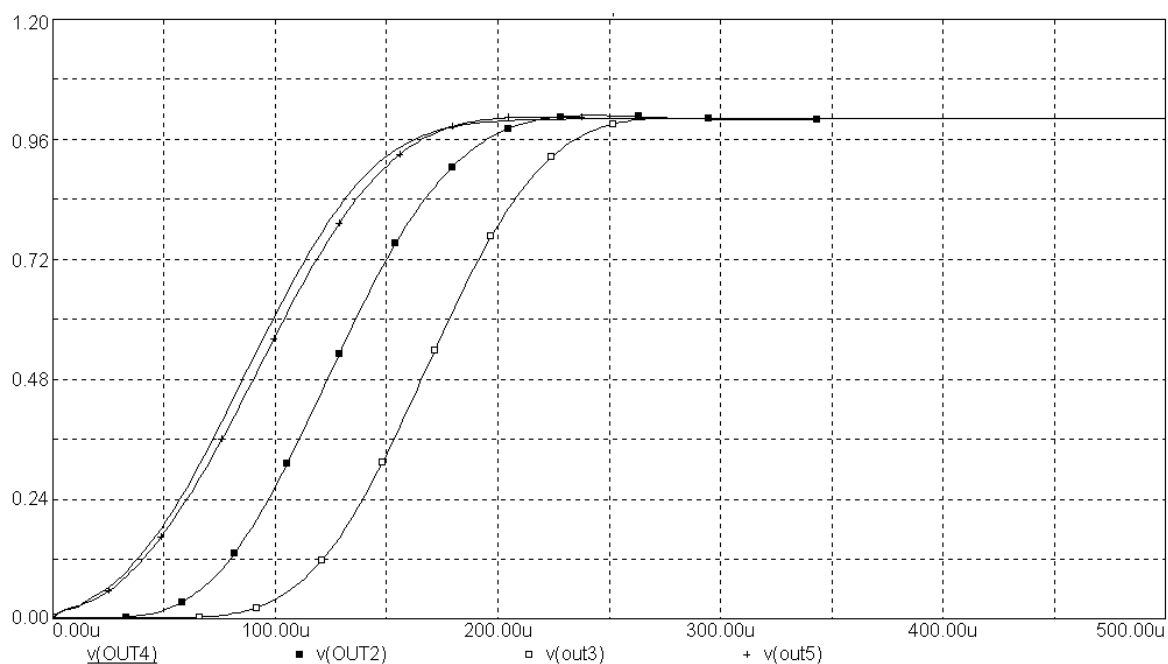
Pro ilustraci byl navržen diskrétní filtr FIR 10. řádu typu dolní propust s mezním kmitočtem 3 kHz a s garantovaným útlumem 36,5 dB od kmitočtu 11kHz. K návrhu byl použit program AFIR [2]. 10 nulových bodů a 10-ti násobný pól $z = 0$ byly poté bilineární transformací převedeny do roviny p . Na obr. 2 jsou srovnány kmitočtové charakteristiky tohoto filtru (označeny jako FIR-BL) spolu s charakteristikami filtru dle Besselovy aproximace 6. a 10. řádu a Feistel-Unbehauenovy (F-U) aproximace 5. řádu. K výpočtu koeficientů posledně jmenovaných filtrů byl použit program NAF [3]. Filtr FIR-BL 10. řádu vykazuje ze všech filtrů nejmenší skupinové zpoždění, což se příznivě projevuje na rychlosti ustalování jeho odezvy na skok (viz obr. 3).

Závěr

V budoucnu bude nutné analyzovat následující problémy: 1. hledání zákonitostí v rozložení nulových bodů diskrétních filtrů FIR v rovině z za předpokladu lineární fáze, 2. odhalení souvislosti mezi rozložením nulových bodů diskrétního filtru v rovině z a nulovými body analogového filtru jako výsledek transformace do roviny p , 3. souvislosti s bilineární p - z transformací, 4. porovnání parametrů takto navržených analogových filtrů s filtry navrženými podle klasických transformací s důrazem na lineární fázi.



Obr. 2. Amplitudové kmitočtové charakteristiky a charakteristiky skupinového zpoždění: Bessel 6. řádu (out2), Bessel 10. řádu (out3), F-U 5. řádu (out4), FIR-BL 10. řádu (out).



Obr. 3. Přechodné charakteristiky: Bessel 6. řádu (out2), Bessel 10. řádu (out3), F-U 5. řádu (out5), FIR-BL 10. řádu (out4).

Poznámka: Tato práce je podporována Grantovou Agenturou ČR projektem č. 102/97/0765.

Literatura:

- [1] PUNČOCHÁŘ, J.: Fázovací členek s posuvem 0 až $k\pi$ a syntéza frekvenční zádrže. Sdělovací technika, 1978, č. 4 a 5, s. 141-143.
- [2] SMĚKAL, Z.: Číslicové filtry. Skriptum VUT, Brno, 1993.
- [3] HÁJEK, K.-SEDLÁČEK, J.-SVIEŽENY, M.: NAFID - conception des filtres analogiques. Société d'Etudes d'Exploitation et de Recherches. Paris, France, 1995.