DESIGN OF FULLY-DIFFERENTIAL FILTERING STRUCTURE WITH ADJUSTABLE CURRENT AMPLIFIER

Jan Dvorak
Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xdvora0s@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Jerabek
E-mail: jerabekj@feec.vutbr.cz

Abstract: The contribution deals with design and analysis of controllable second-order frequency filter which operates in the current mode and where the main element is the current amplifier DACA (Digitally Adjustable Current Amplifier) and also MOTA (Multiple Output Transconductance Amplifier) is used. The paper presents a description of the proposed circuit and results of computer simulations for circuit in single-ended and fully-differential variant. Four simulation models with different properties were used for simulating of the DACA active element in the proposed circuit.

Keywords: frequency filter, single-ended, fully-differential, DACA, MOTA

1 ÚVOD

Kmitočtové filtry představují obvody, které slouží k propuštění nebo utlumení určitého kmitočtového pásma podle funkce daného filtru. Ovlivňováním určité části kmitočtového spektra lze obvody rozdělit podle tzv. funkce obvodu, jako je dolní propust (DP), pásmová propust (PP), horní propust (HP), pásmová zádrž (PZ) nebo fázovací článek (FZ) [1]. Dále lze kmitočtové filtry rozdělit podle struktury na nediferenční a diferenční, kde diferenční obvody mohou dosahovat větší odolnosti vůči rušení a většího dynamického rozsahu oproti nediferenčním obvodům. Charakteristickou vlastností filtru je jeho strmost, která definuje přechod mezi propustným a nepropustným pásmem, je dána typem použité aproximace (např. dle Butterwortha) a řádem filtru. Další vlastností může být např. přeladitelnost mezního kmitočtu nebo činitele jakosti. V tomto článku je pojednáno o filtru 2. řádu pracujícím v proudovém módu [1], [2].

2 ANALÝZA KMITOČTOVÉHO FILTRU 2. ŘÁDU

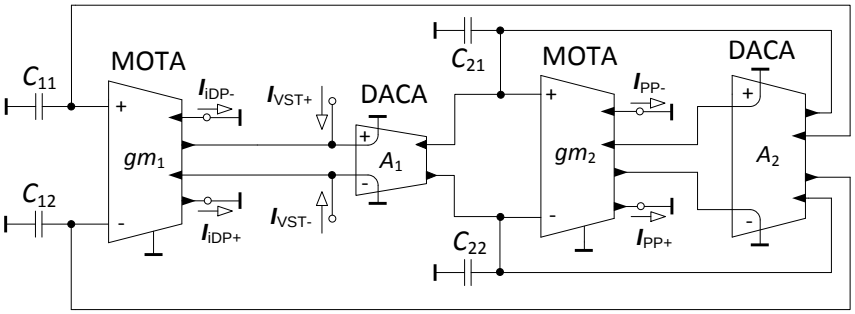
Pro návrh nediferenčního filtru byla použita Mason-Coatesova metoda grafů signálových toků pomocí které byla určena charakteristická rovnice obvodu popisující jeho chování. Diferenční varianta obvodu vznikla zrcadlením celé nediferenční struktury vůči zemi. Touto transformací se rozšíří počet pasivních prvků na dvojnásobek a aktivní prvky jsou nahrazeny diferenčními [2].

Hlavní aktivní prvek je digitálně řiditelný proudový zesilovač (DACA), který je plně diferenční. Vyznačuje se proudovým zesílením A, které je nastavitelné pomocí tříbitové sběrnice v rozsahu od 1 do 8 s krokem 1, pokud je uvažováno nediferenční použití prvku. Pro diferenční použití prvku je zesílení dvojnásobné [2]. V rámci počítačových simulací prvku DACA byl použit jeden ideální a tři další simulační modely, označované jako: DACA_INT [4], DACA_EL2082 [2], DACA_TRANZIST [3], kde každý model je založen na jiném principu zahrnutí nedokonalostí či parazitních vlastností.

Další použitý prvek v zapojení je vícevýstupový operační transkonduktanční zesilovač (MOTA). Jedná se o zdroj proudu řízený napětím, který je charakterizován transkonduktancí g_{m}. Pro počítačové simulace byl použit simulační model vytvořený pomocí univerzálního proudového konvejoru (UCC) [2].

2.1 NAVRŽENÝ MULTIFUNKČNÍ PŘELADITELNÝ FILTR

V článku je popsána pouze diferenční varianta filtru, která byla transformací vytvořena z nediferenční struktury. Jeho schéma zapojení je uvedeno na obr. 1. Filtrem lze realizovat pouze funkce typu iDP a PP. Zapojení je však výhodné z pohledu praktické realizace, která bude následovat. Obvod poskytuje možnost řídit mezní kmitočet pomocí změny transkonduktance, ale i pomocí proudového zesílení, čímž je zvětšeno jeho pásmo přeladitelnosti.



Obrázek 1: Diferenční přeladitelný kmitočtový filtr se dvěma MOTA a DACA

Levá strana charakteristické rovnice popisující chování obvodu má následující tvar:

$$\boldsymbol{CE} = \boldsymbol{p}^2 C_1 C_2 + 2\boldsymbol{p} C_1 A_2 g_{\mathrm{m2}} + 4 A_1 A_2 g_{\mathrm{m1}} g_{\mathrm{m2}}. \tag{1}$$

Přenosové funkce obvodu jsou dány následujícími vztahy:

$$\boldsymbol{K}_{\mathrm{iDP}} = \frac{\boldsymbol{I}_{\mathrm{iDP}}}{\boldsymbol{I}_{\mathrm{VST}}} = \frac{-4A_1A_2g_{\mathrm{m1}}g_{\mathrm{m2}}}{\boldsymbol{CE}},\ \boldsymbol{K}_{\mathrm{PP}} = \frac{\boldsymbol{I}_{\mathrm{PP}}}{\boldsymbol{I}_{\mathrm{VST}}} = \frac{2\boldsymbol{p}C_1A_1g_{\mathrm{m2}}}{\boldsymbol{CE}}. \tag{2}$$

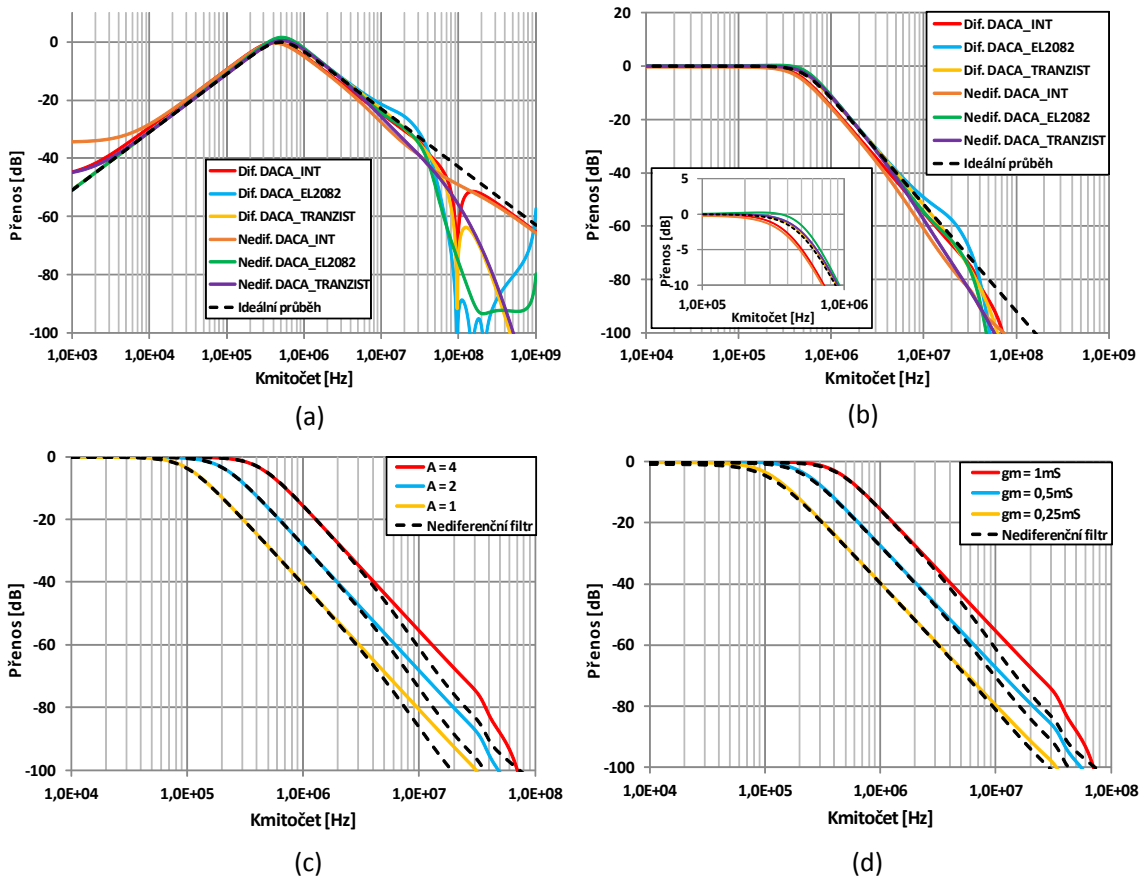
Pro správnou funkci filtru během přelaďování musí platit: $A = A_1 = A_2$ a $g_{\mathrm{m}} = g_{\mathrm{m1}} = g_{\mathrm{m2}}$. Vztahy pro úhlový kmitočet a činitel jakosti jsou následující: $\omega_0 = 2Ag_{\mathrm{m}}\sqrt{1/C_1C_2}$, $Q = \sqrt{C_2/C_1}$. Z rovnic vyplývá, že je úhlový kmitočet přeladitelný přímou uměrou pomocí zesílení A a také transkonduktance g_{m}, přičemž činitel jakosti zůstává nezměněn. Pro nastavenou transkonduktanci $g_{\mathrm{m}} = 1$ mS, zesílení $A = 4$ (odpovídající činitel jakosti $Q = 0,707$) a mezní kmitočet $f_0 = 500$ kHz byly určeny následující hodnoty kapacitorů: $C_{11} = C_{12} = 2C_1 = 7,5$ nF, $C_{21} = C_{22} = 2C_2 = 3,6$ nF. Přeladitelnost kmitočtu byla zvolena v rozsahu $f_0 = \{125;\ 500\}$ kHz pro odpovídající rozsah zesílení $A \in \{1;\ 4\}$ nebo transkonduktance $g_{\mathrm{m}} \in \{0,25;\ 1\}$ mS.

2.2 VÝSLEDKY SIMULACE V ORCADU

V grafu na obr. 2 je uvedena ukázka výsledků simulace filtračních funkcí diferenčního obvodu s různými simulačními modely prvku DACA v porovnání s výsledky nediferenčního filtru. Na vysokých kmitočtech nad 30 MHz se začínají projevovat parazitní vlastnosti prvku MOTA s transkonduktancí g_{m2} a také jednotlivých modelů prvku DACA. Nízký útlum v dolním pásmu je dán sníženou výstupní impedancí prvku DACA se zesílením A_2.

3 ZÁVĚR

V článku je uveden stručný popis návrhu jednoho z diferenčních kmitočtových filtrů vytvořených v rámci diplomové práce a jeho transformace z nediferenční struktury. Filtr má přeladitelný mezní kmitočet pomocí transkonduktance a/nebo proudového zesílení, čímž je zvětšen rozsah ladění. Ze získaných charakteristik je zřejmé, že nejvíce se teorii blíží filtr s modelem proudového zesilovače DACA_EL2082. Rovněž lze konstatovat, že diferenční varianta filtru se více blíží ideálnímu průběhu.



Obrázek 2: Výsledky simulace diferenčního filtru s různými modely prvku DACA v porovnání s výsledky nediferenčního filtru a ideálním průběhem: (a) modulová charakteristika filtrační funkce PP (b) modulová charakteristika filtrační funkce iDP. Ukázka přeladitelnosti mezního kmitočtu pro filtr s modelem DACA_INT: (c) pomocí zesílení A (d) pomocí transkonduktance g_{m}

REFERENCE

[1] DOSTÁL, Tomáš a Vladimír AXMAN. *Elektrické filtry: skripta*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002. 129 s.

[2] JEŘÁBEK, Jan. *Kmitočtové filtry s proudovými aktivními prvky* [online]. Brno, 2011 [cit. 25. 2. 2015]. Doktorská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Vrba, CSc.

[3] JERABEK, Jan, Jaroslav KOTON, Roman SOTNER a Kamil VRBA. Adjustable band-pass filter with current active elements: two fully-differential and single-ended solutions. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing* [online]. 2013, vol. 74, issue 1, s. 129-139 [cit. 20. 3. 2015]. DOI: 10.1007/s10470-012-9942-4.

[4] POLAK, Josef, Lukas LANGHAMMER a Jan JERABEK. Behavioral modeling of Digitally Adjustable Current Amplifier. *International Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems* [online]. 2015, vol. 4, issue 1 [cit. 20. 3. 2015]. DOI: 10.11601/ijates.v4i1.104.