

# DESIGN OF FULLY-DIFFERENTIAL FILTERS WITH SYNTHETIC HIGHER-ORDER ELEMENTS

**Milan Kubík**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkubik11@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Jeřábek

E-mail: jerabekj@feec.vutbr.cz

**Abstract:** Design of fully-differential frequency filters with synthetic higher-order elements in the current mode is presented in this contribution. Basic transformation cell was derived from the full admittance network. Transformation cell was used to implement synthetic elements of DP and EP type. Fully-differential lowpass filter with synthetic DP element and active component DACA and MO-CF is presented. PSpice simulation of the third order Butterworth filter is included.

**Keywords:** differential filter, synthetic element, current mode, DACA, MO-CF

## 1. ÚVOD

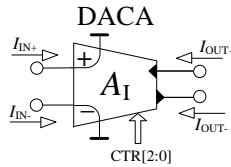
Při návrhu kmitočtových filtrů se syntetickými prvky vyšších řádů se využívá toho, že pokud zapojíme tyto prvky do kmitočtově závislých děličů napětí či proudu, můžeme tímto způsobem realizovat filtr požadovaného řádu [1], [2]. Syntetické prvky s imitancemi vyšších řádů jsou tvořeny sériovým nebo paralelním zapojením elementárních dvojpólů typu D nebo E. Existují čtyři základní soustavy těchto dvojpólů a to DP, EP, DS a ES. Jelikož syntetický prvek lze považovat za pasivní, může být použit v obvodech pracujících v napěťovém i v proudovém módu.

## 2. REALIZACE PLNĚ DIFERENČNÍHO FILTRU SE SYNTETICKÝM PRVKEM VYŠŠÍHO ŘÁDU

Na začátku navrhne nediferenční transformační článek realizující syntetický prvek příslušného typu (DP, EP nebo DS, ES). Poté tento článek převedeme na diferenční a následně dokončíme vlastní návrh diferenčního filtru. Nyní se vrátíme k prvnímu bodu návrhu. Při hledání vhodného transformačního článku se vychází ze vstupních impedancí respektive admitancí obvodu. S výhodou se pro nalezení transformačního článku využívají autonomní obvody s potřebným počtem aktivních a pasivních prvků. V tomto příspěvku je jako aktivní prvek použit digitálně říditelný proudový zesilovač DACA [3] (Digitally Adjustable Current Amplifier) a vícevýstupový proudový sledovač MO-CF [4] (Multiple Output Current Follower). Prvek DACA má dva diferenční (rozdílové) vstupy a dva diferenční výstupy. Jeho schematická značka je na obrázku 1. Prvek se vyznačuje tím, že na výstup nejen zrcadlí vstupní proud, ale také tento vstupní proud určitým způsobem zesiluje. Proudové zesílení prvku DACA se dá digitálně řídit a jeho maximální hodnota je  $A_1 = 8$ . Vnější popis prvku ve vztahu k proudovým svorkám lze vyjádřit pomocí následujících vztahů:

$$I_{OUT+} = A_1(I_{IN+} - I_{IN-}), \quad I_{OUT-} = -A_1(I_{IN+} - I_{IN-}), \quad (1)$$

kde  $A_1$  je proudové zesílení prvku,  $I_{IN+}$  a  $I_{IN-}$  jsou proudy vstupující do prvku a  $I_{OUT+}$  a  $I_{OUT-}$  jsou výstupní proudy, které jsou vůči sobě invertovány.

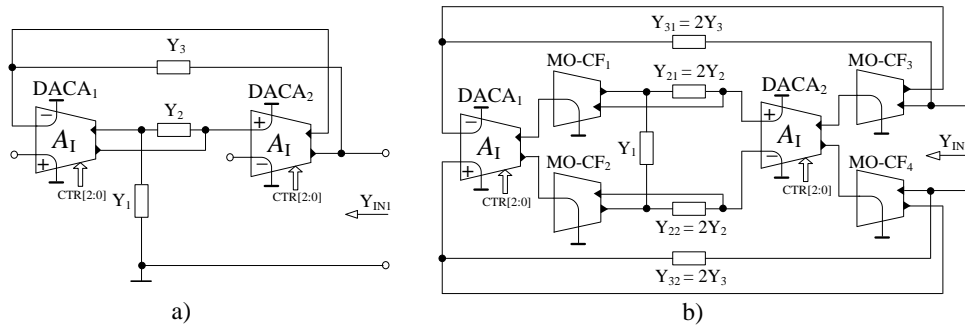


**Obrázek 1:** Schematická značka aktivního prvku DACA.

### 2.1. TRANSFORMAČNÍ ČLÁNEK

Na obrázku 2 je uvedeno zapojení navrženého nediferenčního a diferenčního transformačního článku vhodného pro realizaci syntetického prvku typu DP a EP se vstupními admitancemi pro jednotlivá zapojení

$$Y_{IN1} = (Y_1 Y_3 + Y_2 Y_3) / Y_2, \quad Y_{IN2} = (Y_1 Y_3 + Y_2 Y_3) / Y_2. \quad (2)$$



**Obrázek 2:** a) Nediferenční transformační článek typu DP a EP b) Diferenční varianta transformačního článku typu DP a EP

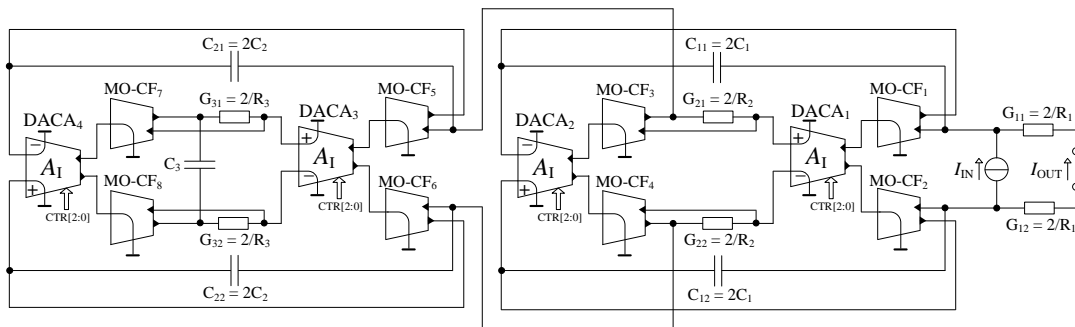
K navyšování řádu syntetického prvku bude použita admitance  $Y_1$  z obrázku 2.

### 2.2. NAVRŽENÝ DIFERENČNÍ FILTR

Pro ukázkou výsledného diferenčního filtru bylo vybráno zapojení dolní propusti třetího řádu realizované pomocí syntetického prvku typu DP z obrázku 2. Výsledné zapojení je uvedeno na obrázku 3. Přenosová funkce navrženého zapojení je

$$K_1 = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} = \frac{-G_1 G_2 G_3}{G_1 G_2 G_3 + p G_2 G_3 C_1 + p^2 G_3 C_1 C_2 + p^3 C_1 C_2 C_3}. \quad (3)$$

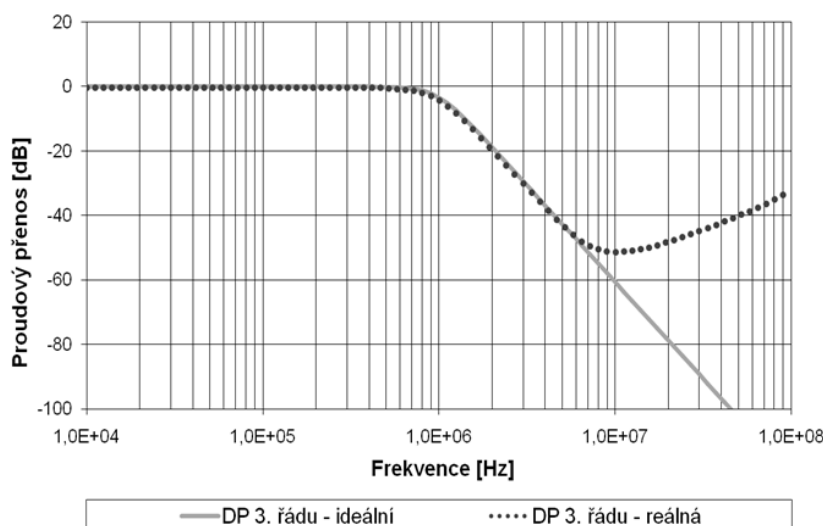
Aby přenosová funkce odpovídala výše uvedenému tvaru, musí být proudové zesílení prvků  $DACA_{1-4}$  nastaveno na  $A_I = 0,5$ . Hodnoty pasivních součástek byly spočítány pro nediferenční zapojení s mezním kmitočtem  $f_0 = 1$  MHz a Butterworthovu aproximaci. Bylo zvoleno  $C_1 = C_2 = C_3 = 68$  pF a dopočítány hodnoty rezistorů  $R_1 = 4680 \Omega$ ,  $R_2 = 2340 \Omega$  a  $R_3 = 1170 \Omega$ . Velikost použitých hodnot pasivních prvků v diferenčním zapojení je uvedena na obrázku 3.



**Obrázek 3:** Diferenční dolní propust třetího řádu realizovaná pomocí syntetického prvku typu DP

### 2.3. VÝSLEDKY SIMULACE

Na obrázku 4 jsou výsledky simulace provedené v programu OrCAD, zobrazující ideální a reálný průběh modulové kmitočtové charakteristiky dolní propusti třetího řádu, při použití makromodelů první a třetí úrovně aktivního prvku DACA a MO-CF. Model třetí úrovně postihuje především kmitočtově závislé vlastnosti proudových vstupů a výstupů. U proudových vstupů vstupní impedance s kmitočtem roste vlivem parazitních indukčností, zatímco u proudových výstupů s kmitočtem výstupní impedance klesá vlivem parazitních kapacit. Modul proudového přenosu u reálného průběhu simulovaného pomocí makromodelů třetí úrovně se zvyšuje oproti ideálnímu průběhu z toho důvodu, že se zde projevují především reálné vlastnosti vstupní impedance modelovaných aktivních prvků. Vnitřní struktura použitých makromodelů třetí úrovně je obsažena v [4].



**Obrázek 4:** Modulová kmitočtová charakteristika dolní propusti třetího řádu při použití makromodelu první a třetí úrovně aktivního prvku DACA a MO-CF

### 3. ZÁVĚR

V článku byl prezentován návrh diferenčního kmitočtového filtru pomocí syntetických prvků vyšších řádů. Byl prezentován diferenční a nediferenční transformační článek vhodný pro realizaci paralelního syntetického prvku typu DP a EP libovolného řádu. Na závěr je ukázáno zapojení diferenční dolní propusti třetího řádu realizované pomocí syntetického prvku typu DP včetně výsledku simulace (modulová kmitočtová charakteristika s ideálním i reálným modelem).

### REFERENCE

- [1] KOTON, J., VRBA, K.: Zobecněné metody návrhu kmitočtových filtrů. *Elektrorevue - Internetový časopis* (<http://www.elektrorevue.cz>), 2008, roč. 2008, č. 26, s. 1-17. ISSN: 1213-1539.
- [2] ŠPONAR, R.: Syntetické dvojpólové prvky s imitancemi vyšších řádů v kmitočtových filtrech s proudovými konvejory. *Elektrorevue – Internetový časopis*. 12. 3. 2004 Dostupné na internetu <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/04013/index.html>> ISSN: 1213-1539.
- [3] KOTON, J., HERENCŠÁR, N., JEŘÁBEK, J., VRBA, K.: Fully Differential Current-Mode Band-Pass Filter: Two Design Solutions, 33rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing – TSP 2010, p. 1-4, 2010.
- [4] JEŘÁBEK, J., VRBA, K.: Návrh přeladitelného kmitočtového filtru s proudovými aktivními prvky za pomoci metody grafu signálových toků. *Elektrorevue – Internetový časopis* (<http://www.elektrorevue.cz>), 2009, roč. 2009, č. 42, s. 1-7. ISSN: 1213-1539.