

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 414

ISSN 1213-4198



Ing. Radek Šponar

Napětové a proudové konvejory a jejich aplikace

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

Ing. Radek Šponar

**NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ KONVEJORY
A JEJICH APLIKACE**

**VOLTAGE AND CURRENT CONVEYORS AND
THEIR APPLICATIONS**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Teleinformatika
Školitel: Prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Oponenti: Doc. Dr. Ing. Josef Punčochář
Doc. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

Datum obhajoby: 3. května 2007

Klíčová slova:

napěťový konvektor
proudový konvektor
univerzální konvektor
behaviorální modelování
analogový kmitočtový filtr
proudový mód

Key Words:

Voltage Conveyor
Current Conveyor
Universal Conveyor
Behavioral Modeling
Analog Frequency Filter
Current Mode

Práce je k dispozici na Vědeckém oddělení děkanátu Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně, Údolní 53, Brno, 602 00

© Radek Šponar, 2007
ISBN 978-80-214-3427-1
ISSN 1213-4198

OBSAH

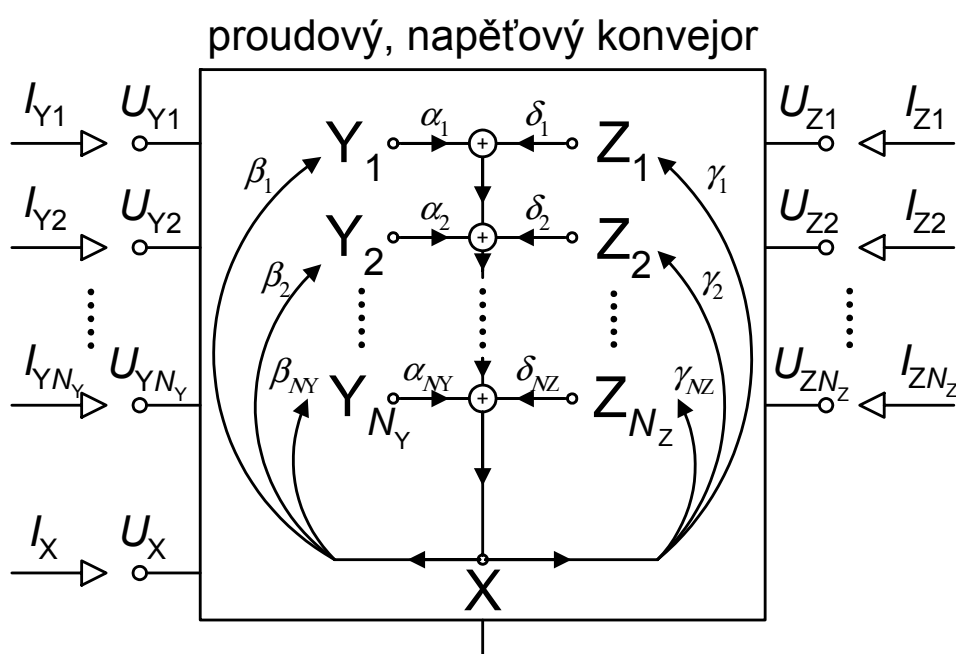
1	NOVÉ TYPY KONVEJORŮ A JEJICH OBVODOVÁ ŘEŠENÍ.....	5
1.1	Funkční principy konvejsorů.....	5
1.2	Univerzální konvejsory	6
1.3	Vnitřní struktury konvejsorů	8
1.3.1	<i>Proudové opakovače, inventory a diferenční sumátory.....</i>	<i>8</i>
1.3.2	<i>Bloková a obvodová struktura UC9.....</i>	<i>10</i>
2	MĚŘENÍ A BEHAVIORÁLNÍ MODELOVÁNÍ PROUDOVÝCH A NAPĚŤOVÝCH KONVEJORŮ	11
2.1	Měření střídavých vlastností konvejsorů.....	12
2.2	ABM modely konvejsorů 1., 2. a 3. úrovně	13
3	KMITOČTOVÉ FILTRY S KONVEJORY	14
3.1	Symbolické a numerické návrhy ARC filtrů s imitančními prvky	14
3.2	Návrh ARC filtru ekvivalentního pasivnímu prototypu	18
4	ZÁVĚR.....	21

1 NOVÉ TYPY KONVEJORŮ A JEJICH OBVODOVÁ ŘEŠENÍ

Konvektor je analogový aktivní prvek obsahující zdroje proudů řízené proudy a zdroje napětí řízené napětími s kladnými nebo zápornými jednotkovými přenosy. Brány řízených zdrojů označujeme jako vstupní a výstupní a tyto jsou nízkoimpedanční nebo vysokoimpedanční povahy. Konvektory rozdělujeme na dva základní typy – proudové a napětové; typ konvektoru určuje elektrickou veličinu, která je přenášena na výstupní svorky konvektoru.

1.1 FUNKČNÍ PRINCIPY KONVEJTORŮ

Zobecněný funkční princip proudového a napětového konvektoru je ukázán na obr. 1. Demonstrován je konvektor s jednou vstupně-výstupní bránou [1].



Obr. 1: Zobecněný funkční princip proudových a napětových konvektorů

Proudové konvektory a napětové konvektory jsou vzájemně duální prvky, u nichž jsou zaměněny proudové a napětové přenosy. Oba typy konvektorů zajišťují koncentraci jedné elektrické veličiny (napětí u CC, proudů u VC) a distribuci duální elektrické veličiny (napětí u VC, proudů u CC).

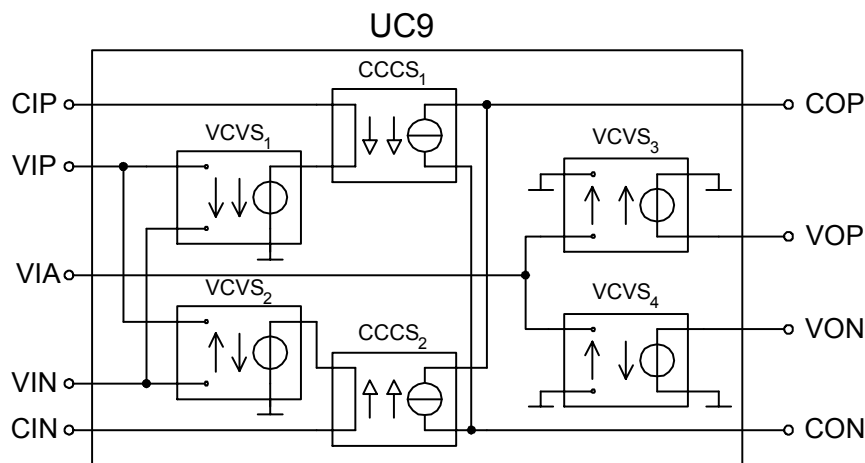
Základní přenosové vztahy jsou popsány následujícími rovnicemi [2]:

$$\text{CC: } U_X = \sum_{j=1}^{N_Y} \alpha_j U_{Y,j} + \sum_{k=1}^{N_Z} \delta_k U_{Z,k}, \quad I_{Y,j[1,N_Y]} = \beta_j I_X, \quad I_{Z,k[1,N_Z]} = \gamma_k I_X, \quad (1)$$

$$\text{VC: } I_X = \sum_{j=1}^{N_Y} \alpha_j I_{Y,j} + \sum_{k=1}^{N_Z} \delta_k I_{Z,k}, \quad U_{Y,j[1,N_Y]} = \beta_j U_X, \quad U_{Z,k[1,N_Z]} = \gamma_k U_X. \quad (2)$$

1.2 UNIVERZÁLNÍ KONVEJORY

Na základě poznatků při návrhu prvku UVC7 definujeme nový prvek – univerzální konvektor UC9 [13, 14] (Universal Conveyor) na obr. 2. Svou funkcí nahrazuje všechny proudové a napěťové konvektory se 3, 4 a 5 branami.



Obr. 2: Blokové schéma konvektoru UC9 1. úrovně

Lze definovat i rozšířenou variantu konvektoru UC9: třináctibran UC13. Prvek UC13 má navíc 2 diferenční proudové výstupy a 2 diferenční napěťové vstupy a umožňuje simulovat vlastnosti konvektorů DDCC a UCC.

Prvek UC9 resp. UC13 je vybaven těmito typy bran:

- VIP, VIN – pozitivní a negativní vstup napětí (v případě UC13 4 brány),
- CIP, CIN – pozitivní a negativní vstup proudu,
- VOP, VON – pozitivní a negativní výstup napětí,
- COP, CON – pozitivní a negativní výstup proudu (v případě UC13 4 brány),
- VIA – pomocný napěťový vstup.

Ideální přenosové funkce prvku UC9 jsou:

$$\begin{aligned} U_{CIP} &= \alpha_1 U_{VIP} + \alpha_2 U_{VIN}, U_{CIN} = \alpha_3 U_{VIN} + \alpha_4 U_{VIP}, \alpha_1 = \alpha_3 = +1, \alpha_2 = \alpha_4 = -1, \\ I_{COP} &= -I_{CON} = \gamma_1 I_{CIP} + \gamma_2 I_{CIN}, \gamma_1 = +1, \gamma_2 = -1, \\ U_{VOP} &= \varepsilon_1 U_{VIA}, U_{VON} = \varepsilon_2 U_{VIA}, \varepsilon_1 = +1, \varepsilon_2 = -1. \end{aligned} \quad (3)$$

Tab. 1 ukazuje význačné příklady ekvivalence konvektoru UC13 s různými typy proudových a napěťových konvektorů.

Tab. 1: Příklady aplikačních možností konveju UC13

konvejoř	brány Y	brány X	brány Z	propojeno	uzemněno	nezapojeno
CCI+/-	VIP1	CIP	COP1, CON1	COP2-VIP1	CON2, VIA, VIP2, VIN1,2	VOP, VON, CIN
ICCI+/-	VIP1	CIN	CON1, COP1	CON2-VIP1	COP2, VIA, VIP2, VIN1,2	VOP, VON, CIP
CCII+/-	VIP1	CIP	COP1, CON1	-	COP2, CON2, VIA, VIP2, VIN1,2	VOP, VON, CIN
ICCII+/-	VIN2	CIP	COP2, CON2	-	COP1, CON1, VIA, VIN1, VIP1,2	VOP, VON, CIN
CCIII+/-	VIN2	CIN	CON2, COP2	COP1-VIN2	CON1, VIA, VIP1,2, VIN1	VOP, VON, CIP
ICCIII+/-	VIN2	CIP	COP2, CON2,	CON1-VIN2	COP1, VIA, VIP1,2, VIN1	VOP, VON, CIN
DVCCII+/-	VIP1, VIN1	CIP	COP1, CON1	-	COP2, CON2, VIA, VIP2, VIN2	VOP, VON, CIN
*DDCCII +/-/+/-	VIN2, VIP2, VIN1	CIN	CON1, COP1, CON2, COP2	-	VIA, VIP1	VOP, VON, CIP
UCC	VIP1, VIN1, VIN2	CIP	COP1, CON1, COP2, CON2	-	VIA, VIP2	VOP, VON, CIN
VCI+/-	CIP	COP	VOP, VON	VIA-COP VIP1-COP	VIP2, VIN1, VIN2, CON	CIN
IVCI+/-	CIP	CON	VOP, VON	VIA-CON, VIP2-CON	VIP1, VIN1, VIN2, COP	CIN
VCII+/-	CIP	COP	VOP, VON	VIA-COP	VIP1, VIP2, VIN1, VIN2, CON	CIN
IVCII+/-	CIN	COP	VOP, VON	VIA-COP	VIP1, VIP2, VIN1, VIN2, CON	CIP
VCIII+/-	CIN	CON	VOP, VON	VIA-CON, VIN1-CON	VIP1, VIP2, VIN2, COP	CIP
IVCIII+/-	CIN	COP	VOP, VON	VIA-COP, VIN2-COP	VIP1, VIP2, VIN1, CON	CIP
DCVCII+/-	CIP, CIN	COP	VOP, VON	VIA-COP	VIP1, VIP2, VIN1, VIN2, CON	-
UVC	CIP, CIN	COP	VOP, VON	VIA-COP, VIP1=W [#]	VIP2, VIN1, VIN2, CON	-

Poznámka [#]: brána W prvku UVC je totožná s bránou VIP1 prvku UC13.

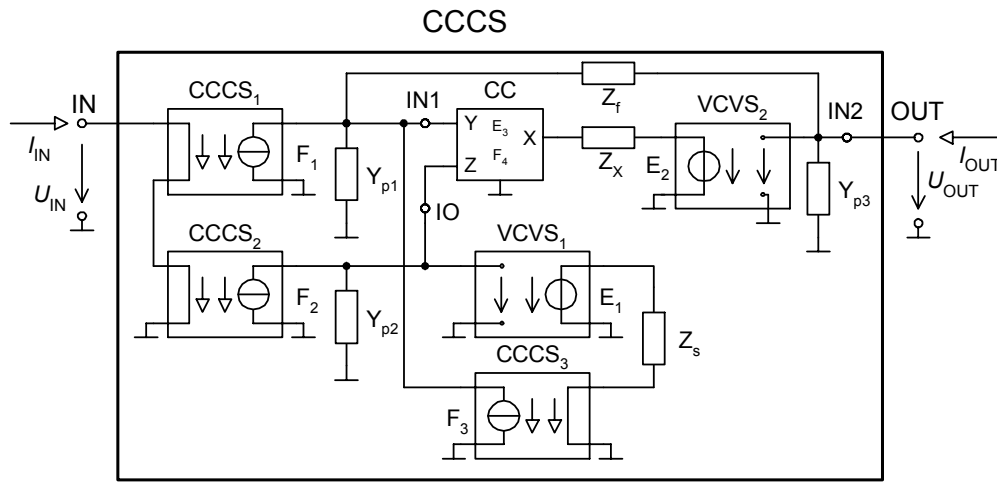
Konvejoř označený * dosud nebyl nikde publikován. Prvek UC13 zahrnuje i další dosud nepopsané konvejořy vyšších řádů a s větším počtem vstupních a výstupních bran.

1.3 VNITŘNÍ STRUKTURY KONVEJORŮ

Struktury konvektorů se skládají z řízených zdrojů typu VCVS a CCCS a jejich návrh má zajistit široké frekvenční pásmo přenosů a také kvalitní branové imitance (nízké impedance napěťových výstupů a proudových vstupů a vysoké impedance proudových výstupů a napěťových vstupů).

1.3.1 Proudové opakovače, inventory a diferenční sumátory

Struktura plovoucího proudového snímače byla využita ve struktuře proudového opakovače na obr. 3 [11].



Obr. 3: Proudový opakovač se snímačem proudu s plovoucím vstupem

Přenosy proudů, impedance plovoucího vstupu a uzemněná admitance vstupu při odpojeném protějším vstupu snímače proudu na obr. 3 jsou:

$$\begin{aligned}
 K_{I,1-2} &= \frac{I_{IN2}}{I_{IN1}} = \frac{M_1}{D_1} = \frac{E_2 E_3 F_3 F_4}{E_2 E_3 F_1 F_4 + Y_{p1} Y_{p3} Z_{X1} Z_{X2}}, K_{I,1-IO} = \frac{I_{IO}}{I_{IN1}} = \frac{M_2}{D_1} = K_{I,1-2} \frac{F_2}{F_3}, \\
 K_{I,2-1} &= \frac{I_{IN1}}{I_{IN2}} = \frac{M_3}{D_2} = \frac{E_1 E_2 F_1 F_4}{E_1 E_2 F_3 F_4 - Y_{p1} Y_{p2} Z_{X1} Z_{X2}}, K_{I,2-IO} = \frac{I_{IO}}{I_{IN2}} = \frac{M_4}{D_1} = K_{I,2-1} \frac{F_2}{F_1}, \\
 Y_{IN2,IN1-OPEN} &= \frac{C_1}{D_1} = \frac{D_1 Y_{p2} - E_1 E_2 F_3 F_4 Y_{p3}}{D_1}, Y_{IN1,IN2-OPEN} = \frac{C_2}{D_2} = \frac{D_2 Y_{p3} - E_2 E_3 F_1 F_4 Y_{p2}}{D_2}, \\
 Z_{IN1-IN2} &= \frac{A}{C_3} = \frac{E_2 F_4 (E_1 - E_3) (F_1 + F_3) - Y_{p1} Z_{X1} Z_{X2} (Y_{p2} + Y_{p3})}{E_2 F_4 (E_1 F_3 Y_{p3} - E_3 F_1 Y_{p2}) - Y_{p1} Y_{p2} Y_{p3} Z_{X1} Z_{X2}}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Pokud $(Y_{p1} = Y_{p2} = Y_{p3} = Y_p) \ll ((Z_{X1})^{-1} = (Z_{X2})^{-1})$ a $E_1 = E_3 = E_{1-3}$, $F_1 = F_3 = F_{1-3}$, pak dostaneme zjednodušení

$$\begin{aligned}
 K_{I,1-2} &= \frac{F_3}{F_1}, K_{I,1-IO} = \frac{F_2}{F_1}, K_{I,2-1} = \frac{F_1}{F_3}, K_{I,2-IO} = \frac{F_2}{F_3}, \\
 Y_{IN2,IN1-OPEN} &= Y_{p2} - Y_{p3} \left(\frac{E_1 F_3}{E_3 F_1} \right), Y_{IN1,IN2-OPEN} = Y_{p3} - Y_{p2} \left(\frac{E_3 F_1}{E_1 F_3} \right), Z_{IN1-IN2} = \frac{Y_p Z_{X1} Z_{X2}}{E_{1-3}^2 F_{1-3}^2}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Při $E_1 = E_2 = E_3 = F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 1$, $Z_{X1} = Z_{X2} = 10 \Omega$, $Z_{p1} = Z_{p2} = Z_{p3} = 1 \mu S$ je $K_{I,1-2} = K_{I,2-1} = +1$, $Y_{IN2,IN1-OPEN} = Y_{IN1,IN2-OPEN} \approx 0 S$, $Z_{IN2,IN1} = 0,1 m\Omega$.

Kompletní proudový opakovací či invertor s snímačem výstupního proudu na obr. 3 vykazuje proudový přenos a výstupní admitanci:

$$K_I = \frac{F_1 Z_s Y_{p1} - E_1 F_2 F_3}{Z_s Y_{p1} (1 + Z_f Y_{p2}) + E_1 E_3 F_3 F_4 Z_f Z_X^{-1}},$$

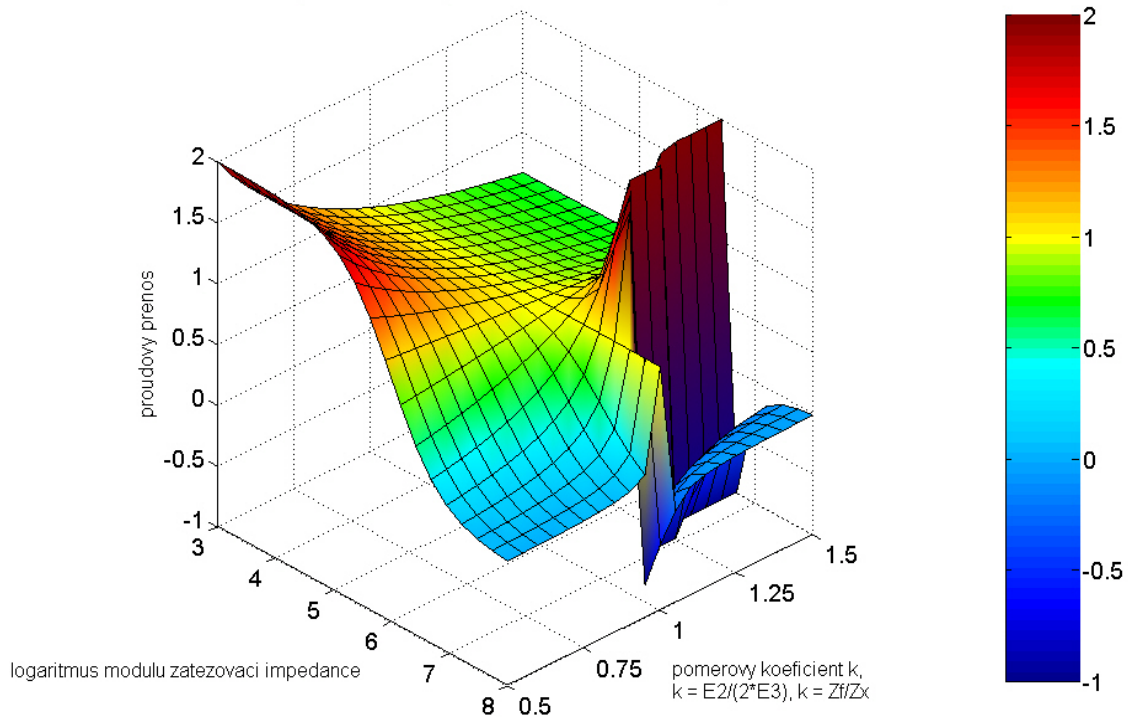
$$Y_{OUT} = \frac{Y_{p3} Z_s Z_X (1 + Y_{p2} Z_f) + E_1 E_3 F_3 F_4 Z_f}{Y_{p3} Z_s Z_X (Y_{p2} + Y_{p2} Y_{p3} Z_f + Y_{p3}) + E_1 E_3 F_3 F_4 (1 - E_2 E_3^{-1} + Y_{p3} Z_f)}.$$
(6)

Při zajištění $\max\{Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}\} \ll (Z_s)^{-1}$ dostaneme

$$K_I = \frac{-F_2}{E_3 F_4 Z_f Z_X^{-1}} = -\frac{1}{E_3} \frac{F_2}{F_4}, \quad Y_{OUT} = Z_f^{-1} \left(1 - \frac{E_2}{E_3} + Y_{p3} Z_f \right).$$
(7)

Obr. 4 ukazuje, jak se přenos CCCS z obr. 3 mění při uvažování reálných tolerancí dílčích přenosů a imitancí. Parametry simulace jsou: $Y_{p1} = Y_{p2} = Y_{p3} = Y_p = 1 \mu S$, $Z_s = 10 \Omega$, $Z_X = 1 M\Omega$, $E_1 = E_3 = F_1 = F_3 = F_4 = 1$, $F_2 = -1$, $Z_L = 1 k\Omega$. Nezávisle proměnnými jsou poměrový koeficient $k = E_2/(2E_3) = Z_f/Z_X$. Dále byla provedena simulace výstupní impedance $Z_{OUT} = (Y_{OUT})^{-1}$, kdy nezávisle proměnnými je poměrový koeficient $k = E_2/(2E_3)$ a poměrový koeficient $m = Z_f \cdot Y_p$.

Zavislost nizkofrekvenčního proudového přenosu CCCS na reálných vlastnostech dílčích bloků



Obr. 4: Závislost absolutního proudového přenosu K_I na modulu zatěžovací impedance Z_L a poměrovém koeficientu k

Při běžné relativní toleranci $k \pm 2 \%$ [3] a Z_{out} dílčího CCCS $1 M\Omega$ je výstupní impedance celého CCCS větší než $15 M\Omega$; při $\pm 1 \%$ větší než $32 M\Omega$ a při $\pm 0,5 \%$ větší než $67 M\Omega$.

Tab. 2: Souhrn teoretických kmitočtových vlastností proudového opakováče

impedance Z_L přenos/kmitočet	0-100 Ω	1 k Ω	10 k Ω	100 k Ω	1 M Ω	10 M Ω
-3 dB	$\approx 1,48$ GHz	1,20 GHz	810 MHz	543 MHz	304 MHz	123 MHz
-20 dB	$\approx 1,95$ GHz	1,65 GHz	1,13 GHz	731 MHz	446 MHz	245 MHz
kmitočet/ impedance Z_{OUT}	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz	2 GHz
modul [Ω]	$\approx 1T$	$\approx 316G$	$\approx 3,55G$	15,6M	2,60k	432
fáze [$^\circ$]	159	55	-7	-88	117	-85

Udávané hodnoty představují teoretické maximum. Vlivem relativní tolerance parametrů dílčích bloků struktury CCCS (matching) lze očekávat nejvyšší mezní kmitočty do vyšších stovek MHz a modul výstupní impedance v řádu stovek M Ω .

1.3.2 Bloková a obvodová struktura UC9

Blokové schéma navrženého devítibranového univerzálního konveju je znázorněno na obr. 5 [13].

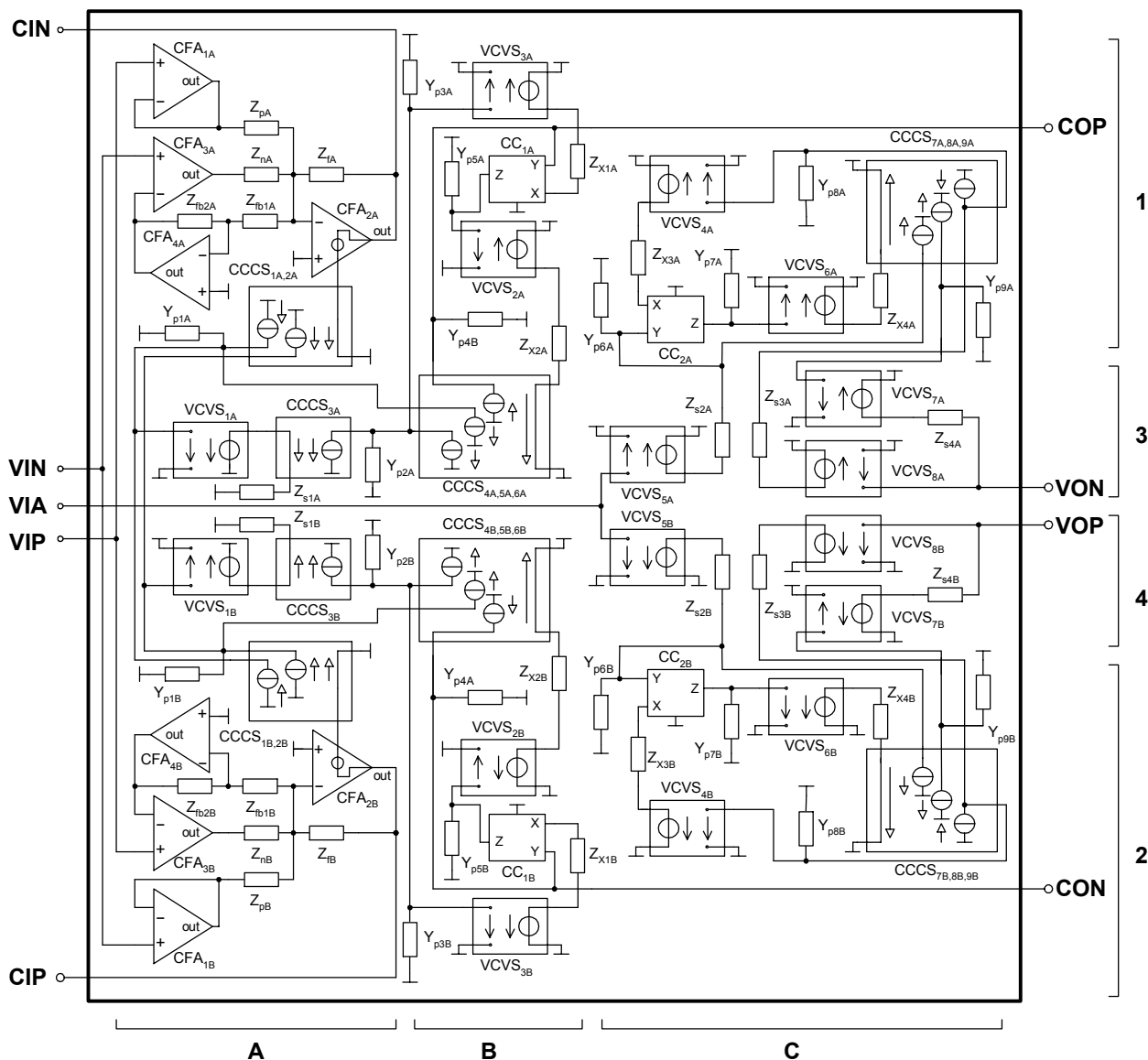
Struktura UC9 je téměř symetrická; oblast „1“ odpovídá oblasti „2“ a oblast „3“ odpovídá oblasti „4“. Symetrie struktury je porušena existencí diferenčních vstupních a výstupních bran a tedy přítomností dílčích řízených zdrojů s opačnými jednotkovými přenosy.

Princip činnosti konveju UC9 spočívá v implementaci zpětných vazeb popsaných v kap. 1.3.1 a shrnutých v tab. 3. Výsledné napěťové a proudové přenosy a také branové imitance UC9 jsou v některých případech jakostnější než ekvivalentní veličiny dílčích řízených zdrojů.

Tab. 3: Koordináty funkčních bloků konveju UC9 na obr. 5

oblast	popis funkčního bloku
1A, 2A	napěťový sumátor s diferenčními vstupy VIP, VIN a výstupy CIP, CIN, snímač proudu výstupních svorek
3A, 4A	proudový sumátor s diferenčními vstupy CIP, CIN a diferenčními výstupy COP, CON
13B, 24B	zpětnovazební plovoucí snímač proudu výstupní diferenční brány COP, CON
3C, 4C	napěťový invertor a opakováč mezi vstupní branou VIA a výstupními branami VON, VOP
1C, 2C	zpětnovazební plovoucí snímač proudu zdroje chybového napětí invertoru a opakováče 3C, 4C

Výsledky dílčích simulací přenosů a branových imitancí konveju UC9 jsou patrné z tab. 2 v kapitole 1.3.1.



Obr. 5 Blokové schéma devítibranového univerzálního konveju UC9

2 MĚŘENÍ A BEHAVIORÁLNÍ MODELOVÁNÍ PROUDOVÝCH A NAPĚŤOVÝCH KONVEJORŮ

Behaviorální modelování proudových a napěťových konveju je způsob vytváření modelů konveju na základě měření jejich stejnosměrného i střídavého chování. Zkratkou ABM (Analog Behavioral Modeling) označujeme proces analogového behaviorálního modelování [4, 5]. Každý konveju musí poskytovat minimálně jeden napěťový přenos (+1, -1) a jeden proudový přenos (+1, -1). Řízený zdroj typu VCVS má vysokoimpedanční vstup a nízkoimpedanční výstup. Naopak řízený zdroj typu CCCS má nízkoimpedanční vstup a vysokoimpedanční výstup. Společný uzel obou řízených zdrojů může být nízkoimpedanční povahy (proudový konveju - CC) nebo vysokoimpedanční povahy (napěťový konveju - VC). Všechny napěťové a proudové přenosy jako i impedance (odpory) všech bran konveju musí být změřeny stejnosměrně i v co nejširším kmitočtovém rozsahu.

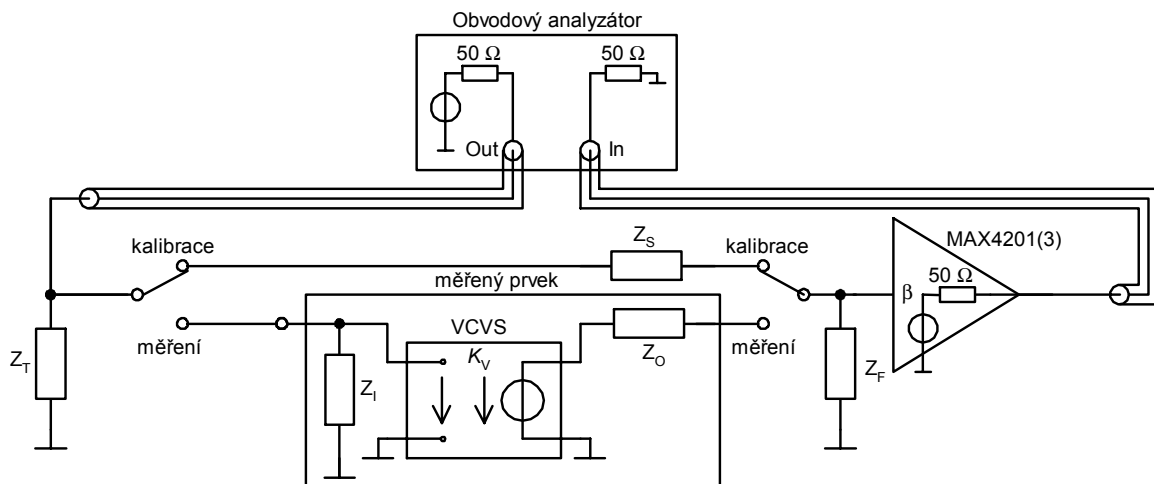
2.1 MĚŘENÍ STŘÍDAVÝCH VLASTNOSTÍ KONVEJORŮ

Schéma měření střídavých napěťových přenosů je ukázáno na obr. 6 [16]. Přenos kalibrační a měřicí smyčky je vyjádřen jako:

$$K_{U,CAL} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} \beta, \quad K_{U,MEA} = K_{U,CAL} \frac{Z_F}{Z_F + Z_O} \beta, \quad \beta \approx +1. \quad (8)$$

Přenos vztažený ke zvolené kalibraci a výsledný napěťový přenos pak je

$$K_{U,OUT} = \frac{K_{U,MEA}}{K_{U,CAL}} = K_U \frac{Z_S + Z_F}{Z_O + Z_F} \Rightarrow K_U = K_{U,OUT} \frac{Z_O + Z_F}{Z_S + Z_F}. \quad (9)$$



Obr. 6: Schéma měření střídavých napěťových přenosů

Uspokojivých výsledků měření je dosaženo, pokud $Z_I > 1000 \cdot Z_T$, $Z_O < Z_F/1000$, $Z_S < Z_F/1000$. Pokud předpokládáme, že $Z_I \approx 50 \text{ M}\Omega \parallel 7 \text{ pF}$, $Z_F \approx 500 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ pF}$, $Z_S \approx 5 \Omega$, $Z_O > 30 \Omega + 3 \mu\text{H}$ [6], pak stejnosměrná a nízkofrekvenční chyba napěťového přenosu je menší než 50 ppm.

Při měření proudových přenosů je přenos kalibrační a měřicí smyčky:

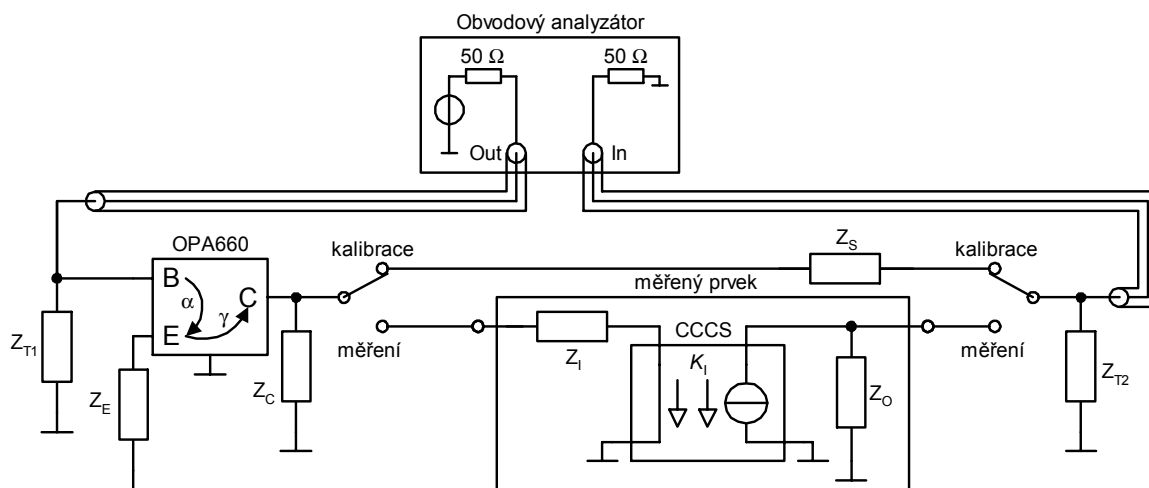
$$K_{I,CAL} = -\alpha\gamma \frac{Z_C Z_{T2}}{Z_C + Z_{T2} + Z_S}, \quad \alpha \approx +1, \gamma \approx +1, \quad K_{I,MEA} = \frac{\alpha\gamma K_I}{Z_E} \frac{Z_C}{Z_C + Z_I} \frac{Z_O}{Z_O + Z_{T2}}. \quad (10)$$

Přenos vztažený ke zvolené kalibraci a výsledný proudový přenos je potom

$$K_{I,OUT} = \frac{K_{I,MEA}}{K_{I,CAL}} = -K_I \frac{Z_O (Z_C + Z_{T2} + Z_S)}{(Z_O + Z_{T2})(Z_C + Z_I)} \Rightarrow K_I \approx -K_{I,OUT} \left(1 + \frac{Z_I}{Z_C} \right). \quad (11)$$

Je nutné zajistit $Z_I < Z_C/100$, $Z_S < Z_C/100$, $Z_O > 100 \cdot Z_{T2}$. Běžné hodnoty jsou: $Z_E = 50 \Omega \parallel 6 \text{ pF}$, $Z_{T2} \approx 51 \Omega$, $Z_I > 30 \Omega + 3 \mu\text{H}$, $Z_O < 250 \text{ k}\Omega \parallel 6 \text{ pF}$ [6], $Z_S \approx 5 \Omega$, $Z_C < 25 \text{ k}\Omega \parallel 5 \text{ pF}$ [7]. Stejnosměrná a nízkofrekvenční chyba proudového přenosu je přibližně 0,1 %.

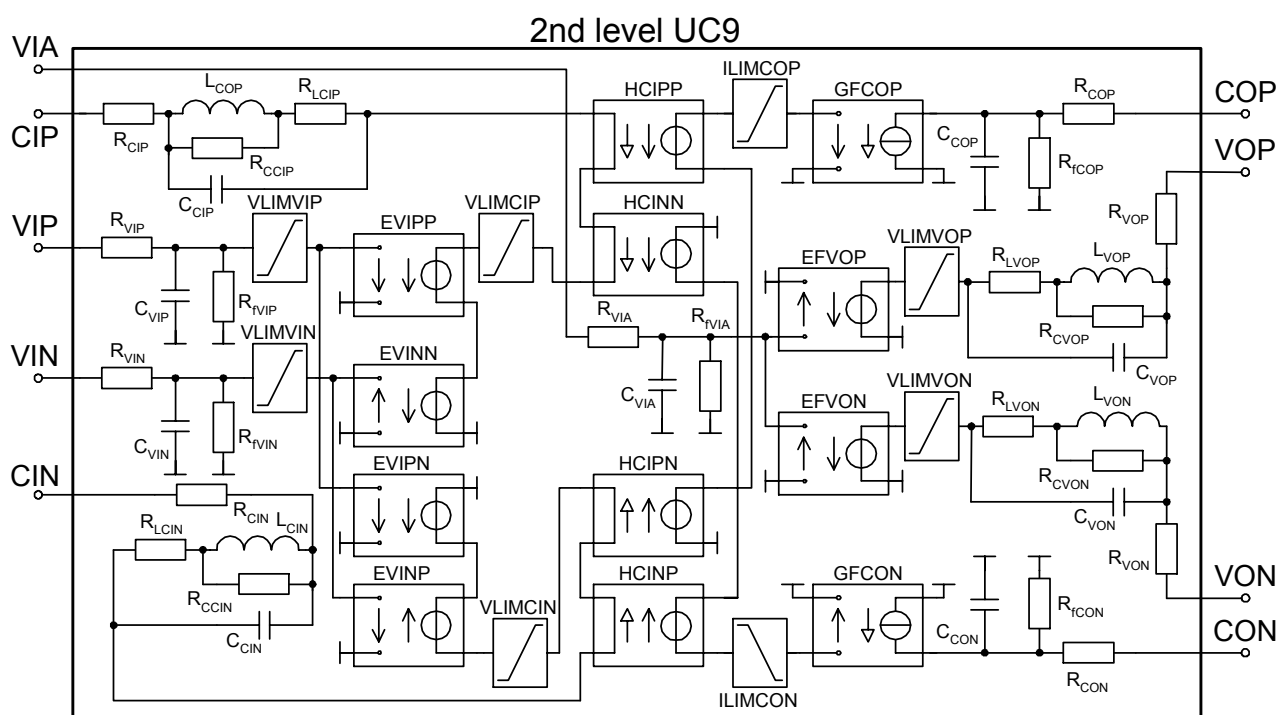
Schéma měření střídavých proudových přenosů je na obr. 7.



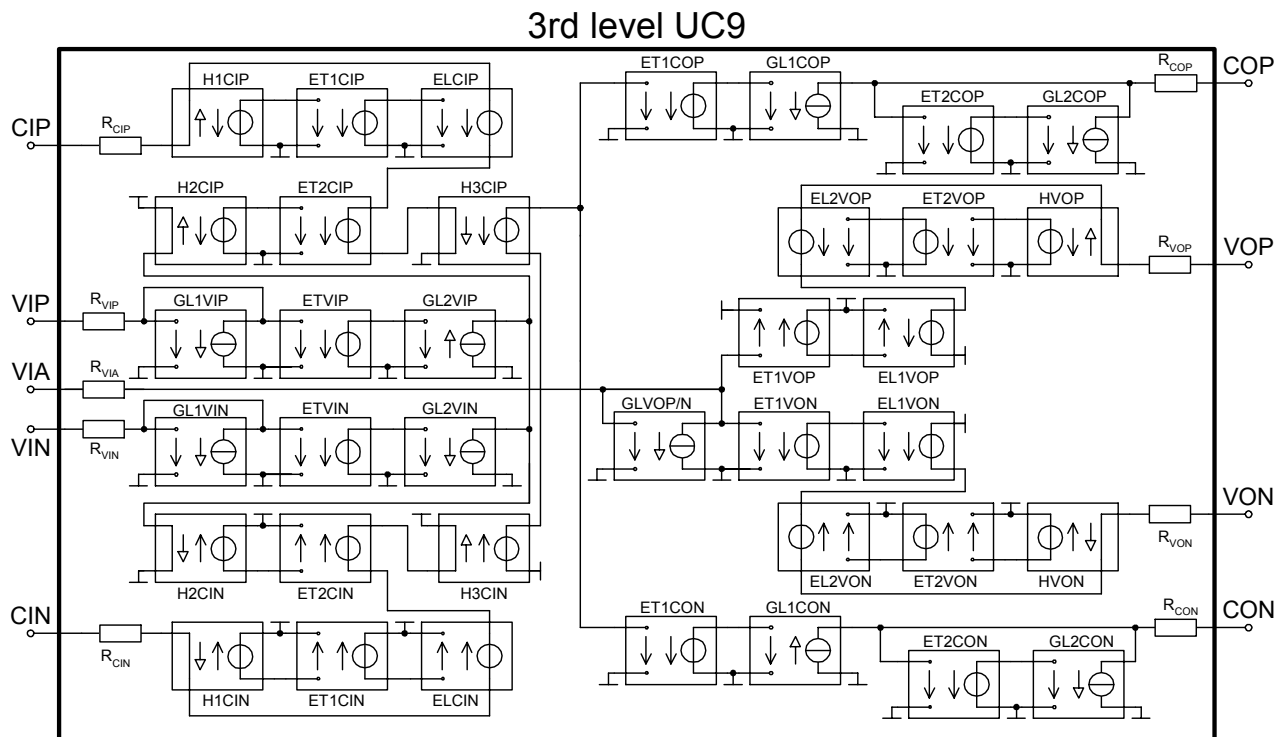
Obr. 7: Schéma měření střídavých proudových přenosů

2.2 ABM MODELÝ KONVEJORŮ 1., 2. A 3. ÚROVNĚ

Model 1. úrovně konveju UC9 je uveden na obr. 2. Obr. 8 a 9 zachycují model konveju UC9 2. a 3. úrovně [17]. Z obr. 5 je patrná podélná symetrie struktury UC9, kdy horní resp. spodní část zajišťuje pozitivní resp. negativní napěťové a proudové přenosy.



Obr. 8: Model konveju UC9 2. úrovně

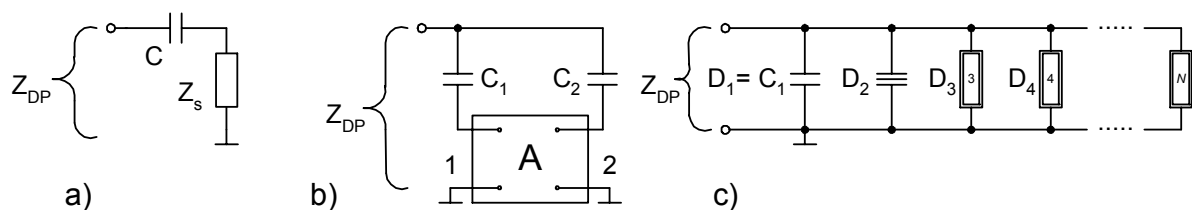


Obr. 9: Model konveju UC9 3. úrovně

3 KMITOČTOVÉ FILTRY S KONVEJORY

3.1 SYMBOLICKÉ A NUMERICKÉ NÁVRHY ARC FILTRŮ S IMITANČNÍMI PRVKY

Zapojení stejnosměrně přesné napěťové dolní propusti s operačními zesilovači [8] lze zobecnit na úroveň spojování imitančních prvků. Stejnosměrná přesnost filtru spočívá v kapacitním oddělení brány syntetického prvku od vnitřního zapojení s aktivními prvky (generujícími stejnosměrné napěťové a proudové offsety). Dvě schémata vytvoření syntetického prvku jsou ukázána na obr. 10 a), b).



Obr. 10: Struktury syntetického prvku $DP-1N_{Dmax}$: a) vazba přes jeden kapacitor, b) vazba přes dva kapacitory, c) obecné blokové schéma

Impedance syntetického prvku Z_s na obr. 10 a) a přenos proudového děliče ($Z_2 = R$, $Y_1 = Y_{DP-1NDmax}$, ostatní imitance Z , Y nulové) jsou:

$$Z_s = \frac{C - \sum_{i=1}^{N_{Dmax}} D_i p^{i-1}}{C \cdot \left(\sum_{j=1}^{N_{Dmax}} D_j p^j \right)}, \quad K_i = - \frac{1}{1 + R \cdot \left(\sum_{j=1}^{N_{Dmax}} D_j p^j \right)}. \quad (12)$$

Prvek s impedancí $\mathbf{Z}_s$ se vytvoří násobením imitance prvku DP-1 N_{Dmax} s imitancí prvku ES-0 $N_{Emax} - 1$, přičemž prvek ES vznikne z prvku DP imitanční inverzí.

Impedance $\mathbf{Z}_{DP}$ syntetického prvku na obr. 10 b) a vlastnosti dvojbranu popsaného postupnou kaskádní maticí $\mathbf{A}$ jsou:

$$\mathbf{Z}_{DP} = \frac{1}{p(C_1 + C_2) + p^2 \frac{C_1 C_2}{a_{21}}}, \quad a_{11} = a_{22} = a_{12} = 0, \quad a_{21}^{-1} = \frac{U_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = - \sum_{j=0}^{N_{Dmax}-2} D_j p^j. \quad (13)$$

Naznačený syntetický prvek typu DP lze využít i v stejnosměrně přesných pásmových zádržích. Speciální transformační článek pro vytvoření syntetického prvku DP-1 N_{Dmax} se strukturou na obr. 10 b) se vyznačuje branovou admitancí:

$$Y_{in} = Y_{11} + Y_{21} + \sum_{i=1}^M \frac{\alpha_{22}}{\alpha_{12}} Y_{3i} \frac{\prod_{j=1}^{2i} \alpha_{1i} \gamma_{1i} \prod_{j=1}^i Y_{1j} Y_{2j}}{\prod_{j=1}^i Y_{4j} Y_{5j}}. \quad (14)$$

Pokud na pozici Y_{ij} ($j = 1, \dots, M; i = 1, 2, 3$) zapojíme kapacitory C_{ij} a na pozice Y_{ij} ($j = 1, \dots, M; i = 3, 4, 5$) rezistory R_{3j} , R_{1j} , a R_{2j} , pak výraz pro branovou admitanci syntetického prvku DP1- N_{Dmax} je:

$$Y_{in} = p(C_{11} + C_{21}) + \sum_{i=1}^M p^{2i} \left(\left(\frac{1}{R_{3i}} + pC_{3i} \right) \prod_{j=1}^i (C_{1j} C_{2j} R_{1j} R_{2j}) \right). \quad (15)$$

Maximální řád imitance prvku DP je $2 \cdot M + 1$, kde M je počet transformačních sekcí. Sekce je tvořena UVC_{2i} , UVC_{2i-1} , R_{ki} , C_{ki} ($k = 1, 2, 3; i = 1, 2, \dots, 2 \cdot M$).

Syntetický prvek DP s admitancí (15) je uplatněn ve stejnosměrně přesné polynomiální dolní propusti řádu N v proudovém módu. Přenosová funkce je:

$$K_i = - \frac{1}{\sum_{m=1}^M p^{2m} \left(pC_{3m} R_0 + \frac{R_0}{R_{3m}} \right) \prod_{k=1}^2 \prod_{j=1}^m (C_{kj} R_{kj}) + pR_0 (C_{11} + C_{21}) + 1}, \quad (16)$$

kde $M = (N - \text{mod}(N/2))/2$. Asymetrický lineární člen jmenovatele K_i je důsledkem zapojení syntetického prvku na obr. 10 s požadavkem na velmi přesný jednotkový stejnosměrný přenos proudu.

Pro sudý řád filtru je $R_{3M} = \infty \Omega$, $C_{3M} = 0 \text{ F}$.

Specifikace selektivních vlastností filtru:

- dolní propust s mezním kmitočtem 4,43 MHz (při mezním útlumu 3 dB), útlum propustného pásma do 1 dB, aproximace 5. řádu dle Čebyševa 1. typu,
- nepropustné pásmo od 10 MHz s minimálním útlumem 50 dB,
- skupinové zpoždění $< 1 \mu\text{s}$, doba ustálení odezvy na jednotkový skok $1,2 \mu\text{s}$,
- přenosové koeficienty: $a_5 = a_4 = a_3 = a_2 = a_1 = 0, b_5 = 4,87 \cdot 10^{-37}, b_4 = 1,27 \cdot 10^{-29}, b_3 = 6,37 \cdot 10^{-22}, b_2 = 1,02 \cdot 10^{-14}, b_1 = 1,70 \cdot 10^{-7}, a_0 = b_0 = 1$.

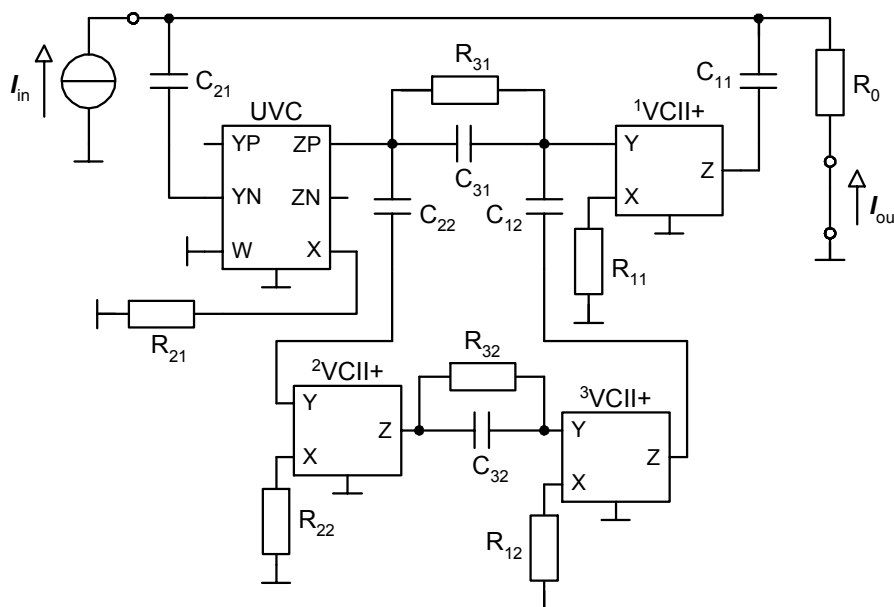
Provedeme optimalizaci filtru vzhledem k rozptylu parametrů pasivních součástek podle těchto instrukcí:

- nejdříve volíme zjednodušení: $R_{11} = R_{21} = R_{31} = R_1$, $C_{11} = C_{21} = C_{31} = C_1$, $R_{12} = R_{22} = R_{32} = R_2$, $C_{12} = C_{22} = C_{32} = C_2$; C_2 a R_0 jsou nezávislé proměnné,
- zobrazíme závislost dekadického logaritmu maxima rozptylu všech R a C na logaritmech R_0 a C_2 ,
- nalézáme minimum rozptylu $10^{0,18} = 1,15$ a definujeme doporučení pro rozptyl menší $10^{0,3} = 2,0$ jako:

$$C_{\min} = \frac{1}{R_0 \cdot 10^{7,36}} < C_2 < \frac{1}{R_0^{0,95} \cdot 10^{7,29}} = C_{\max}, \quad \frac{C_{\max}}{C_{\min}} = 1,175 \cdot R_0^{0,05}.$$

- volíme běžnou výchozí hodnotu $C_2 = 0,1$ nF a obdržíme $R_0 = 589 \Omega$,
- zjišťujeme, že pro téměř optimální návrh je iterativně modifikovat uvedené rovnosti pro C_2 a R_1 : $C_{12} = C_{22} = C_2/m_C$, $m_C = 1,1543$, $R_{11} = R_{21} = 1,3862 \cdot R_1$,
- volíme hodnoty R a C : $R_0 = 560 \Omega$, $R_{11} = R_{21} = 560 \Omega$, $R_{31} = R_1 = 470 \Omega$, $R_{12} = R_{22} = R_{32} = 390 \Omega$, $C_{11} = C_{21} = C_{31} = 150$ pF, $C_{12} = C_{22} = C_{32} = 100$ pF,
- skutečný rozptyl R je $k_R = 1,40$ [-] a skutečný rozptyl C $k_C = 1,83$ [-].

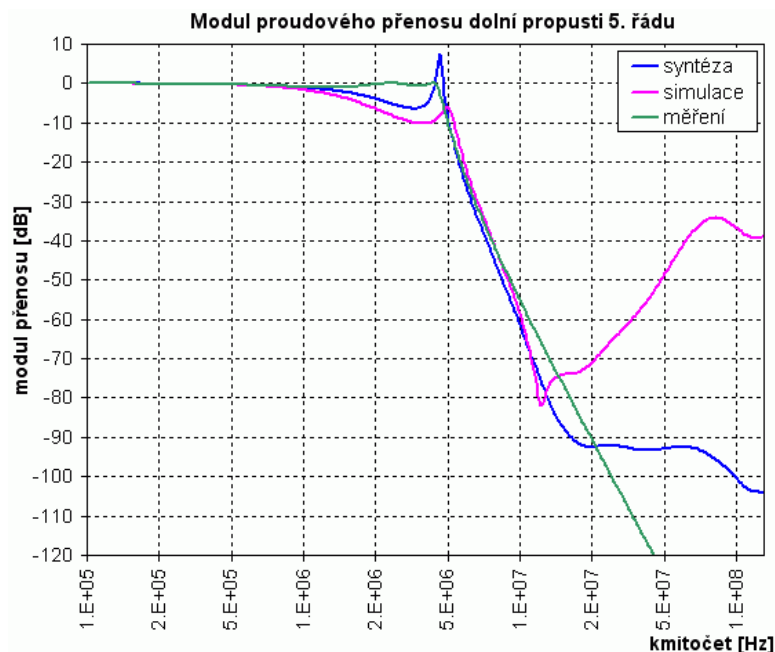
Obr. 11 ukazuje obvodové schéma navrženého filtru a jeho modulové kmitočtové charakteristiky. Jako prvek UVC je použit experimentální konvektor UVC 0350. Funkci konvektorů VCII+ splňují komerčně dostupné konvejory OPA660.



Obr. 11 Schéma stejnosměrně přesné dolní propusti

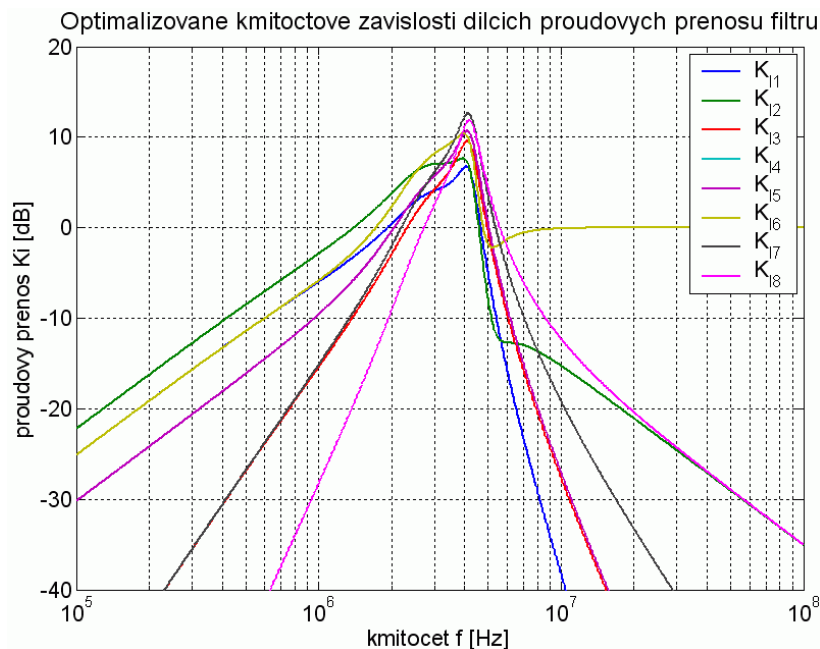
Výpočet parametrů pasivních prvků filtru je veden s cílem optimalizovat rozptyl odporů a kapacit, minimalizovat relativní citlivost proudového přenosu na změny parametrů pasivních prvků podle [9] a maximalizovat dynamický rozsah filtru.

Ze srovnání navrženého, simulovaného a měřeného proudového přenosu na obr. 12 je patrný vliv vnitřních přenosů konvektorů a imitancí jejich bran. Výhodou je absolutně nulová citlivost přenosu na jakýkoli parametr pro stejnosměrný stav, jak vyplývá z přenosového vztahu (16).



Obr. 12: Kmitočtové modulové charakteristiky stejnosměrně přesné dolní propusti

Dynamické poměry uvnitř struktury filtru zachycuje obr. 13. Jsou zobrazeny dílčí proudové přenosy (z proudového vstupu na proudy vnitřních větví). Simulovat lze také transimpedance (přenos z proudového vstupu na napětí vnitřních uzlů).



Obr. 13: Optimalizované dynamické poměry filtru dílčích přenosů proudu

Z grafů je patrné, že k omezení amplitudy vstupního signálu dojde pro spektrální složky 700 kHz až 6 MHz. Extrém nastává pro mezní kmitočet, kdy při amplitudě vstupního signálu 0,25 mA bude maximum amplitud vnitřních proudů asi 1 mA a maximum amplitud vnitřních napětí asi 0,4 V. Takové signály je schopen lineárně zpracovat i nejcitlivější prvek UVC [33].

3.2 NÁVRH ARC FILTRU EKVIVALENTNÍHO PASIVNÍMU RLC PROTOTYPU

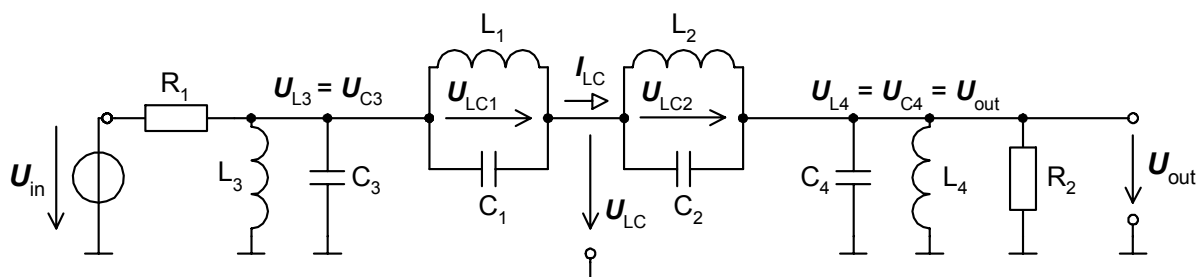
Propracovaná metodika návrhu pasivních filtrů může být využita při návrhu ARC filtru, jehož struktura a ideální přenosové vlastnosti jsou odvozeny od RLC pasivního prototypu [26, 27].

Byl proveden návrh pasivní RLC pásmové propusti s těmito parametry:

- aproximace Caurova eliptická, 3. řád, kmitočet naladění: 1 MHz,
- zvlnění v propustném pásmu: 0,5 dB, šířka propustného pásma: 20 kHz,
- maximální útlum v propustném pásmu: 3 dB, hranice nepropustného pásma: 125 kHz, minimální útlum v nepropustném pásmu: 65 dB,
- impedanční úroveň: 50Ω (výstupní impedance napěťového zdroje a impedance zátěže).

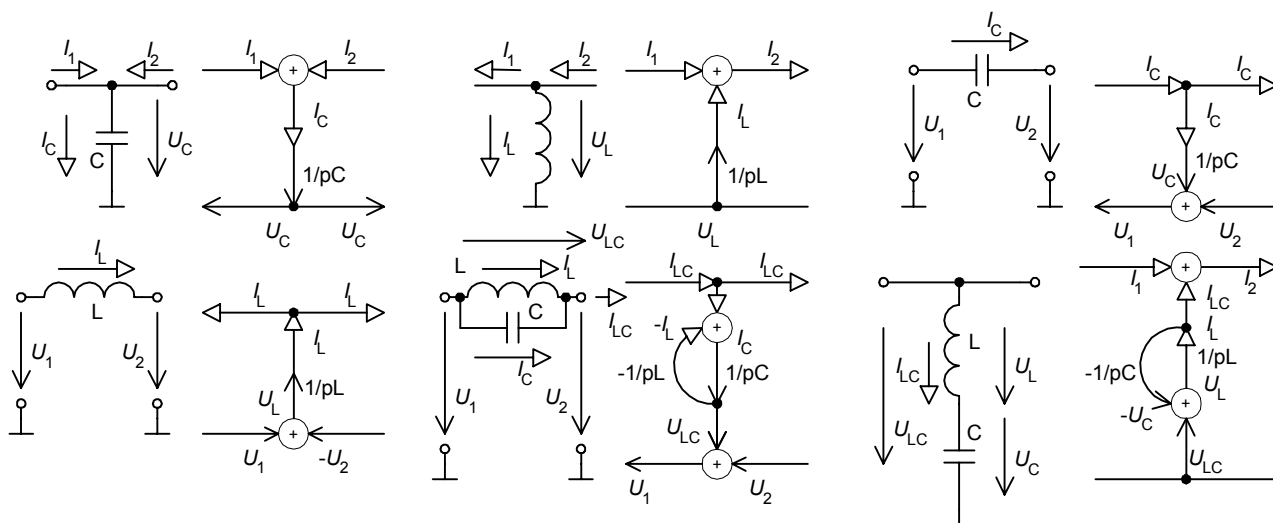
Byla navržena Π verze Caurovy pasivní pásmové propusti 3. řádu a zobrazena je na obr. 14 s následujícími parametry pasivních prvků:

$$\begin{aligned} R_1 = R_2 = 50 \Omega, L_3 = L_4 = 86,15 \text{ nH}, C_3 = C_4 = 294 \text{ nF}, \\ L_1 = 5,605 \mu\text{H}, L_2 = 4,853 \mu\text{H}, C_1 = 5,219 \text{ nF}, C_2 = 4,519 \text{ nF}. \end{aligned} \quad (17)$$

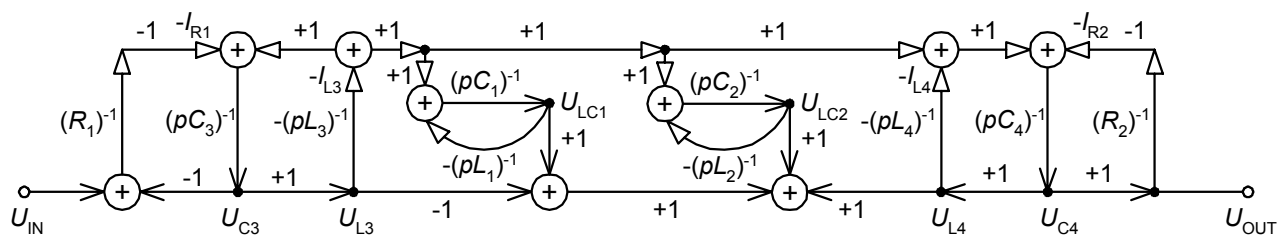


Obr. 14: Caurova pásmová propust 3. řádu - varianta Π

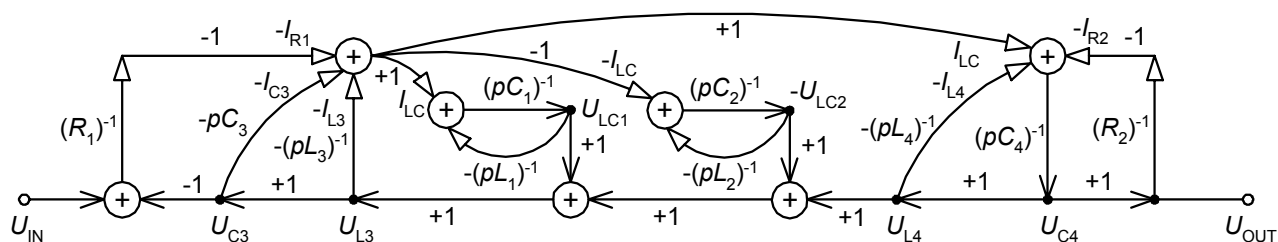
Pro sestavení grafu signálových toků filtru na obr. 16 (SFG – Signal Flow Graph) použijeme dílčí části na obr. 15. Po modifikaci vznikne SFG na obr. 17.



Obr. 15: Grafy signálových toků dílčích částí pasivního filtru

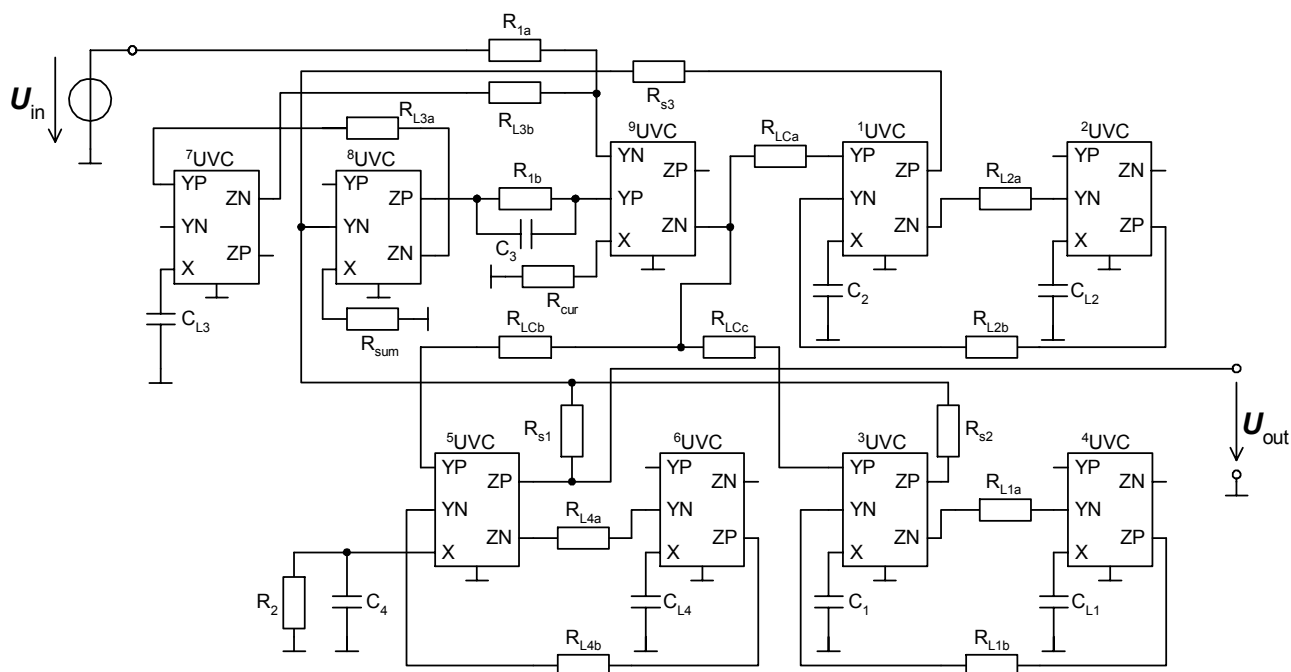


Obr. 16: Celý graf signálových toků pasivní Cauerovy pásmové propusti

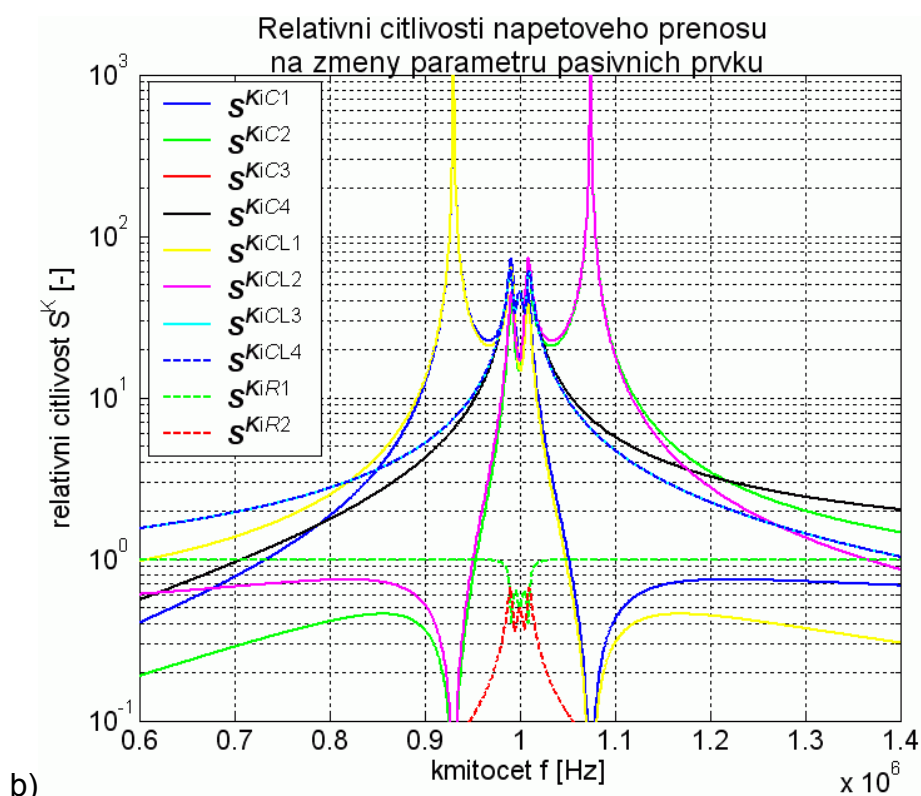
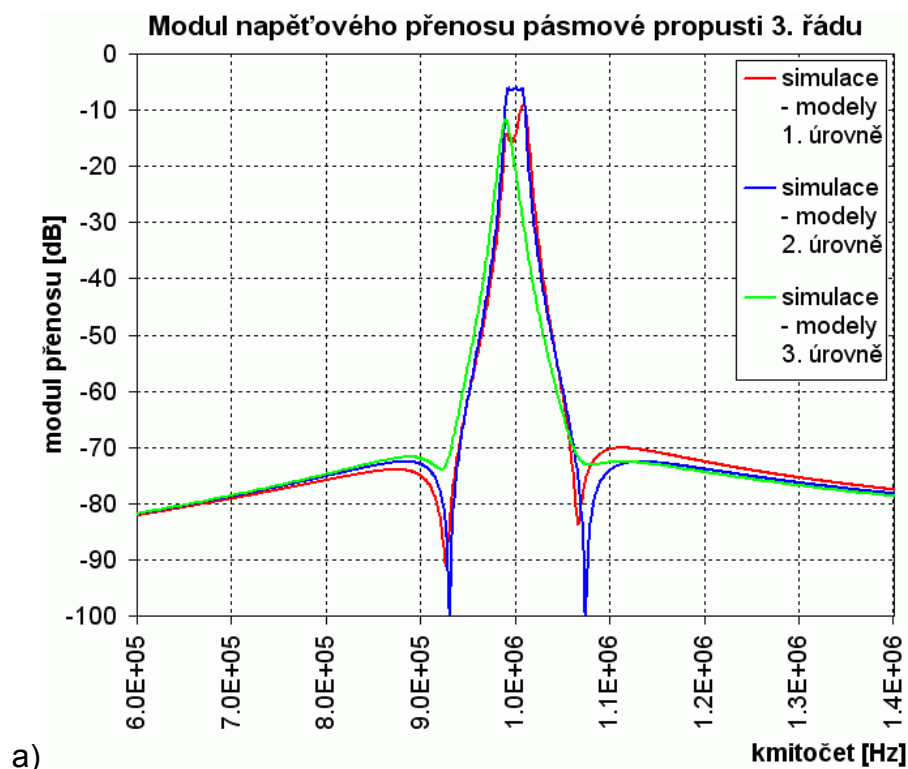


Obr. 17: Výsledný graf po modifikaci vzhledem k použití UVC

Obr. 18 ukazuje výsledné obvodové schéma, obr. 19 a) napěťové modulové kmitočtové charakteristiky a obr. 19 b) zobrazuje relativní citlivosti napěťového přenosu na změny parametrů pasivních prvků.



Obr. 18: Cauerova pásmová propust 3. řádu s 9 konvejory UVC



Obr. 19: a) Modul přenosu ARC PP, b) relativní citlivostní charakteristiky

Simulace napěťového přenosu prokazuje nedostatečné přenosové a imitanční vlastnosti UVC v oblasti kmitočtu naladění a v okolí nulových bodů pásmové propusti. Citlivosti nabývají v těchto oblastech velmi vysokých hodnot.

4 ZÁVĚR

Disertační práce řeší tři základní úkoly:

- návrh nových typů konvejsorů,
- měření vlastností konvejsorů a jejich behaviorální modelování,
- syntéza nových zapojení kmitočtových filtrů s konvejsory.

Problematika konvejsorů jako lineárních aktivních prvků je otevřena zobecněním jejich funkčního principu a návrhem nového způsobu označování. „Klasické“ typy konvejsorů jsou pro srozumitelnost v disertační práci označeny obvyklým způsobem.

Navrženy byly ideální blokové struktury těchto konvejsorů:

- sedmibranového univerzálního napěťového konvejsoru UVC7,
- univerzálních konvejsorů UC9 a UC13,
- konvejsorů s plovoucími proudovými snímači FCVC+/- a FVCC+/-,
- konvejsorů s diferenčními proudovými vstupy i výstupy DCCC8 a DCCC12.

Vnitřní struktury konvejsorů byly v první fázi řešeny na úrovni dílčích bloků:

- napěťových a proudových opakovačů a invertorů,
- napěťových a proudových sumačních nebo diferenčních řízených zdrojů s jedním nebo více výstupy uzemněného nebo plovoucího charakteru.

Cílem průzkumu nových struktur dílčích bloků konvejsorů bylo dosažení maximálních šířek přenosů a dobrých imitancních branových vlastností. Sestrojeno je podrobné blokové schéma navrženého konvejsoru UC9 a na tranzistorové úrovni je řešen konvejsor DBCCII+/- a jeho alternativy.

Konvejsory typů UCC, CCII+/- a UVC byly podrobeny střídavým a stejnosměrným měřením přenosových a branových vlastností. Pro automatizaci měřicího procesu byly vyvinuty ovládací programy v prostředí LabView. Představené konvejsory lze použít v proudových i napěťových filtrech s charakteristickým kmitočtem pólu maximálně 10 MHz. Vlastnosti experimentálních konvejsorů firmy AMI Semiconductor jsou v oblasti nad 50 MHz značně neuspokojivé, což ovlivnilo přenosové funkce konstruovaných filtrů.

Získaná stejnosměrná i střídavá měření byla použita při tvorbě behaviorálních modelů konvejsorů 1., 2. a 3. úrovně. Modely 3. úrovně již obsahují složité řízené zdroje vyšších řádů a nelineární přenosové bloky. Stupeň shody modelů 3. úrovně s chováním skutečných konvejsorů je v oblasti do 150 MHz značný a provedené simulace navržených filtrů s těmito modely odpovídají naměřeným závislostem.

Posledním úkolem disertační práce byl návrh analogových kmitočtových filtrů:

- s využitím jednobranových syntetických prvků s imitancemi vyšších řádů,
- na základě volby vhodného autonomního obvodu,
- na principu ekvivalence ARC filtru s pasivním RLC prototypem,
- se strukturami odvozenými ze zobecněných kanonických forem filtrů.

Při návrzích filtrů byly uplatněny některé optimalizační metody – minimalizace rozptylu parametrů pasivních prvků, maximalizace dynamického rozsahu filtru, minimalizace citlivostí přenosů na změny parametrů pasivních prvků, minimalizace počtu aktivních a pasivních prvků filtru.

LITERATURA

- [1] DOSTÁL, T.; POSPÍŠIL, J. Current and voltage conveyors - a family of three port immittance converters. In *Proc. ISCAS*. Roma, 1982, pp. 419-422.
- [2] ČAJKA, J.; DOSTÁL, T.; VRBA, K. Nové názvosloví a sjednocující pohled na proudové konvejory. *Elektrorevue* [online]. 2001. č. 24 [cit. 2006-05-06]. Dostupné na: www.elektrorevue.cz. ISSN 1213-1539.
- [3] *AMI Semiconductor 0.35 Micron C3O Process: Design Rules*. [online]. USC Information Sciences Institute, Marina del Rey, California, USA, 2006. Dostupné na: <http://www.mosis.org/products/fab/vendors/amis/c3/amisc3.html>. [cit. 2006-03-08].
- [4] BIOLEK, D. New libraries for symbolic analysis of current-mode circuits by SNAP program. *Elektrorevue* [online]. 2004. č. 24 [cit. 2006-07-21]. Dostupné na: www.elektrorevue.cz. ISSN 1213-1539.
- [5] PSpice User's Guide. Cadence Design Systems, San Jose, California, USA, 2000, 2nd edition. Dostupné na: www.orcad.com.
- [6] KUBÁNEK, D. Simulation Model of the Universal Current Conveyor. In *Proc. of RTT'04*. Praha: ČVUT Praha, 2004.
- [7] OPA660/860/861 – Wide Bandwidth Operational Transconductance Amplifier and Buffer, SHC 615 – Wide Bandwidth DC Restoration Circuit, OPA2662 – Dual, Wide-Bandwidth OTA, OPA622 – Wide-bandwidth Operational Amplifier. Katalogové listy firmy Burr-Brown. Dostupné na: www.ti.com.
- [8] VRBA, K. a kol. Vstupní obvody číslicových spektrálních analyzátorů a měřičů činitele přenosu. *Knižnice odborných a vědeckých spisů Vysokého učení technického v Brně*. Svazek A-53. Brno: FEI VUT v Brně, 1991. Str. 116-176. ISBN 80-214-0492-2.
- [9] KUBÁNEK, D. Universal Voltage Conveyor and Its Application. In *EI Conference*. Plzeň: Nakladatelství ZČU, 2003.

SEZNAM VLASTNÍCH PRACÍ

- [10] ŠPONAR, R.; VRBA, K. Struktury napěťových a proudových konvektorů a jejich aplikace. *Výzkumná zpráva řešení projektu FRVŠ č. 2087/G1/2005*. Brno: VUT v Brně, 2006. 30 str.
- [11] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Novel Improved Structure of Universal Voltage Conveyor. In *Proc. of the 11th Electronic Devices and Systems Conference 2004*. Brno: VUT v Brně, 2004, pp. 71-75. ISBN 80-214-2701-9.
- [12] KUBÁNEK, D.; ŠPONAR, R.; VRBA, K. Active Filter with UVCs Based on the State-Variable Topology. In *Proceedings of the International Conference on Signals and Electronic Systems 2004*. Poznan: Poznam University of Technology, 2004, pp. 77-81. ISBN 83-906074-7-6.
- [13] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Universal Conveyor - Novel Active Device Suitable for Analog Signal Processing. *WSEAS Transactions on Electronics*, 2005, Vol. 2, No. 4, p. 213-216. ISSN 1109-9445.
- [14] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Applications of Universal Conveyor - Novel Active Device in Analog Signal Processing. In *Proc. of CSCC. 9th WSEAS International CSCC Multiconference*. Greece, Vouliagmeni, Athens: WSEAS, 2005, pp. 737-740. ISBN 960-8457-29-7.
- [15] VRBA, K.; KUBÁNEK, D.; ŠPONAR, R. Zavedení poznatků výzkumu do výuky analogových obvodů. *Výzkumná zpráva řešení projektu FRVŠ č. 2075/F1a/2005*. Brno: VUT v Brně, 2006. 20 str.
- [16] ŠPONAR, R.; VRBA, K. Measurements and Behavioral Modelling of Modern Conveyors. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 2006, Vol. 6, No. 3A, p. 57-65. ISSN 1738-7906.
- [17] ŠPONAR, R.; KUBÁNEK, D.; VRBA, K. Universal Current Conveyor and Universal Voltage Conveyor Measurements and Modelling. In *Proc. International Conference on Systems. ICONS'06*. USA, Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2006, pp. 175-178. ISBN 0-7695-2552-0.
- [18] ŠPONAR, R.; KUBÁNEK, D. Linear Simulation of Conveyor Structures and Their Filter Applications In *Proceedings of the Research in Telecommunications Technology 2004*. Praha: ČVUT Praha, 2004, pp. 100-104. ISBN 80-214-2635-7.
- [19] ŠPONAR, R. Syntetické dvojpólové prvky s imitancemi vyšších řádů v kmitočtových filtrech s proudovými konvektory. *Elektrorevue* [online]. 2004, č. 13 [cit. 2006-08-20]. Dostupné na: www.elektrorevue.cz. ISSN 1213-1539.
- [20] ŠPONAR, R.; RAMPL, I.; KUBÍN, M.; MINARČÍK, M. Nová zapojení kmitočtových filtrů s UCC. *Výzkumná zpráva řešení projektu FRVŠ č. 1933/G1/2004*. Brno: VUT v Brně, 2004. 28 str.
- [21] KUBÁNEK, D.; ŠPONAR, R.; VRBA, K. Analog filter based on a synthetic element with UCC. In *Proceedings of the 6th Research in Telecommunication Technology Conference 2005*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2005, pp. 41-46. ISBN 960-8457-29-7.

- [22] KUBÁNEK, D.; VRBA, K.; ŠPONAR, R. Filtrační obvody s napěťovými konvejory. *Výzkumná zpráva řešení projektu FRVŠ č. 1641/G1/2005*. Brno: VUT v Brně, 2005. 47 str.
- [23] KUBÁNEK, D.; VRBA, K.; ŠPONAR, R. Third-Order High-Pass Filter Based on a Synthetic Element Employing One UCCX. In *Proc. of the 28th International Conference Telecommunications and Signal Processing*. Brno: VUT Brno, 2005, pp. 49-52. ISBN 80-214-2972-0.
- [24] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Current-Mode VHF High-Quality Analog Filters Suitable for Spectral Network Analysis. In *Proceedings of the 4th International Conference on Networking ICN 2005*. Reunion Island, France: University of Haute Alsace, 2005, pp. 417-424. ISBN 3-540-25338-6.
- [25] KUBÁNEK, D.; VRBA, K.; ŠPONAR, R. Low-Pass Filter with UCC Suitable for Data Systems. In *Proceedings of the International Conference on Networking. 2006*. Morne, Mauritius: IEEE Computer Society, 2006. ISBN 0-7695-2552-0.
- [26] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Optimized High-Order ARC Filter with Voltage Conveyors Based on Cauer Passive Ladder Structures. In *Proceedings of the 28th International Conference on Telecommunications and Signal Processing 2005*. Brno: VUT, 2005, pp. 45-48. ISBN 960-8457-29-7.
- [27] ŠPONAR, R. Band-Pass Filter Design Using Current Conveyors In *Proceedings of EEICT Conference 2005*. Brno: VUT v Brně, 2005, pp. 75-79. ISBN 354-025-338-6.
- [28] KUBÁNEK, D.; VRBA, K.; ŠPONAR, R. High-Frequency Filter with UVCs Derived from RLC Structure. In *Proc. WSEAS Int. Conference on Applications of Electrical Engineering 2005*. Praha: WSEAS, 2005, pp. 107- 110.
- [29] ŠPONAR, R.; KUBÁNEK, D. Generalized Canonical Forms of ARC Filters. In *International Conference on Signals and Electronic Systems 2004*. Poznan: Poznan University of Technology, Institute of Electronics and Telecommunications, 2004, pp. 200-204. ISBN 80-214-2635-7.
- [30] ŠPONAR, R.; KUBÁNEK, D. Canonical ARC Filter Outline Utilizing Current and Voltage Conveyor Structures. In *Proceedings of the 27th International Conference Telecommunications and Signal Processing 2004*. Brno: VUT v Brně, 2004, pp. 100-104, ISBN 80-214-2635-7.
- [31] ŠPONAR, R. Principles of ARC Filter Synthesis Involving Current and Voltage Conveyors. In *Proceedings of the 10th Conference Student EEICT 2004*. Vol 2. Brno: Nakl. Ondráček, 2004, s. 226-229, ISBN 80-214-2635-7.
- [32] ŠPONAR, R.; VRBA, K.; KUBÁNEK, D. Detailed ARC Filter Synthesis Employing Universal Voltage Conveyor. In *Proceedings of the 6th Research in Telecommunication Technology Conference 2005*. Ostrava: VŠB, 2005, p. 66-69. ISBN 960-8457-29-7.
- [33] ŠPONAR, R. Měření a modelování vlastností univerzálního proudového a napěťového konveju. In *Sborník konference IEEE Vršov 2005*. Vršov: IEEE Studentská sekce v ČR, 2005, s. 141-144. ISBN 80-214-3008-7.

AUTOROVO CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

datum narození: 18. prosinec 1979

místo narození: Ústí nad Orlicí, Česká republika

Vzdělání:

1994–1998	Gymnázium Brno, obor přírodovědný
1998–2003	magisterské studium, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, diplomová práce: „Nová zapojení filtrů s univerzálním proudovým konvejorem“
2003–2006	doktorské studium na téže fakultě

Praxe:

1998	Vibroservis, s.r.o., konstrukce a opravy měřicích systémů
2003	Vojenská akademie v Brně, tvorba elektronického výukového systému
2004	ŽS Brno, a.s., návrh a oživení centrálního systému vzduchotechniky loutkového divadla Radost
2006	CEDO, s.r.o., návrh CMOS digitálních integrovaných obvodů

Řešené projekty:

FRVŠ 0141/G1/2002: Zapojení studentů do problematiky analýzy a aplikací spínaných obvodů

FRVŠ 2229/G1/2003: Nová zapojení kmitočtových filtrů s UCC a UVC

FRVŠ 1641/G1/2004: Filtrační obvody s napěťovými konvejery

FRVŠ 2087/G1/2005: Struktury napěťových a proudových konvejerů a jejich aplikace

FRVŠ 2075/F1a/2005: Zavedení poznatků výzkumu do výuky analogových obvodů

FRVŠ 2067/G1/2006: Koncepce univerzálního konvejeru a její využití v oblasti lineárního zpracování analogových signálů

FRVŠ 2115/F1a/2006: Provázání počítačové výuky předmětu „Konstrukce elektronických zařízení“ s praktickou výukou

FRVŠ 514/F1b/2007: Zavedení magisterského kurzu „Počítače a jejich periférie“

GAČR 102/03/1465: Vývoj nových aktivních prvků UCC, UVC, MOTA a jejich aplikací

GAČR 102/04/0442: Nové elektronické obvody s moderními vícebranovými funkčními bloky

GAČR 102/06/1383: Obvody s univerzálními proudovými a napěťovými konvejery a proudovými operačními zesilovači

- MSM0021630513: Elektronické komunikační systémy a technologie nových generací (ELKOM)
MSM 262200022: Výzkum mikroelektronických systémů a technologií

Specializace:

přístrojová elektronika
návrh analogových elektronických systémů
vývoj moderních analogových aktivních prvků v proudovém módu
syntéza, analýza a optimalizace lineárních analogových kmitočtových filtrů
v napěťovém, proudovém módu a módech smíšených
praktická konstrukce elektronických obvodů

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá napěťovými a proudovými konvejory a jejich obvodovými aplikacemi. Definuje nové typy konvektorů a řeší jejich vnitřní struktury na blokové i tranzistorové úrovni. Pro potřeby simulací obvodů s konvejory jsou vytvořeny analogové behaviorální modely existujících i hypotetických konvektorů. Komerčně dostupné i experimentální typy konvektorů jsou podrobeny střídavým i stejnosměrným měřením přenosů a odporů bran. Další významná část práce pojednává o metodách návrhů analogových kmitočtových filtrů s konvejory. Jedná se metodu se syntetickými imitancními prvky, metodu volby autonomního obvodu, metodu ekvivalence s pasivními prototypy a metodu syntézy filtrů v kanonické podobě. Kmitočtové filtry jsou definovány symbolicky, u vybraných případů je proveden numerický návrh, experimentální konstrukce a měření přenosových vlastností.

ABSTRACT

The dissertation thesis deals with voltage and current conveyors and their circuit applications. It defines novel types of conveyors and solves their internal structures both on a block level and a transistor level. Analog behavioral models of existing and hypothetical conveyors are made for purposes of simulations of circuits with conveyors. Both AC and DC measurements of transfer and immittance properties are carried out with commercially available and experimental types of conveyors. Another major part of the thesis treats several methods of designing analog frequency filters. The following methods are concerned: synthetic elements utilization, choice of an autonomous circuit, equivalence with passive prototypes, and canonic filter synthesis. Frequency filters are defined symbolically; representative cases are designed numerically, constructed experimentally and gone through measurements of transfer performances.