

Prvek CDTA pro analogové zpracování signálů

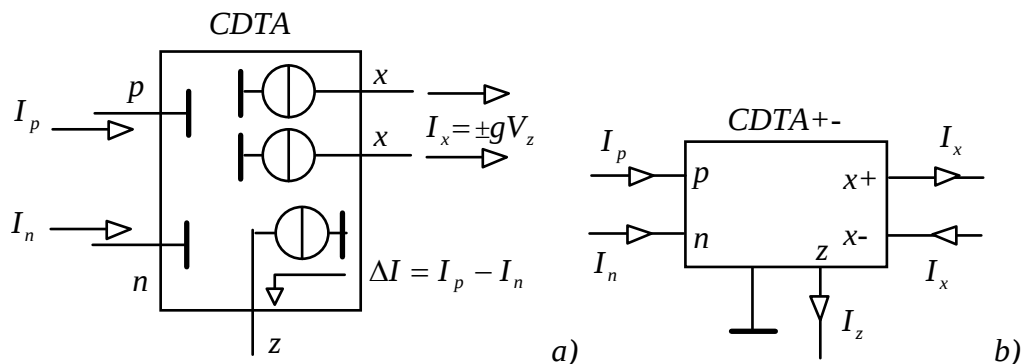
Dalibor Biolek*, Viera Biolková*

Abstrakt

Je navržen nový aktivní prvek CDTA (Current-Differencing Transconductance Amplifier) s dvojicí proudových vstupů a dvěma druhy proudových výstupů. Prvek vznikl syntézou prvků DCS (Current-Differencing Source) a OTA (Operational Transconductance Amplifier) s cílem usnadnění realizací analogových funkčních bloků pracujících v proudovém módu. Jsou ukázány základní systémové vlastnosti tohoto prvku a některé jeho aplikace.

1 ÚVOD

V [1] jsme zavedli obvodový prvek zvaný CDTA (Current-Differencing Transconductance Amplifier). Jeho behaviorální model je na obr. 1 a). Prvek má diferenční nízkaimpedanční proudové vstupy p a n . Rozdíl proudů vytéká ze svorky z do vnější zátěže. Napětí na svorce z je přes transkonduktanci g_m konvertováno v proud, který je vyveden v páru na svorky x . Tato poslední část prvku je klasický transkonduktanční operační zesilovač (OTA). Velikost transkonduktance je možné řídit elektronicky z pomocné svorky, která již na obr. 1 a) není uvedena.



Obr. 1: a) Behaviorální model prvku CDTA, b) příklad schématické značky CDTA+-.

Dvojice výstupních proudů ze svorek x , naznačená na obr. 1 a), může mít trojí kombinaci směrů: Buď mohou oba vytékat ven, nebo jeden ven a druhý dovnitř, nebo oba dovnitř. Pak hovoříme o prvcích CDTA++, CDTA+- a CDTA--. Orientaci proudů je vhodné vyznačit ve schématu znaménky u označení svorek x (viz obr. 1 b)). Pokud není orientace vyznačena, předpokládají se implicitně proudy vytékající ven z obvodu.

Chápeme-li prvek CDTA jako obvod se vstupy p a n a výstupy x , přičemž svorka z je jen pomocná, určená ke konverzi proudu na napětí, pak jde o součástku, vhodnou k zpracování signálů v proudovém módu.

* Dalibor Biolek, Prof. Ing. CSc.

K301 VA Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno, Czech Republic

e-mail: dalibor.biolek@vabo.cz, tel.: +420 973442487, fax: +420 973442888.

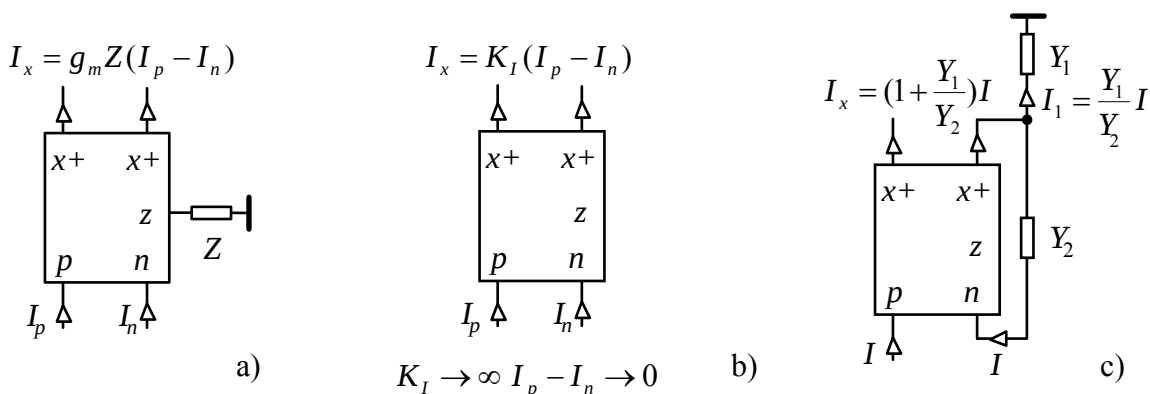
* Viera Biolková, Ing.

ÚREL FEKT VUT Brno, Purkyňova 93, 612 00 Brno, Czech Republic

e-mail: biolkova@feec.vutbr.cz, tel.: +420 541149152, fax: +420 541149244.

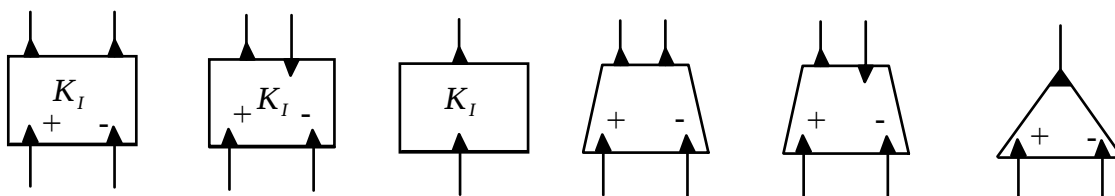
2 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ PRVKU CDTA

Připojíme-li na svorku z uzemněný kapacitor, případně paralelní kombinaci prvků C a R, získáme ideální, resp. ztrátový proudový integrátor, invertující i neinvertující, s možností sumace vstupních proudů přímo na nízkoohmových svorkách p a n . Sčítání proudových signálů se dosáhne jednoduše pospojováním příslušných vodičů, kterými tečou proudy. Případné dělení proudů je proveditelné pomocí impedančních děličů proudů. Uvedeným způsobem je možné simulovat například činnost řady známých zapojení bikvadratických filtrů v napětovém módu [2]. Prvky CDTA lze rovněž využít k simulaci příčkových filtrů, ke konstrukci imitačních invertorů apod. [1].



Obr. 2: CDTA v zapojení a) diferenčního proudového zesilovače, b) TCOA, c) TCOA s konečným proudovým zesílením.

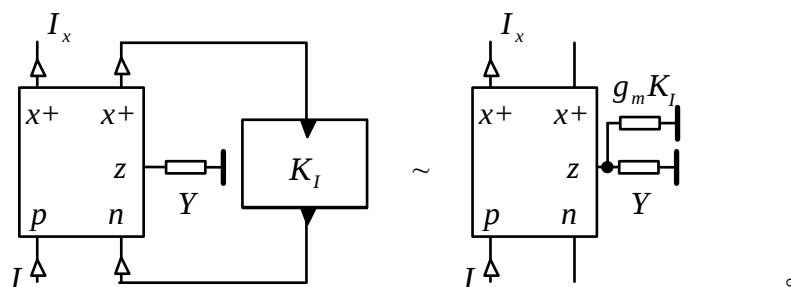
Na obr. 2 a) je základní zapojení prvku CDTA jako zdroje proudu řízeného diferenčním proudem $I_p - I_n$. Proudový přenos K_I je dán součinem transkonduktance g_m a vnější impedance Z , takže může být touto impedancí kmitočtově „tvarován“. Odpojením této impedance získáme ideální aktivní prvek, označovaný v literatuře jako „True Current Operational Amplifier“ (TCOA) [3], tedy „pravý proudový operační zesilovač“. Jde o duální obvod k ideálnímu napětovému operačnímu zesilovači: proudový zisk je nekonečný, vlivem vnější záporné zpětné vazby je diferenční vstupní proud udržován na nule (obr. 2 b). Zapojení na obr. c) ukazuje, jak nastavit konkrétní zesílení proudu v obvodu s TCOA pomocí proudového děliče. Zatímco u zapojení a) lze zisk řídit transkonduktancí prvku CDTA, v zapojení c) je zisk na této transkonduktanci nezávislý. Na obr. 3 jsou navrženy nové schématické značky ideálních prvků, odvozené z prvku CDTA: ideální diferenční proudový zesilovač (DCA – Difference Current Amplifier), ideální proudový zesilovač (CA), a různé varianty TCOA (s jedním či dvěma výstupy). Symboly šipek ukazují definované směry proudů.



Obr. 3: Navrhované schématické značky ideálních proudových zesilovačů CA (první tři zleva) a ideálních proudových operačních zesilovačů TCOA (ostatní).

3 EKVIVALENTNÍ OBVODY S PRVKEM CDTA

Jednoduchým výpočtem lze ověřit ekvivalenci obvodů na obr. 4: Je-li ve smyčce záporné zpětné vazby prvku CDTA proudový zesilovač s přenosem K_I , lze tuto smyčku odstranit a nahradit ji uzemněnou admitancí $g_m K_I$, připojenou k svorce z .

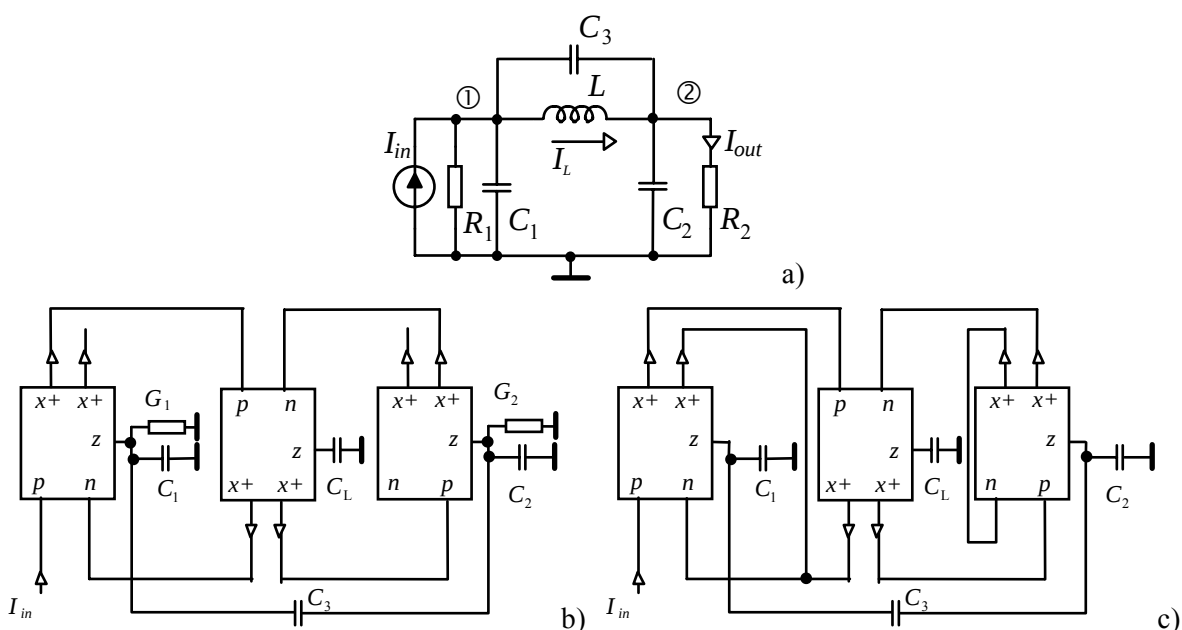


Obr. 4: Ekvivalence obvodů se zpětnou vazbou a bez zpětné vazby.

Pro prvky CDTA lze sestavit další zajímavé ekvivalentní obvody, které však pro nedostatek místa neuvádíme. Pomocí těchto ekvivalencí pak lze výchozí obvody transformovat např. na struktury obsahující pouze prvky CDTA, uzemněné kapacity a proudové zesilovače, což je výhodné jak z realizačních důvodů, tak i pro účely optimalizace dynamických rozsahů a poměrů kapacit a transkonduktancí.

4 UKÁZKA APLIKACE

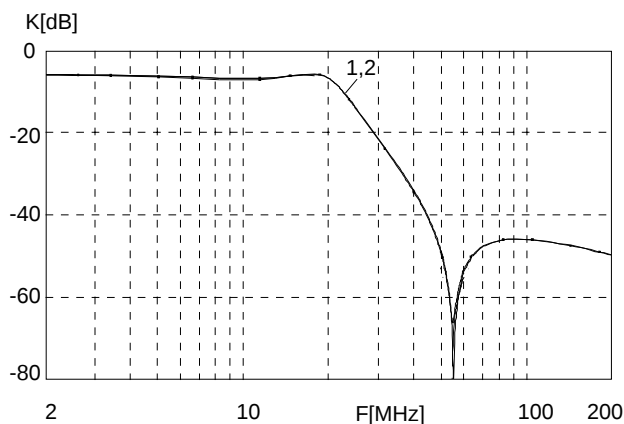
Na obr. 5 a) je zapojení příčkového filtru typu dolní propust 3. řádu. Na obr. b) je pak ukázán způsob simulace tohoto filtru pomocí prvků CDTA. Zapojení jsme publikovali a podrobně popsali v [1]. V případě symetrického zakončení filtru, tj. $G_1=G_2$, je možné při návrhu uvažovat tyto vodivosti rovné transkonduktancím prvků CDTA. Pak lze použít ekvivalence z obr. 4 k odstranění prvků G_1 a G_2 doplněním jednoduchých záporných zpětných vazeb podle obr. c). Vznikne „CDTA-C“ filtr bez rezistorů.



Obr. 5: a) Příčkový filtr, b) jeho implementace pomocí prvků CDTA, c) transformace na CDTA-C filtr.

4 OVĚŘOVACÍ POČÍTAČOVÁ SIMULACE

Pro účely počítačové simulace jsme vytvořili SPICE model prvku CDTA. Tento model má dvě části: Model zdroje proudu I_z řízeného rozdílem proudů I_p a I_n jsme převzali z modelu prvku CDBA, publikovaného v [5]. Transkonduktanční zesilovač je modelován SPICE modelem komerčního zesilovače MAX435 o šířce pásma 275MHz.



Obr. 6: Kmitočtová charakteristika pasivního příčkového filtru z obr. 5 a) (1) a simulovaná charakteristika aktivní struktury leapfrog s prvky CDTA podle obr. 5 c) (2).

Na obr. 6 je ukázka simulace aktivního filtru z obr. 5 c). Filtr je navržen jako Caerovská dolní propust se zvlněním 1 dB, mezním kmitočtem 20 MHz a s garantovaným útlumem 40 dB od kmitočtu 50 MHz. Návrh příčkového filtru z obr. 6 vedl na tyto parametry součástek: $C_1=C_2=151\text{pF}$, $C_3=11,5\text{pF}$, $L=719\text{nH}$, $R_1=R_2=100\Omega$. Transkonduktance v modelech prvků OTA byla nastavena na 10mS. Obě charakteristiky vykazují ve frekvenčním pásmu do 200MHz velmi dobrou shodu.

5 ZÁVĚR

Navrhovaný obvodový prvek CDTA a bloky z něj odvozené umožňují elegantní realizaci obvodů, pracujících v proudovém módu. Počítačové simulace naznačují možnosti realizace aktivních filtrů v kmitočtovém pásmu desítek až stovek MHz.

Poděkování

Dané výsledky vznikly za podpory Grantové Agentury ČR prostřednictvím projektů č. 102/03/1363 a 102/04/0442 a v rámci řešení Výzkumných záměrů VUT Brno, MSM 262200022 & MSM 262200011.

Literatura

- [1] BIOLEK, D. CDTA – Building Block for Current-Mode Analog Signal Processing. In: Proceedings of the ECCTD03 Krakow, Poland, Vol. III, pp. 397-400. ISBN 83-88309-95-1.
- [2] BIOLEK, D.-BIOLKOVÁ, V.: Universal biquads using CDTA elements for cascade filter design. CICC2003, Corfu, Greece, 2003. ISBN 960-8052-82-3 (CD).
- [3] MUCHA, I. Towards a True Current Operational Amplifier. In: ISCAS 1994, Vol. 5, pp. 389-392.
- [4] LATTENBERG, K. Vrba, D. Biolek, “Bipolar Current Differencing Buffered Amplifiers and its Application”, IASTED-SIP2001 Int. Conference, Honolulu, Hawaii, pp. 376-379.