

doc. Dr. Ing. Pavel Horský
ON Design Czech, s.r.o.
Videňská 125
619 00 Brno

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Doktorand: Ing. Salma Bay Abo Dabbous

Školitel: doc. Ing. et Ing. Fabian Khateb, Ph.D. et Ph.D.

Oponent: doc. Dr. Ing. Pavel Horský

Název práce: **VYUŽITÍ NEKONVENČNÍCH CMOS TECHNIK PŘI NÁVRHU
ANALOGOVÝCH OBVODŮ S NÍZKÝM PŘÍKONEM A NÍZKÝM NAPÁJECÍM
NAPĚTÍM PRO BIOMEDICÍNSKÉ APLIKACE**

Předložená disertační práce odpovídá svým rozsahem standardu disertačních prací a obsahuje celkem 152 stran. Je psána v anglickém jazyce. Je pečlivě vypracována a jazykově na dobré úrovni. Práce byla vytvořena na školícím pracovišti Ústavu mikroelektroniky FEKT VUT v Brně.

Obsah práce

Předložená disertační práce je rozčleněna do čtyř kapitol. Kapitola 1 je úvod, kapitola 2 (25 stran) pojednává o nekonvenčních technikách návrhu CMOS obvodů s nízkým příkonem. Jádro práce je obsaženo v kapitole 3 (75 stran) a kapitola 4 je závěr.

V kapitole 2 jsou popsány nekonvenční techniky návrhu obvodů s nízkým napájecím napětím a příkonem. Popsány jsou techniky využití prvků s MOS tranzistory:

- řízenými pomocí substrátu (bulk-driven),
- s plovoucím hradlem (floating-gate),
- s kvazi plovoucím hradlem (quasi-floating-gate),
- řízenými pomocí substrátu s plovoucím hradlem (bulk-driven floating-gate)
- řízenými pomocí substrátu s kvazi plovoucím hradlem (bulk-driven quasi-floating-gate).

V kapitole 3 jsou nejprve stanoveny cíle disertace a následuje popis navržených obvodů. Jsou navrženy různé aktivní prvky a aplikační zapojení s těmito prvky. Mezi navrženými prvky jsou:

- Operational Transconductance Amplifier,
- Tunable Transconductor,
- Current Conveyor
- Transconductance Amplifier,
- Z Copy-Current Controlled-Current Differencing Buffered Amplifier,
- Winner Take All and Loser Take All,
- Fully Balanced Four-Terminal Floating Nullor.

Pro většinu navržených prvků je uveden příklad zapojení v jednoduchém obvodu a jsou prezentovány výsledky simulací. Součástí každé podkapitoly je informace, kde byl daný obvod publikován.

Aktuálnost zvoleného tématu

Vývoj mikroelektroniky je spojen s rozvojem nových technologií a se zmenšováním fyzických rozměrů tranzistorů v integrovaných obvodech, především se zkracováním délky kanálu MOS tranzistorů a snižováním tloušťky hradlového oxidu. To je spojeno s nutností neustále snižovat

napájecí napětí integrovaných obvodů. Prahové napětí MOS tranzistorů zůstává prakticky nezměněno, což má nepříznivý vliv na analogové bloky. Některé moderní technologie CMOS pro návrh analogových obvodů nabízejí nad rámec tranzistorů se standardním prahovým napětím možnost použití tranzistorů se sníženým prahovým napětím nebo dokonce depletiční tranzistory (např. technologie ONC18 firmy ON Semiconductor). Tyto tranzistory ale nejsou dostupné v základních CMOS technologiích a je nutné hledat nové obvodové topologie schopné pracovat s nízkým napájecí napětím.

Nízká spotřeba je důležitá především pro biomedicínské aplikace s bateriovým napájením. Tyto obvody zpracovávají signály o relativně nízkých frekvencích. Realizace analogových obvodů pracujících s malým napájecím napětím a nízkým příkonem je v současné době velmi aktuální téma v mikroelektronice. Je věnováno velké úsilí hledání nových struktur splňujících tyto požadavky.

Téma předložené disertační práce je proto aktuální.

Splnění cíle disertace

Deklarovaným cílem disertace bylo navrhnout obvody s nekonvenčními technikami na vstupech analogových funkčních bloků, aby byl snížen nebo zrušen vliv prahového napětí na vstupu a s použitím těchto funkčních bloků navrhnout a provést simulace vybraných základních obvodů.

Stanovené cíle disertační práce byly dosaženy v celém deklarovaném rozsahu a námět práce odpovídá oboru disertace.

Zvolené metody zpracování

Předložení práce je na standardní úrovni, je zpracována přehledně s dobrou grafickou úrovní. V práci jsou uváděny dílčí závěry v jednotlivých kapitolách a celkové shrnutí v závěru.

U mnoha navržených obvodů je uvedeno přehledné porovnání získaných parametrů s podobnými obvody publikovanými jinými autory.

V práci postrádám navržení metodiky návrhu nebo optimalizace daných obvodů.

Dosažené výsledky a přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Za hlavní přínos předložené disertační práce je možné považovat návrh mnoha nových aktivních prvků využívajících nekonvenční obvodové techniky. Na základě těchto obvodů mohou být konstruovány další obvody pracující s velmi malým napájecím napětím a nízkým příkonem.

Předložená disertační práce úzce navazuje na práci doktoranda Ziada Alsibaie vedeného stejným školitelem. Pan Alsibai se v práci předložené k obhajobě v roce 2014 také zabýval návrhem analogových obvodů s nízkým napájecím napětím a nízkým příkonem. Použité techniky jsou v obou pracích stejné. Úvodní kapitoly obou prací jsou velmi podobné. Některé navržené obvody jsou společnou prací obou doktorandů a jsou prezentovány v obou disertačních pracích.

Bohužel z předložené práce není možné určit co je vlastní prací doktorandky a co je prací celého týmu vedeného jejím školitelem. Doporučuji při obhajobě práce diskutovat vlastní přínos doktorandky.

Vyjádření k publikacím doktoranda

V disertační práci je uveden seznam osmi publikací doktorandky. Publikace jsou z let 2013 až 2016. U dvou příspěvků na studentské konferenci EEICT je doktorandka autorkou, u ostatních je spoluautorkou. Jedná se o čtyři příspěvky v mezinárodních časopisech a příspěvek na jedné konferenci. U jednoho z příspěvků je uvedeno 29 citací, což je úctyhodný počet.

U publikací nebývá obvyklé aby druhý z uvedených autorů vykazoval autorský podíl 75 %, jak je uvedeno u příspěvku z roku 2014.

Velká část navržených obvodů prezentovaných v předložené práci byla publikována, což považuji za důležité.

Připomínky k disertační práci:

Závažnější připomínky

- Některé z níže uvedených závažnějších připomínek k práci jsou velmi podobné připomínkám které byly uvedeny k práci pana Ziada Alsibie. Je škoda že společný školitel obou doktorandů nevzal tyto připomínky v úvahu při vedení předložené disertační práce doktorandky.
- U navržených obvodů jsou uvedeny rozměry použitých tranzistorů jako optimální hodnoty, ale chybí jakékoli zdůvodnění. Rozměry působí dojmem neoptimálnosti a jednoduchého doladění v simulátoru bez použití reálných optimalizačních technik nebo výpočtů. V disertační práci bych očekával detailní zdůvodnění a základní výpočty pro dimenzování navržených bloků.
- Práce se zabývá pouze jednoduchým návrhem několika vybraných bloků s použitím nekonvenčních technik, postrádám metodologii a optimalizaci návrhu.
- Skoro celá práce je založena pouze na simulacích navržených obvodů za typických podmínek bez uvažování vlivu rozptylu výrobního procesu, vlivu teploty, variace napájecího napětí, nebo souhlasné složky vstupních signálů. Pouze u jednoho obvodu je provedena analýza vlivu výrobního procesu (Conner analýza a Monte – Carlo analýza).
- Až na jeden obvod není analyzován souběh (matching), i když se jedná o velmi důležitý parametr, který může zásadně ovlivnit parametry a funkčnost navržených obvodů a při správném obvodovém návrhu je ho nutno uvažovat.
- V práci není naznačena žádná snaha o realizaci navržených bloků ve formě testovacího integrovaného obvodu. Pokud by některé z obvodů byly realizovány a odměřeny, výrazně by to zvýšilo hodnotu celé práce.
- U navrhovaných obvodů jsou často analyzovány parametry, které nejsou zásadní pro funkci obvodu (např. výstupní impedance OTA), ale chybí důležité parametry jako např. náhodný ofset. Šum je analyzován pouze u některých obvodů.
- Pro ultra nízkopříkonové obvody bych očekával výrazně nižší biasovací proudy než je uváděno v práci (např. pro Miller OTA je použito 6 uA).
- Hodnocení vlastností navržených obvodů je často založeno pouze na vizuální kontrole výstupního průběhu (např. str. 67). Takové hodnocení je nedostatečné. V uvedeném případě na str. 67 by bylo vhodné analyzovat např. chybu střední hodnoty výstupního signálu.
- U některých navržených obvodů je použito napájecí napětí pouze 0,5 V, to je velmi blízko prahovému napětí MOS tranzistorů (v práci není uvedeno). Při změně teploty, výrobního procesu nebo drobné odchylce napájecího napětí může docházet ke značným změnám v pracovním bodu použitých tranzistorů a tím i k velkému vlivu na parametry obvodu.

Formální připomínky

- Vztah (1.1) na straně 25 je platný pro digitální obvody, ale neplatí pro analogové obvody, kterým je práce věnována. Vztah neuvažuje biasovací pracovní proudy analogových obvodů.
- Na straně 56 je uvedeno, že transimpedační zesilovače jsou více žádané než běžné zesilovače. Transimpedační zesilovače nají rozsáhlé použití v integrovaných obvodech ale nedá se tvrdit že by obecně byly mnohem žádanější.
- Stabilita obvodů Miller OTA na obr. 3.2 je simulována bez zátěže, proto vychází velmi dobré výsledky.
- V grafu na obr. 3.7 je zřejmý pokles zisku pro nízké frekvence způsobený kvazi plovoucím hradlem, není to ale uvedeno v textu.
- U řady obvodů je uvedeno pouze že byly simulovány v 0,18 μm technologii bez uvedení kdo nabízející danou technologii.
- Na str. 61 je uvedeno „kaskádová struktura“ na místo „kaskodová struktura“, pravděpodobně se jedná o překlep.
- Analýza stability vnitřních smyček navrhovaných obvodů není v práci uvedena.
- V obr. 3,40 chybí svorka VSS

Otázky k obhajobě


- Práce vznikla v týmu. Jaký je vlastní podíl doktorandky na dosažených výsledcích předložené práce?
- Pro obvody s kvazi plovoucím hradlem může docházet k „pumpování“ náboje do plovoucího hradla při větší amplitudě vstupního signálu – jak se to projeví na funkci navržených obvodů?
- Jakým způsobem se bude ustalovat napětí na kvazi plovoucím hradle po zapnutí napájení?

Závěr

Závěrem mohu konstatovat, že i přes výše uvedené připomínky nejsou v práci patrné zásadní chyby teoretického charakteru. Cíle vetyčené v teziích disertační práce byly splněny a jádro práce bylo publikováno. Vypracováním disertační práce a předloženými publikacemi prokázala kandidátka schopnost samostatné vědecké práce.

Proto doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě.

V Brně dne 23.10.2016


doc. Dr. Ing. Pavel Horský