

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

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Doktorand: Ing. Břetislav Ševčík

Školitel: prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.

Oponent: doc. Dr. Ing. Pavel Horský

Název práce: **METODY OPTIMALIZACE PRO ZAJIŠTĚNÍ INTEGRITY SIGNÁLŮ PRO VYSOKORYCHLOSTNÍ PŘENOS DAT MEZI ČIPY**

Předložená disertační práce odpovídá svým rozsahem standardu disertačních prací a obsahuje celkem 110 stran. Je psána v anglickém jazyce. Práce byla vytvořena na školícím pracovišti Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně.

Obsah práce

Předložená disertační práce je obsahově zaměřená na problematiku integrity signálů pro vysokorychlostní přenos dat mezi integrovanými obvody. Je rozčleněna do osmi kapitol. Kapitola 1 je úvodní, kapitola 2 (20 stran) pojednává o současném stavu techniky. Kapitola 3 shrnuje cíle disertace, kapitola 4 (25 stran) se zabývá technikami před-zkreslení v časové oblasti. Kapitola 5 (14 stran) je zaměřena na rozšíření PWM-RC technik pro kanály druhého řádu, kapitola 6 (12 stran) se věnuje problémům signálové integrity v digitálních systémech. Kapitola 7 (10 stran) popisuje implementaci PWM a PWM-2 technik, závěry práce jsou shrnuty v kapitole 8.

Aktuálnost zvoleného tématu

Vývoj mikroelektroniky je spojen s rozvojem nových technologií, se zmenšováním fyzických rozměrů tranzistorů v integrovaných obvodech, snižováním napájecího napětí a zvyšováním rychlosti digitálních obvodů. To klade stále vyšší nároky na rychlost komunikace v integrovaných obvodech, mezi jednotlivými integrovanými obvody na desce plošných spojů, mezi deskami plošných spojů nebo mezi moduly přístrojů. Signálová integrita je velmi aktuální oblastí v problematice přenosu dat.

Téma předložené disertační práce je proto aktuální.

Splnění cíle disertace

V kapitole 3 jsou stanoveny 4 základní cíle disertace a na začátku kapitoly 8 jsou znovu uvedeny základní cíle disertace, ale zde je jich uvedeno 5, které se částečně liší od cílů v kapitole 3. Deklarované cíle disertace se dají shrnout následovně:

- Modelování signálové integrity pomocí navrženého vlastního modelu.
- Analýza a optimalizace konvenčních equalizačních technik v časové oblasti.
- Rozšíření konvenčních technik equalizace na systémy druhého řádu.
- Analýza vlivu nehomogenit přenosových kanálů.
- Experimentální ověření navrhovaných řešení.

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

Zvolené metody zpracování

Předložená práce je na standardní technické úrovni, je zpracována s dobrou grafickou úrovní. Úvod do problematiky a zvolená posloupnost výkladu nejsou voleny optimálně. Přehlednosti práce dále škodí nedostatečné členění textu (některé odstavce jsou dlouhé celou stranu). Popisky obrázků jsou často na jiné straně (např. obr. 4.8 zabírá 3 strany a popis je až na konci třetí strany), u mnoha uvedených „eye“ diagramů chybí měřítko na osách a některé obrázky jsou nedostatečně popsány a tím i těžce interpretovatelné. Na mnoha místech by bylo vhodné opravit angličtinu.

Dosažené výsledky a přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Za hlavní přínos předložené disertační práce je možné považovat analýzu a optimalizaci equalizačních technik v časové oblasti pro efektivnější vysokorychlostní komunikaci. Prezentované analýzy ukazují na možnosti zvýšení přenosové rychlosti nízkonákladových přenosových kanálů při přenosu signálu. Předložený návrh se snaží efektivněji využít šířku pásma přenosového kanálu a o energetickou úsporu. Navrhované metody byly testovány na různých typech přenosových kanálů s přenosovou funkcí vyššího řádu.

Vyjádření k publikacím doktoranda

V disertační práci je uveden seznam 24 publikací, kterých je doktorand autorem nebo spoluautorem, u 17 z nich je prvním autorem a 12 z nich tvoří příspěvky na konferencích. Publikace jsou převážně z let 2010 a 2011, pouze jedna publikace je z roku 2012 a jedna z roku 2015. Podle předloženého bodového hodnocení je doktorand autorem nebo spoluautorem celkem 33 publikací, opět převážně z let 2010 a 2011. S nástupem doktoranda do zaměstnání na konci roku 2011 publikační činnost prakticky ustala.

Je možné konstatovat, že jádro disertační práce bylo publikováno na konferencích a v odborných časopisech včetně několika impaktovaných publikací.

Připomínky k disertační práci:

- V práci postrádám citlivostní analýzu na parametry navrhovaných signálů. Pro realizaci je důležité znát, jak přesně signály musejí být tvarovány (jak z pohledu amplitudy tak časování), aby bylo dosaženo požadovaných vlastností přenosových kanálů. Příkladem je tvarování typu raised-cosine, exponential a optimized-exponential.
- Pro generování PWM-2 signálu je zapotřebí výrazně vyšší frekvence hodinového signálu než u PWM aby bylo dosaženo potřebného časového rozlišení. V práci není analyzována citlivost na časové rozlišení při generování PWM-2 signálů a vliv omezené rychlosti výstupního budiče komunikačního kanálu.
- V závěru je uvedeno, že adaptivní techniky pre-emfáze mohou být implementovány v moderních vysokorychlostních obvodech CMOS a jsou uvedeny dvě citace. Bohužel v práci není uvedeno nic bližšího k problematice implementovatelnosti.
- V práci je uvedeno, že pro modelování signálové integrity byl použit vlastní model. Bližší informace o tomto modelu v práci chybí.
- Bylo by vhodné v příloze uvést alespoň základní MathCad modely, které byly v práci použity.
- Navržené metody jako PWM a PWM-2 výrazně snižují amplitudu přijímaného signálu. V práci nejsou diskutovány další vlivy, které ovlivňují kvalitu přenosu dat, jako například přeslechy z jiných kanálů.
- Je uvedeno, že pro měření bylo použito 150 m levného koaxiálního kabelu, chybí údaje o jeho typu a základních parametrech. Stejná připomínka platí pro použitá vedení na plošných spojích.
- V práci není analyzován vliv impedančního přizpůsobení respektive nepřizpůsobení.
- Formální připomínka k citaci [59], kde je uvedeno, že je přijato a bude publikováno v roce 2011, ale práce byla odevzdána na konci roku 2016.

Otázky k obhajobě

- V kapitole 4.6 je uvedeno, že navržená PWM-RC metoda výrazně snižuje vysokofrekvenční harmonické složky signálu oproti PWM a je uveden obr. 4.9. V tomto obrázku je vidět vyšší amplituda vysokofrekvenčních složek v porovnání s PWM metodou. Můžete to vysvětlit?
- V kapitole 6.2 uvádíte dva příklady vedení realizovaných na plošném spoji, kdy je jednou signál veden podél referenční zemní plochy a podruhé podél napájecí plochy. Jak je modelována impedance mezi referenční zemní a napájecí plochou a jaký to má vliv na výsledky?

Závěr

Závěrem mohu konstatovat, že i přes výše uvedené připomínky nejsou v práci patrné zásadní chyby teoretického charakteru. Vytyčené cíle disertační práce byly splněny a jádro práce bylo publikováno. Vypracováním disertační práce a předloženými publikacemi prokázal kandidát schopnost samostatné vědecké práce.

Proto **doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě.**

V Brně dne 22.5.2017



doc. Dr. Ing. Pavel Horský