

Oponentní posudek disertační práce doktoranda Ing. Zdeňka Kubíka na téma:

„Numerické řešení účinnosti stínění“

Oponovaná práce obsahuje 100 stran včetně příloh, které významným způsobem doplňují a ilustrují výsledky disertační práce.

Vlastní práce má 7 kapitol. První velmi stručná kapitola obsahuje motivaci, současný stav a cíle práce. Druhá kapitola shrnuje základní poznatky z teorie elektromagnetického pole. Třetí kapitola se nazývá Počítačové modelování. Čtvrtá navazující kapitola a pátá kapitola je věnována numerickým metodám řešení elektromagnetických polí. Šestá a sedmá kapitola – celkem 57 stran obsahují výsledky vlastní práce. Osmá kapitola tvoří závěr práce.

Zhodnocení významu disertace pro obor

Stínění elektronických zařízení určených k zpracování a přenosu informací je důležitým úkolem při návrhu bezporuchových elektronických zařízení. Je to úkol mimořádně náročný, protože tato zařízení zajišťují stále náročnější funkce a vzhledem k technologickému pokroku jsou stále složitější. Především se zvyšujícími nároky na rychlost posouvá se činnost elektronických zařízení do stále vyšších a vyšších frekvenčních pásem, pro které signály a poruchy mají přirozenou schopnost šířit se bez omezení volným prostorem a v dalších prostředích. Důsledkem je, že naše životní prostředí je prosyceno elektromagnetickými signály, jak přirozeného původu, tak i jako produkty nejrůznějších elektrických a elektronických zařízení.

Specializované normy určují omezení v případech kde by elektromagnetické záření mohlo škodit. Zajištění těchto norem však vyžaduje náročná měření. Stínění je významným technickým prostředkem k omezení škodlivého elektromagnetického záření a numerické modelování, kterým se zabývá oponovaná práce je vhodným prostředkem jak snížit cenu návrhu stínění.

Vyjádření k postupu řešení, k použitým metodám a k splnění cílů

Cíle práce jsou formulovány v 1. kapitole. Z formálního hlediska by se v jejich v jejich formulaci neměly vyskytovat neurčité výrazy jako „nastínit“, nebo výrazy jako „výzkum“, který označuje postup, který nelze s konečnou platností hodnotit.

K hodnocení prvního cíle by přispěla stručná přehledná odpověď na otázku *jaké metody a s jakým úspěchem byly v práci použity*. Druhému a třetímu cíli je věnována v práci 6. kapitola, která podrobně uvádí zajímavé výsledky dokumentované na výpočtu vlastností ventilační mřížky. Otázkou zůstává *jak účinnost stínění ovlivní průchodky, které ve svém středu mají vodiče*.

Za splnění čtvrtého cíle práce, které je možné přiřadit ke kladným výsledkům hodnocené práce, považují kritické hodnocení definic účinností stínění.

Z metodického hlediska byla v práci použita klasická teorie elektromagnetického pole a pro řešení rovnic, které z této teorie vycházejí, byly použity numerické metody souhrnně nazývané jako metody konečných prvků. Tyto metody řešení parciálních diferenciálních rovnic se mohly nepochybně uplatnit díky současnému pokroku v technických prostředcích počítačů. Našly uplatnění v nejrůznějších oblastech. Jejich použití však současně brzdí vysoké nároky na rychlost a tím i cenu technického vybavení.

V této posudku chci upozornit na omezení, která plynou ze samotné teorie elektromagnetického pole, která s velkou přesností odpovídá na otázky spojené se šířením elektromagnetického záření ve volném prostoru a izolantech. V kovech a na jejich povrchu bych se omezil pouze na definici hloubky vniku a na tvrzení, že lze z termodynamických úvah stanovit ekvivalentní hodnoty materiálových konstant na povrchu. Řešení průniku záření

překážkou 50 μm (str. 25) má pouze akademickou a těžko ověřitelnou platnost. Z toho plyne otázka *jakou tloušťku by měla mít vodivá překážka, aby z technického hlediska zabránila šíření elektromagnetických vln.*

Na šíření elektromagnetického záření na rozhraní s kovy a dalšími vodiči má významný vliv povrchová úprava. Tvrzení, že nejpoužívanější stínicí materiály jsou měď a železo nepovažuji za přesné. Měď a její kysličníky mohou vykazovat na povrch některé anomálie a železo jako konstrukční materiál se používá zpravidla jako ocel, tj. směs železa a uhlíku. Běžnými materiály jsou též hliník a zejména slitiny hliníku. Při experimentech v práci je použit pozinkovaný plech.

Otázkou je *jaký vliv má povrchová úprava na kvalitu stínění a jak by bylo možné tento vliv modelovat.*


Závěr

Výsledky obsažené v práci dokládají užitečnost modelování při návrhu stínění. Přes omezenost technických prostředků jsou prakticky využitelné.

Z hlediska systematickosti, přehlednosti, formální úpravy a jazykové úrovně nemám žádné výhrady. Rozsah a obsah jednotlivých kapitol je vyvážený a přehledný.

Seznam literatury obsahuje 14 citací, které dokládají autorství a spoluautorství doktoranta na publikacích v odborných časopisech a na odborných konferencích. Publikační činnost považuji za přiměřenou.

Oceňuji, že práce obsahuje množství hodnotných výsledků, které svědčí o tom, že doktorand splnil cíle předložené práce a doporučuji proto disertační práci k obhajobě dle zákona č. 111/98 Sb. § 47.



Ing. Jaromír Braun, DrSc.

Oponentský posudek
disertační práce pana Ing. Zdeňka Kubíka

Numerické řešení účinnosti stínění

předložené k obhajobě na Fakultě elektrotechnické ZČU v Plzni v roce 2012

Posudek vypracoval: doc.Ing. Ondřej Fišer, CSc.,

Pan Ing. Zdeněk Kubík předložil k obhajobě disertační práci, která spadá do velmi důležitého a rapidně se rozvíjejícího oboru „Elektromagnetická kompatibilita.“ Autor řeší účinnost stínění, téma se tedy dotýká jak problematiky elektromagnetické interference, tak susceptibility. Téma práce je tedy v dnešní době nárůstu rušení a zvyšujících se požadavků na odolnost elektronických zařízení velmi aktuální.

Vlastní práce se skládá z 80 stran textu (který ale obsahuje i velké obrázky) a 14 jednostránkových příloh. Umístění doplňkových grafů do příloh považuji za vhodný příspěvek k přehlednosti práce.

Cíle práce formuluje autor na str.2 v části 1.3

-Nastínit vhodné numerické metody pro řešení problémů v elektromagnetické kompatibilitě, které jsou dále použitelné pro výpočty účinnosti stínění.

- Ověřit s pomocí metody konečných prvků zažitou praxi pro výpočet kritického kmitočtu vlnovodu, kdy se vlnovody geometricky různých průřezů přepočítávají na kruhové vlnovody s ekvivalentním průřezem a dále se s nimi zachází jako s kruhovými vlnovody. Předlohou k tomuto problému byl zvolen nepravidelný šestiboký vlnovod, ze kterých je složena ventilační struktura stíněné měřicí komory Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni.

- Zjistit účinnost stínění jednotlivých podkritických vlnovodů a vlnovodových struktur, které jsou v současnosti používány pro dva hlavní účely – pro kabelové průchodky přístrojových skříní a pro ventilační struktury přístrojových skříní či měřicích komor.

- Výzkum v oblasti účinnosti stínění perforovaných přístrojových skříní, kde je nutno uvažovat nevhodnost standardní definice účinnosti stínění a ilustrovat nové postupy pro numerické řešení účinnosti stínění.

Podle mého názoru tyto cíle autor splnil.

Struktura práce je logická a přehledná.

Hlavní přínos práce vidím v rozboru účinnosti stínění tam, kde nelze automaticky uplatnit její definici, protože v běžně používaných definicích vychází účinnost ze dvou bodových hodnot. Zde autor tvůrčím způsobem přispěl k vyjasnění speciálních případů, kdy k vyjádření elektromagnetického pole použil integrace. Cenné jsou autorovy transformace vlnovodů (zde otvorů ve stínících krytech) libovolných průřezů na hypotetický vlnovod kruhový a dále výpočty kritických kmitočtů i nalezení vidů s nejnižším kmitočtem. Autor též potvrdil vhodnost použitých numerických modelů k návrhu stínících krytů používaných v EMC, zvláště v případech, kdy nelze použít měřicích metod.

V práci též autor provedl originální analýzu stínících skříní.

Str.47 Obr. 6.22 – není uvedeno, co znamenají parametry T a S (je to jen v textu)

Str.48 pod rov. 6-98 co to je “jednotkový vlnovod?”

Str.52 první věta: co to je „Teorie účinnosti SE?”

Str.55 nad rov. 7-8 nerozumím tomu, co autor míní výrazem „empiricky zapsat vztahy“

Str.63 podkapitola 7.4. – není jasná první věta – „Hardwarový prostředek“- má autor na mysli výkonný počítač ?

Otázky k obhajobě


- Prosím vysvětlete tvrzení ze str. 36 disertační práce: „Pokud existuje pouze jeden reálný kořen této rovnice, je jisté, že se jedná o nejnižší vid šíření vlny vlnovodem – TE₀₁ nebo TE₁₀.“

- Prosím vysvětlete větu (str.55 5. řádek shora) „Ze vztahu 6-18 vyplývá, že absorpční útlum není závislý na zdroji signálu, tj. dominantní složkou se stává útlum odrazem.“ Proč útlum odrazem?

Závěr

Oponovaná Disertační práce pana Ing. Zdeňka Kubíka autorským způsobem zpracovala problematiku stínících krytů v EMC a obsahuje vlastní autorův přínos – především zdůvodněný model použitelný pro praxi. Práce podle mého názoru splňuje požadavky kladené na disertační práce a je v souladu se zákonem č.111/1998 Sb. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí a vědecké práce a proto doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě.

V Praze, dne 10.4.2012


doc.Ing. Ondřej Fišer, CSc.
ÚFA AVČR Boční II 1401, 141 31
Praha 4
a FEI UPCE

Oponentní posudek dizertační práce

Autor práce: Ing. Zdeněk Kubík

Název práce: Numerické řešení účinnosti stínění

Studijní obor: Elektronika

Školitel: doc. Ing. Jiří Skála, Ph.D.

Předložená dizertační práce se zabývá tematikou elektromagnetické kompatibility, která je v dnešní době velice aktuální. Prostředí kolem nás je zaplněno velkým množstvím elektrických zařízení, které se působením vysokofrekvenčního elektromagnetického pole navzájem ovlivňují. S tímto faktem je nutné počítat již při návrhu samotných zařízení a zamezit šíření v pole vně i do vnitřních prostor zařízení vhodným stíněním.

V úvodu práce autor stručně popsal současný světový stav problematiky stínění elektromagnetického pole. Zaměřil se zejména na vývoj definice účinnosti stínění a numerické a počítačové modelování. Cíle, které si autor v této kapitole naformuloval, jsou dostatečné a byly splněny v následujících kapitolách.

Ve druhé kapitole jsou shrnuty základní poznatky elektromagnetického pole s ohledem na vyšší frekvence. Problematika je dle mého názoru zpracována velice stručně a zasloužila by si více prostoru a podrobnější diskuzi odvozených rovnic. Rovněž následující kapitola, která se věnuje popisu numerických metod, by si zasloužila více pozornosti. Autor zcela opomíjí moderní metody řešení parciálních diferenciálních rovnic. Nicméně metody řešení nejsou hlavním autorovým zájmem a stručnost těchto kapitol nijak nesnižuje vlastní přínos k řešené problematice.

Význam dizertační práce pro obor

Vlastní jádro dizertace je obsaženo v kapitolách 6 a 7. První z nich se věnuje vlivu ventilačních otvorů na efektivitu stínění malých skříní. Autor zde srovnává analytické a numerické řešení vlnodůů různého typu a věnuje se také vlivu jejich počtu na celkovou účinnost stínění. Autor ukazuje, že obecně používaný přepočítání vlnovodu libovolného tvaru na kruhový je zatížen chybou, která je podrobně rozebrána.

Kapitola 7 se zabývá stíněním technologických otvorů malých skříní. Autor zde upozorňuje na řadu problémů, které plynou ze samotné definice účinnosti stínění. Ta je ve většině případů definována pro rozměrná tělesa a její přímé využití pro malé skříně není vhodné. Ing. Zdeněk Kubík vhodně využívá pro hledání kritických frekvencí metodu konečných prvků a vlastní energetickou definici stínění. Navržený model je dále ověřen měřením v komoře a je zde konstatována dobrá shoda. Využití numerických metod a počítačového modelování je jistě vhodným prostředkem pro návrh stínění malých skříní, u kterých není často možné provést vzhledem k rozměrům vhodná měření. Autor v této kapitole zavádí řadu vlastních originálních řešení problémů stínění a hledání vlastních kmitočtů malých skříní. Uvedené postupy jsou zcela nové a závěry, které z nich plynou, jsou velmi cenné.

Obě kapitoly jsou doplněny velkým množstvím ilustračních obrázků a grafů, které jsou v doprovodném textu podrobně okomentovány. Z uvedených kapitol je patrné, že se autor problematikou dlouhodobě zabývá.

Formální a jazyková úroveň

Práce je zpracována velmi pečlivě s minimem překlepů a chyb. Je rozdělena na 8 kapitol, které jsou dále logicky členěny do několika podkapitol. K přehlednosti práce přispívá zařazení seznamů použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a 8 příloh, které vhodně doplňují zkoumanou problematiku.

Poznámky k práci

- str. 13, vztah 4-15: U definice PML se využívá pojem „magnetická vodivost prostředí“, která není dále nijak vysvětlená. Bylo by vhodné zmíněný pojem lépe definovat.
- str. 37, obrázek 6.11: Uvedené obrázky mi připadají nepřehledné. Význam veličina „neff_rfwb“ není vysvětlen.
- str. 38-41, obrázek 6.12-6.15: Na obrázcích část a) je zobrazena povrchová diskretizační síť, která ovšem nemá prakticky žádnou vypovídací hodnotu. Bez uvedení stupně polynomu, který byl využit k aproximaci, celkového počtu stupňů volnosti a konvergence řešení, je tato informace dle mého názoru zbytečná.
- str. 60, obrázek 7.7: Z obrázku není patrná souvislost jednotlivých módů. Rovněž není patrné, zda je pro všechny varianty použita stejná barevná škála.

Otázky

1. V dizertační práci je uveden příklad výpočtu vlastních kmitočtů na příkladu jedné skříně malých rozměrů. Bylo by možné navrženou metodu výpočtu zobecnit a využít jako standardní metodu při návrhu těchto zařízení?
2. Práce se zabývá převážně modelováním účinnosti stínění. Do budoucna by bylo jistě vhodné i navrhnout vhodné postupy měření těchto skříní, které nejsou zatím příliš zavedené. Jaké hlavní problémy by bylo nutné vyřešit?

Publikace autora

Autor v průběhu svého studia publikoval 10 prací na tuzemských a mezinárodních konferencích, z nichž jedna byla vydána v prestižním impaktovaném časopise. Dále je spoluautorem dvou funkčních vzorků a jedné softwarové aplikace. Je tedy zřejmé, že jádro disertační práce bylo v dostatečné míře publikováno, přičemž celkový počet uvedených publikovaných prací odpovídá obvyklému požadovanému množství publikací doktoranda.

Ing. Zdeněk Kubík splnil stanovené cíle doktorské disertační práce. Disertace obsahuje původní vědecké poznatky v oblasti elektromagnetické kompatibility. Předložená práce je v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a splňuje požadavky na úroveň doktorských disertačních prací. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Plzni, dne 11. května 2012



doc. Ing. Pavel Karban, Ph.D.