

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Zdeněk Řezníček: Numerická analýza vlivu elektromagnetických polí na malá letadla

Autor se ve své práci věnuje výpočetně náročnému úkolu numerického modelování interakce elektromagnetických polí s malými letadly. Za cíle si klade:

- Nalézt vhodnou metodu pro převod konstrukčních dat letounu do prostředí simulátorů EM pole a analyzovat možnosti těchto modelů s ohledem na shodu s EMC měřeními
- Experimentálně ověřit míru shody těchto simulací s reálnými měřeními

Formální náležitosti:

Dílo je nezvykle rozsáhlé: vlastní práce čítá cca 200 stran, přílohy 58 stran. Pozoruhodný je také počet poznámek pod čarou – 176. Bohužel, takto velký rozsah je spíše na překážku srozumitelnosti, stejně tak jako množství grafů, které dle mého názoru nemají vždy náležitou vypovídající hodnotu. S ohledem na množství papíru je s podivem, že nebyl použit oboustranný tisk. Práce obsahuje minimum gramatických chyb a je napsána na vysoké jazykové úrovni.

Věcný obsah práce:

Kapitola 2 se věnuje přípravě modelu letounu pro EM simulátory PAM-CEM a CST, studiu vlivu různých konstrukčních částí a EM modelům kompozitních materiálů, které tvoří podstatnou (a elektromagneticky důležitou) část letounu.

Porovnání výsledků (intenzity polí v různých bodech výpočetního prostoru) z CST a PAM-CEM bylo mj. provedeno pomocí metody FSV. Je škoda, že chybí její alespoň stručný popis (také metody IELF) a detailnější interpretace výsledků.

Jako názorné by se mi jevilo spočítat modul vektoru el. pole v řezech letadla pomocí obou simulátorů, tyto odečíst a graficky formou obrázku prezentovat rozdílové pole (ve stylu Obr. 2.6), představující prostorovou chybu PAM/CEM vůči referenčnímu CST (viz třetí odstavec na str. 57 práce).

Kapitola 3 srovnává výsledky simulací s orientačním měřením stínící účinnosti ve specifikovaných místech letadla. Zde postrádám alespoň stručný popis budících antén. Velice zajímavý je rozbor vlivu zemní roviny a vazebních cest.

Dále byl studován referenční (zmenšený) model trupu letounu s ohledem na elektromagnetické jevy v zabudované kabeláži.

Kapitola 4 využívá předchozích poznatků a věnuje se porovnání simulace a certifikačních měření na letadlech VUT100 a EV55. Shoda simulací a měření je vyhodnocována pomocí povrchových proudů na vnější straně letounu resp. intenzity el. pole ve vybraných místech uvnitř letounu. Zde postrádám detailnější popisy použitých budících antén a zejména proudových sond. Při jejich znalosti by např. v případě CST bylo možné použít vyzařovacích charakteristik antén jako zdroje (far-field source) a více se tak přiblížit realitě.

Shrnutí:

Vzhledem ke komplexnosti úlohy je těžko možné očekávat absolutní shodu simulovaných a měřených dat. O to více je třeba analyzovat vlivy dílčích materiálů a struktur a také dané metodiky měření. Zejména v těchto pečlivých rozborech, prolínajících se celou prací, spatřuji hlavní vědecký přínos předložené disertační práce.

Jádro disertační práce bylo publikováno zejména na zahraničních konferencích. Ing. Řezníček je hlavním autorem sedmi takových příspěvků a dále hlavním autorem článku v impaktovaném časopise Radioengineering. Je spoluautorem článku v časopise IEEE Trans. EMC.

Konstatuji, že stanovené cíle disertační práce byly splněny, práce odpovídá požadavkům na titul Ph.D. a doporučuji ji k obhajobě.

Prosím autora o diskusi následujících bodů u obhajoby:

- V práci jsem našel pouze jednu zmínku k verzi software CST (2008/2009). Tyto verze jsou z dnešního pohledu poněkud zastaralé; došlo k nějaké zásadnější inovaci v oblasti subgriddingu a kompozitních materiálů v novějších verzích? Byl proveden vliv hustoty a kvality použité mříže na výsledky simulací?
- Prosím o diskusi struktury použitých kompozitních materiálů (zejména s ohledem na možnou anizotropii). Je možné u použitého modelu kompozitu očekávat rozdílné chování pro různé polarizace dopadající vlny?
- Z pohledu EMC v (polo)uzavřených dutinách jsou zásadním faktorem vnitřní rezonance objektu, které na diskretních kmitočtech ovlivňují stínící účinnost. Zaráží mě, že tyto faktory nebyly detailněji diskutovány. Kupř. u případu kvádrů na Obr. 3.12 jsou patrné špičky (Graf. 3.7), které dle mého názoru korespondují s rezonančními frekvencemi takového dutinového rezonátoru. Podobně tomu zřejmě bude i u vlastního letadla, které by bylo v prvním přiblížení možno nahradit např. dutinou ve tvaru elipsoidu s otvory.

- Proč byla pro buzení zmenšeného modelu trupu (Obr. 3.14) použita jen jednoduchá monopólová anténa? Charakter buzené vlny a zejména úzkopásmovost ji nepředurčují pro podobný typ měření. Postrádám diskusi vlivu změny měřítka modelu na frekvenční pásmo. Rovněž i zde by byla vhodná analýza vnitřních rezonančních modů trupu.
- Str. 148 – není mi příliš jasné, jak byly stanoveny povrchové proudy ze simulátoru, prosím o diskusi kolem vztahu (4.1)
- Problematicke modelování EMC se intenzivně věnuje také simulátor FEKO, uvažujete o jeho budoucím využití? Jak se díváte na možnosti užití hybridních metod (např. MoM+FEM)?

V Praze dne 11.2.2014

doc. Ing. Pavel Hazdra, Ph.D.

