

Posudek disertační práce Ing. Marie Boháčové

Název práce:

Návrh sondy vířivých proudů a její aplikace pro zkoušení kompozitních leteckých konstrukcí

Prof. Ing. Karel Hájek, CSc., K217, Univerzita Obrany Brno, Kounicova 65, PS 13, 612 00 Brno

tel. 973 442 550, e-mail: karel.hajek@unob.cz

Ing. Marie Boháčová se zaměřila ve své disertační práci „Návrh sondy vířivých proudů a její aplikace pro zkoušení kompozitních leteckých konstrukcí“ na zkoušení kompozitních leteckých konstrukcí, a to metodou vířivých proudů, což je téma velmi aktuální. To dokumentuje i množství aktuálních literárních odkazů k této problematice. Jde do značné míry o mezioborové téma, kdy je nutno řešit poměrně velkou šíři problémů, počínaje základní problematikou projevu elektromagnetického pole v kompozitních látkách přes analýzu a optimalizaci elektromagnetických sond pro metodu vířivých proudů až po praktické ověřování a provádění této metody pro kompozitní materiály.

Dále je zřejmé, že vypracování předložené disertace vyžadovalo i značný objem experimentální práce.

Hlavním cílem disertační práce byl návrh sondy pro kontrolu kompozitních materiálů metodou vířivých proudů.

Tento cíl je rozdělen do dvou dílčích bodů, týkajících jednak optimalizace cívek sondy a dále analýzy vlivu stínících prvků na vlastnosti sondy. Dále je doplněn dvěma dílčími cíli, jednak experimentálním ověřením vlastností sondy a dále analýzou možností použití této metody s polem těchto sond.

Splnění celkového cíle a konkrétně prvního dílčího cíle – optimalizace elektrických a mechanických vlastností cívek sondy – není v disertační práci dostatečně doloženo. Naměřené výsledky sice dávají jistý předpoklad splnění tohoto cíle, ale jeho konkrétní posouzení nelze z předložené práce dostatečně posoudit. Proto by bylo žádoucí, aby doktorandka při obhajobě disertační práce tento nedostatek napravila. Co se týče posledního dílčího cíle, analýzy vhodnosti použití pole sond, považuji za splněný pouze povrchně, kdy mu doktorandka věnovala jen několik řádků v závěru práce.

Postup řešení problému a dosažené výsledky

Předložená práce má poměrně logické uspořádání. K použité metodice řešení mám ale určité námitky, když doktorandka nevyužila možnosti, které nabízí např. elektrické modelování měřící soustavy na počítači např. programy typu SPICE. Toto modelování by jí mohlo umožnit přesnější optimalizaci, než převážně použité experimentální řešení typu pokus-omyl. Ji zvolenou metodikou se doktorandka dopracovala k návrhu třech sond, z nichž sonda označená COMPROBE 10 MHz vykazuje nejlepší výsledky. Ale z doložených informací nelze spolehlivě posoudit, nakolik je předložené řešení optimální.

Při řešení druhého dílčího bodu se věnovala doktorandka analýze vlivu stínících prvků na vlastnosti sondy a na její výslednou použitelnost. Zde bych měl námitky k vyhodnocení vlivu jednotlivých materiálů. Přesto, že v práci není uveden ani zjednodušený náčrt mechanického uspořádání magnetického obvodu cívek, lze usoudit, že doktorandka nadhodnocuje praktický

význam rozdílu fáze při oddálení sondy. To, že u neferomagnetických materiálů dochází k výraznějšímu posuvu fáze při oddálení, není projevem vyšší citlivosti na fázový vliv detekované nespojitosti, ale spíše je projevem toho, že takovýto stínící kroužek vlastně snižuje vliv dalších sériově zařazených částí magnetického obvodu cívek. Proto se oddálení sondy projeví výrazněji než v dalších případech, kdy je v sérii v magnetickém obvodu vřazen vzduch či např. ferit. Z toho důvodu by jako hlavní kritérium vhodnosti použití měla být brána především dosažená citlivost na přímý vliv detekované nespojitosti.

Dále se mi jeví jako nedostačující vyhodnocení vlivu jednak stínících kroužků ale i vstupních impedancí měřicího přístroje a kapacity kabelu na vlastnosti cívek a optimalizaci jejich elektrických a mechanických parametrů. Tyto vlivy jsou podle mého názoru nedoceněné a nelze předpokládat, že daná volba parametrů cívek byla optimální pro všechny diskutované varianty. Zřejmě by vedly k závěru, že maximální citlivosti dosáhneme optimálním návrhem dané sondy pro danou variantu stínění a daný přístroj.

Nijak neodůvodněné zjištění doktorandky, že hloubka vniku vířivých proudů roste s kmitočtem (např. str. 89⁶) je v rozporu se základními poznatky fyziky. V uvedených souvislostech se mi jeví, že daný efekt je výsledkem dalších vlivů neoptimálního řešení systému cívek, především kmitočtových závislostí citlivosti, způsobených parazitními vlivy, např. parazitními kapacitami, připojenými především ke snímací cívce. Doktorandka se sice snaží vysvětlit tyto kmitočtové závislosti, projevující se např. v Graf. 7.1 a 7.2, str. 81 pomocí převzatého obr. 7.3, str. 80. Ale uvedené závislosti z obr. 7.3 platí jen pro dva vázané obvody se shodnými rezonančními kmitočty a obvykle se shodnými činiteli jakosti, což v diskutovaném reálném případě neplatí. I z toho je vidět, že vhodně zvolený elektrický model použitého systému by modelováním např. v programu SPICE dal přesnější odpovědi na dané otázky.

Z hlediska optimalizace vlastností cívek jsou diskutabilní i doktorandkou uváděné způsoby jejich vinutí, a to především na minimalizaci jejich vlastní parazitní kapacity. Na jednu stranu odůvodňuje tzv. vinutí cívek „na divoko“ a zapomíná i na tzv. křížové vinutí, na druhou stranu v diskusi nových poznatků (str. 87 3. odstavec) v rozporu s původním vyjádřením uvádí, že cívka byla vinuta „závit vedle závitu“.

Kromě uvedených připomínek k vlastnímu řešení práce jsem v textu našel více nevhodných či nesprávných formulací či tvrzení:

str. 19² „Toto snížení indukčnosti se projevuje zvýšením činného odporu“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení, není přímá souvislost hodnoty činného odporu a hodnoty indukčnosti.

str. 42¹⁴ „Napětí šumu je totiž úměrné proudu a má snahu vzrůstat rychleji než odpor.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení. Naopak existuje závislost, kdy napětí šumu odporu roste s jeho druhou odmocninou.

str. 44 2. odstavec: Doktorandka zapomíná na kompromisní modelování pomocí elektrického modelu např. programem MicroCap, který danou obvodovou složitost úlohy zvládne i v evaluační bezplatné verzi.

str. 46¹⁷ „Cívky...., že vlivem silnějšího magnetického pole lze dosáhnout zvětšení vlastní indukčnosti...“ - U lineárního či téměř lineárního systému nemá intenzita magnetického pole žádný vliv na vlastní indukčnost! Asi byl míněn vliv vyšší permeability a ne magnetického pole.

str. 46⁸ „Pro návrh vysokofrekvenční cívky se využije silného magnetického pole feritů.“ - Obdobně jako předchozí, namísto magnetického pole byla asi míněna vysoká permeabilita feritů.

str. 47³ „...abychom dosáhli co největší indukčnosti, je zapotřebí zamezit ztrátám.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení, obecně hodnota indukčnosti není závislá na ztrátách.

- str. 47¹⁴ „Vlastní kapacita je příčinnou vzniku rezonancí, které mění činný odpor....“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení, kapacita obecně nemění ztráty.
- str. 47¹⁵ „Tento režimnení závislý na elektronice přístroje.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení, není jasné, co je tím konkrétně míněno.
- str. 47¹³ „Počet závitů je navržen tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší hodnoty pracovní frekvence.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení. Je diskutována závislost lineární či nelineární, existuje tam nějaké maximum?
- str. 48³ „...dochází ke zmenšování průřezu ...a tím dochází k snižování indukčnosti.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení. Použijeme-li ferit stejných rozměrů, dojde ke zvýšení indukčnosti. Nejde více o vliv dalšího závitu nakrátko?
- str. 60⁸ „Tento režimnení závislý na elektronice přístroje.“ - Nepodložené a nevysvětlené tvrzení, není jasné, co je tím konkrétně míněno.
- str. 79¹⁰ „U vysokofrekvenčních obvodů dochází k přenosu energie i při malém stupni vazby.“ - U nízkofrekvenčních ne?
- str. 80⁶ „Při použití Nortec 600D se tento projev rezonance u feritového stínícího krytu neuskutečnil.“ - Nevysvětlené tvrzení, není objasněné proč. Není to způsobeno např. rozdílnou vstupní kapacitou přístroje?
- str. 87¹² „Abychom dosáhli vytvoření sekundárního magnetického pole v uhlíkovém vlákne, je zapotřebí vysoké budící frekvence....“ - Nevysvětlené tvrzení, je zapotřebí odůvodnit.
- str. 89³ „Při návrhu prototypu se vycházelo ze zkušeností, provedených experimentů a poznatků ostatních provedených experimentů.“ - = poznatků převzatých z uvedené literatury?
- str. 89¹³ „Vzhledem k tomu, že se zkoušení pohybuje na mezních kmitočtech přístrojů, nelze plně zaručit opakovatelnost měření.“ - To ale snižuje význam uváděných poznatků!

Vědecký přínos práce a význam pro rozvoj oboru :

Pokud to doktorandka při obhajobě prokáže, bude největším přínosem její práce optimalizovaný návrh vířivoproudé sondy pro NDT kontrolu kompozitních materiálů.

Za určitý přínos pro rozvoj oboru považují otevření některých otázek souvisejících s vlastnostmi a optimalizací sond a jejich aplikacemi pro kompozitní materiály.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Práce je zpracována z hlediska formální úpravy ve vysoké kvalitě a s velkou pečlivostí. Má dobrou grafickou úroveň.

I přes pečlivé zpracování se ale doktorandka nevyhnula některým formálním a technickým nepřesnostem, např.:

- str. 37 obr. 3.22 - příliš malé fonty,
- str. 37⁷ – více vrstvé – správně vícevrstvé.
- str. 37⁴ – dvou vrstvé – správně dvouvrstvé
- str. 38-39 – obr. 3.25 – popis na druhé straně
- str. 40 Obr. 3.28 „Senzor...(vpravo)“ – správně „Senzor...(vlevo)“
- str. 42¹⁷ „Dále je úměrný ...“ - správně - „Dále je úměrná ...“
- str. 72-73 – obr. 7.22 – popis jen na druhé straně.
- Odkaz na obrázek v textu se píše jako obr. s malým písmenem. Je zásadně používáno velké.
- Není zvykem označit obrázek s grafem jako Graf X.Y, viz např. str. 81.

Vyjádření k publikacím doktoranda

Své výsledky publikovala doktorandka jako hlavní autor či spoluautor v mezinárodním recenzovaném časopise, na mezinárodních i tuzemských konferencích. Tato publikační aktivita přijatelnou měrou verifikuje výsledky jeho práce v domácí a mezinárodní vědecké komunitě.

K disertační práce jsou přiloženy teze. V nich jsou stručně a výstižně vyjádřeny cíle a výsledky disertační práce. Jsou zpracovány na dobré úrovni a splňují požadavky kladené na tento typ dokumentu. Odrážejí se v nich i nedostatky, které vytýkám samotné disertační práci.

Otázky pro doktoranda:

1. Jaká je parazitní kapacita cívky vybrané sondy? Porovnejte ji s dalšími parazitními kapacitami (přívodní kabel, vstup měření). Jaké jsou vlivy těchto kapacit na vlastnosti sondy?
2. Jaký vliv na citlivost sondy má tvarové uspořádání feritového jádra sondy?

Závěr

Pokud doktorandka při obhajobě dostatečně konkretizuje optimalizaci mechanických a elektrických parametrů sondy, bude možno konstatovat, že prokázala schopnost vědecky pracovat a obohatila obor nedestruktivního testování kompozitních materiálů metodou vířivých proudů. Disertační práce i přes důležité výtky splňuje požadavky zák. č.111/98 Sb., §47 a přispívá k rozvoji oboru, ve kterém doktorand pracuje. Proto ji doporučuji k obhajobě a v případě dostatečného vysvětlení uvedených námitek při obhajobě doporučuji udělit vědeckou hodnost **Ph.D.**

V Brně dne 27. 9. 2017

Prof. Ing. Karel Hájek, CSc.