

OPONENTNÍ POSUDEK NA DISERTAČNÍ PRÁCI

Ing. Jiřího MATYÁŠE

Mikropáskové antény na bázi elektricky vodivých nanočástic

Aktuálnost tématu. Za poslední dekádu bylo v elektrotechnické databázi IEEE Xplore zveřejněno více než 300 prací, jež se věnují využití nanočástic při realizaci antén:

- V článku [1] je popsána realizace flíčkové antény, jejíž elektricky vodivý motiv sestává z materiálu obsahujícího uhlíkové nano-trubičky. Aby se elektrické vlastnosti antény přiblížily anténě vyrobené z měděné fólie, byl vodivý materiál dopován kovovými nano-částicemi.
- V příspěvku [2] je diskutován tisk antén pro rádiovou identifikaci (RFID) inkousty, které obsahovaly nanočástice oxidu mědi. Antény byly vyrobeny přímou depozicí na textilní či papírový substrát.
- Práce [3] se věnuje využití magneticky měkkých kobaltových nanočástic pro realizaci přeladitelných antén s vysokým ziskem.
- Ve [4] je popsán tisk planárních monopólů na polyimidovou fólii pomocí inkoustů, obohacených o nanočástice stříbra.

Uvedený ilustrativní výčet publikací dokládá, že předložená disertační práce je zaměřena na velmi aktuální výzkumné téma.

Cíl disertace je formulován na straně 11:

Z výchozích softwarových simulací vytvořit experimentální mikropáskové antény na bázi elektricky vodivých nanočástic uhlíku a stříbra, umístěných na polymerních substrátech.

V práci byly navrženy, simulovány a experimentálně ověřeny vlastnosti tří typů antén:

1. Planární obdélníkový monopól

Studovány byly dva monopóly. U prvního monopólu bylo rameno antény tvořeno vrstvou náhodně zapletených uhlíkových nano-trubic (str. 29 až 37). Vrstva změnila svou elektrickou vodivost, jsou-li v prostředí přítomny organické páry. Stejným měřením vodivosti anténního ramene lze určit koncentraci organických par.

V práci postrádám informace:

- Jakým způsobem bude stejnosměrná elektrická vodivost měřena a zda toto měření nebude mít negativní vliv na vysokofrekvenční vlastnosti antény při komunikaci.
- Jak závisí elektrická vodivost ramene monopólu na koncentraci organických par, jak lze měřicí systém kalibrovat, jaká je citlivost a přesnost takových měření.
- Jaké elektrické parametry vrstvy uhlíkových nano-trubic a substrátu PMMA byly použity v numerické simulaci antény.

Druhý monopól byl vyroben tiskem inkoustu s nano-částicemi stříbra na PET substrát (str. 55 až 61). Zatímco vyrobený monopól vykazoval rezonance na kmitočtech 2,0 GHz a 2,3 GHz, simulovaný monopól rezonoval na frekvenci 1,7 GHz. Tento rozpor není v práci bohužel uspokojivě vysvětlen.

2. Planární nesymetrický dipól

Dipól se dvěma nesymetrickými rameny byl vytištěn na PET substrát inkoustem, obsahujícím nano-částice stříbra (str. 38 až 45). Díky nesymetrii struktury bylo dosaženo dvoupásmového chování antény. Podle simulací (obr. 37) anténa rezonovala na kmitočtech 1,5 GHz a 2,5 GHz. Výsledky měření (obr. 27) však vykazovaly parazitní rezonance na kmitočtu 1 GHz a níže. Příčiny těchto parazitních rezonancí práce nevysvětluje.

3. Planární fraktální monopól

Rameno fraktálního monopólu odpovídá čtvrté iteraci Sierpinského křivky (str. 46 až 54). Simulace (obr. 53) v souladu s teorií vykazují tři rezonanční frekvence (0,6 GHz, 1,6 GHz a 2,6 GHz); výsledky měření (obr. 43) se se simulací shodují. V textu práce jsem nenašel informaci o materiálech, z nichž byl vyroben substrát antény a její vodivý motiv.

V práci postrádám odpovědi na následující otázky:

1. Proč byly k experimentům vybrány právě jen monopólové a dipólové antény? Proč chybí např. zástupce flíčkových antén?
2. Jaké byly při simulacích uvažovány elektrické parametry použitých substrátů a vodivých vrstev? Permittivita substrátů ovlivňuje velikost antén, elektrická vodivost substrátů a vodivých vrstev má vliv na účinnost antén.
3. Jak byly experimentální antény napájeny?
 - Z obr. 25 vyplývá, že vnitřní vodič koaxiálního napáječe byl napojen na jedno rameno nesymetrického dipólu a vnitřní vodič na rameno druhé. Napojení nesymetrického napáječe na vstup symetrické antény bez symetrizačního členu může vést k vybuzení asymetrických proudů a nekorektním výsledkům.
 - Z obr. 10, 41 a 54 není zřejmé, zda byl vnější vodič koaxiálního napáječe vodivě propojen s vodičem planárního reflektoru. Spojení středního vodiče s ramenem monopólu (mezi monopólem a reflektorem musí být průchodka) a vnějšího vodiče s reflektorem je nutnou podmínkou korektního napájení antény.
4. Proč každá z tištěných antén nebyla rovněž vyrobena z konvenční měděné fólie na konvenčním substrátu jako tzv. referenční struktura? Bez porovnání tištěných antén s anténami referenčními lze jen těžko zhodnotit vliv materiálů s nano-částicemi na vlastnosti antén.

Uvedené otázky je zapotřebí zodpovědět během obhajoby disertační práce.

Výše formulované dotazy vyjadřují můj zájem o obsah disertační práce a nijak nezpochybňují její odbornou úroveň. Svými dotazy jsem chtěl rovněž doložit, že cíl disertační práce – *realizovat planární antény na bázi elektricky vodivých nanočástic uhlíku a stříbra na polymerních substrátech* – byl beze zbytku splněn.

Zveřejnění jádra disertace. V databázi *Web of Science* je dostupných celkem osm prací Jiřího Matyáše. Za nejcennější publikaci považuji:

MATYAS, J.; MUNSTER, L.; OLEJNIK, R.; et al. Antenna of silver nanoparticles mounted on a flexible polymer substrate constructed using inkjet print technology. Japanese Journal of Applied Physics, 2016, vol. 55, no. 2, article 02BB13.

Impaktní faktor časopisu za rok 2015 je 1,122, což dokládá jeho kvalitu. Výše uvedený článek popisuje experiment s planárním nesymetrickým dipólem, který je podstatnou částí předložené disertační práce.

Ostatní části disertační práce byly zveřejněny ve sbornících konferencí, jež jsou rovněž dostupné na *Web of Science*.

Jádro disertační práce bylo podle mého názoru zveřejněno na kvalitní úrovni.

Původní přínos disertace. Předložená disertační práce přináší cenné skloubení výzkumu antén (planární monopóly a dipóly) s materiálovým výzkumem (materiály na bázi uhlíkových nano-trubic, inkousty obsahující stříbrné nano-částice). Původnost výsledků dokládají publikace Jiřího Matyáše na *Web of Science*.

Závěr. Předloženou disertační práci Ing. Jiřího Matyáše

D O P O R U Č U J I
k obhajobě.

Otázky

1. Na straně 9 v kapitole 1.1.1 píšete:

Vyrobít anténu ze železa není problém, a její vlastnosti to nikterak neovlivní.

Pokud planární anténu vyrobíme z mědi, jejíž vodivost je vyšší než vodivost železa, snížíme termální ztráty v anténním vodiči a zvýšíme účinnost antény. Jakou vodivost jste předpokládal v simulacích u tištěných kovových motivů a jakou účinnost simulované antény vykazovaly?

2. Na straně 10 v prvním odstavci kapitoly 1.1.4 píšete:

Originalita výzkumu spočívá ve využití nových postupů při použití elektricky vodivých nano-materiálů za účelem miniaturizace mikropáskového designu antény.

Rozměry planární antény jsou vztaženy k vlnové délce. Vlnová délka není ovlivněna vodivostí kovového motivu, ale permitivitou prostředí. Jakým způsobem lze tedy nano-materiály a nano-částice využít ke zmenšení rozměrů antén?

3. Směrové charakteristiky planárních obdélníkových monopólů v rovině E jsou zobrazeny na obr. 17 až 19 (rameno z vrstvy náhodně zapletených nano-trubic) a na obr. 62 až 65 (rameno z inkoustu se stříbrnými nano-částicemi). Podle těchto charakteristik monopóly září nad reflektorem i pod reflektorem stejně. Reflektor by však měl vyzařování omezovat pouze na poloprostor nad reflektorem. Čím je zapříčiněn tento rozpor?
4. Na obr. 44, 45, 48 a 50 je zobrazeno vyzařování fraktálního monopólu na kmitočtu 3 GHz a na obr. 46, 47, 49 a 51 vyzařování monopólu na frekvenci 5 GHz. Proč nebylo vyzařování antény zkoumáno na jejích rezonančních kmitočtech 0,6 GHz, 1,6 GHz a 2,6 GHz?

Literatura

- [1] KELLER, S. D.; ZAGHLOUL, A. I.; ALVAREZ, N. T.; MALIK, R.; SHANOV, V.; SCHULZ, M. J.; MAST, D. B. Effects of metal nanoparticle doping and in-situ atmospheric pressure plasma treatment on carbon nanotube sheet antenna performance, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2016, vol. PP, no.: 99, DOI: 10.1109/LAWP.2016.2621665
- [2] SIPIÄ, E.; LIU, J.; WANG, J.; VIRKKI, J.; BJÖRNINEN, T.; CHENG, L.; SYDÄNHEIMO, L.; UKKONEN, L. Additive manufacturing of antennas from copper oxide nanoparticle ink: Toward low-cost RFID tags on paper- and textile-based platforms, *Proceedings of 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2016)*, Davos (Switzerland): European Association on Antennas and Propagation, 2016, DOI: 10.1109/EuCAP.2016.7481676
- [3] ALHASSOON, K.; MALALLAH, Y.; CHINNASAMY, C.; MARINESCU, M.; DARYOUSH, A. High gain tunable stacked antenna using soft FeCo nanoparticles, *Proceedings of IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS 2016)*, Austin (Texas): IEEE, p. 207-210, DOI: 10.1109/RWS.2016.7444406
- [4] LUKACS, P.; PIETRIKOVA, A.; POTENCKI, J.; TOMASZEWSKI, G. UWB antenna based on nanoparticles of silver on polyimide substrate, *38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE 2015)*, Eger (Hungary): IEEE, p. 408-413, DOI: 10.1109/ISSE.2015.7248031

V Brně dne 16. ledna 2017



prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Ústav radioelektroniky, FEKT VUT v Brně, Technická 12, 616 00 Brno
Tel: 541 146 555, email: raida@fec.vutbr.cz

Posudek disertační práce

Název disertační práce: **Mikropáskové antény na bázi vodivých nanočástic**
Doktorand: **Ing. Jiří Matyáš**

Doktorand si zvolil aktuální téma, které se týká využití elektricky vodivých nanomateriálů ke konstrukci pasivních mikropáskových antén. Disertační práce je rozdělena do osmi kapitol. Ve 2. kapitole jsou stanoveny cíle disertační práce (DP). Hlavním cílem je vytvoření experimentálních mikropáskových antén na bázi nanočástic uhlíku a stříbra na polymerních substrátech, a to na základě provedených simulací jednotlivých modelů antén pomocí CST Microwave Studio. Pět dílčích cílů upřesňuje obsah předložené DP. Splnění náročných cílů bylo reálně dosaženo výsledky jsou přínosem pro konstrukci mikropáskových antén. Použití nanomateriálů pro konstrukci miniaturizovaných antén je velice perspektivní.

V první kapitole je stručně zhodnocení současného stavu z hlediska konstrukce antén a používaných materiálů. V třetí kapitole jsou stručně popsány metody použité v DP. Ve 4. kapitole je teoretický rozbor mikropáskových antén, popis jednotlivých typů mikropáskových antén a modelování těchto antén se sledováním jejich klíčových parametrů. Pátá kapitola popisuje experimentální výsledky navržených antén. Tyto praktické zkušenosti doktoranda jsou dobrým dokladem splnění náročných podcílů DP. Jako velice perspektivní je možnost použití fraktální geometrie popsané v odstavci 5.6. a zhodnocení naměřených výsledků v odstavci 5.6.3.

V 6. kapitole jsou popsány předpokládané možnosti použití navržených antén. Sedmá kapitola se stručně zabývá přínosem DP pro vědu a praxi. V 8. kapitole je stručný závěr. První vzorky experimentálních antén navržených a změřených doktorandem jsou původní a přínosné pro pokrok v návrhu bezdrátových komunikačních systémů.

Po formální stránce je DP napsána logicky a podle použité literatury lze konstatovat, že doktorand se dobře orientuje v řešené problematice.

Za velice přínosnou považují publikační činnost doktoranda, zejména přijatý český patent 304850 (2014), užitný vzor 26489 (2014) a podanou evropskou patentovou přihlášku.

Řešení zadaného cíle disertační práce je logické a systematické. Tomuto postupu odpovídá i struktura práce, včetně její osnovy, která je propracována do potřebných detailů. Práce je přehledně členěna do osmi hlavních kapitol a několika podkapitol, které na sebe logicky navazují a dostatečným způsobem popisují řešenou problematiku. Z hlediska metodiky řešení práci hodnotím velmi kladně. Výzkumné metody jsou účelné a vhodné prokazují správné řešení stanovených cílů. Kladně je hodnoceno detailní dokumentování experimentální části DP. Obzvláště přínosné je použití uhlíkových nanotrubiček a využití schopnosti antény pro detekci organických par. Výsledky tohoto měření jsou na obr.22. Technologicky je přínosný i tisk flexibilní antény na PET substrát s inkoustem na bázi stříbrných nanočástic.

Závěr: disertační práce splnila všechny sledované cíle, odpovídá oboru disertace a zabývá se velice perspektivní problematikou mikropáskových antén.

Dosažené výsledky disertační práce jsou přínosné pro simulaci a experimentální ověření navržených antén. Dosažené výsledky byly publikovány na vědeckých konferencích, v časopisech.

Závěr: disertační práce přináší nové poznatky v návrhu mikropáskových antén.

Na základě seznamu vědecké činnosti autora a jeho prezentací na konferencích lze konstatovat, že **Ing. Jiří Matyáš má dostatečnou vědeckou erudici potřebnou pro získání vědeckého titulu.**

Dalším přínosem práce je, že podává originální řešení návrhu mikropáskových antén s předchozí simulací pomocí CST Microwave Studio. Práce obsahuje původní třípásmovou fraktálovou strukturu antén na bázi nanočástic stříbra. Dosažené výsledky jsou velice přínosné a nezbyvá jen doufat, že tento nový přístup k návrhu antén najde praktické použití.

Závěr: práce je přínosná pro další rozvoj vědy a techniky, zejména v oblasti mikropáskových antén.

Formálně je disertační práce vypracována přehledně, vzorně a neobsahuje podstatné pravopisné chyby. Přes velkou pečlivost autora DP jsem našel překlep na str. 23 u čísla vztahu (2.33) místo (4.33). Dále v seznamu symbolů a zkratk na str. 76 chybí popis parametru „a“ na str.23.

Připomínky k práci:

V úvodní kapitole a v závěru mohly být alespoň stručně popsány nějaké optimalizační metody použitelné při návrhu některých parametrů mikrovlnných antén. Dále by bylo zajímavé srovnání dosažených parametrů u patentově chráněných fraktálních antén s fraktální anténou navrženou doktorandem.


Otázky k obhajobě:

- 1) Která optimalizační metoda by mohla zlepšit parametry mikropáskových antén?
- 2) Jsou vhodné spirálové struktury u fraktálních antén?

S ohledem na skutečnosti, uvedené v oponentním posudku, doporučuji předloženou disertační práci **Ing. Jiřího Matyáše** k obhajobě. Uvedené připomínky nesnižují přínos této práce. Po úspěšném průběhu a závěru obhajoby doporučuji, aby doktorandovi **Ing. Jiřímu Matyášovi** byl udělen akademický titul

„Doktor“ (Ph.D.)

V Brně 15.1.2017


.....
prof. Ing. Pavel Ošmera, CSc.
Ústav automatizace a informatiky
Fakulta strojního inženýrství
Technická 2
616 69 Brno

Posudek disertační práce

Mikropáskové antény na bázi elektricky vodivých nanočástic.

(Microstrip Antennas Based on Electrically Conductive Nanoparticles)

Jiří Matyáš

Oponent: Jarmila Vilčáková

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Centrum polymerních materiálů

Předložená disertační práce Jiřího Matyáše se zabývá problematikou využití elektricky vodivých mnohostěnných uhlíkových nanotrubic (CNT) a nanočástic stříbra ke konstrukci pasivních mikropáskových antén. Cílem práce je navrhnout miniaturní, lehký mikropásek, který bude sloužit jako pasivní anténa. Konstrukční mikropásky antén jsou zhotoveny na základě provedených simulací modelů antén s využitím simulačního softwarového prostředí (CST Microwave Studio). Takto navržené nanomateriály by mohly sloužit v oblasti elektrotechniky a telekomunikací.

Disertační práce je předložena v rozsahu 83 stran s využitím 62 odkazů na literaturu. Práce je napsaná srozumitelnou a přehlednou češtinou a je rozdělena do následujících kapitol:

V kapitole *Zhodnocení současného stavu* nás autor seznamuje se základní terminologií studované problematiky (např. definicí antény a elektrickým rozměrem antén). V *teoretické části práce* nás autor uvádí do historie návrhu mikropáskových antén a jejich typů. Další podkapitola je věnována modelování těchto antén ve vztahu ke konstrukci, účinnosti antény a vyzářenému výkonu a rovněž, tak se věnuje činiteli jakosti a jeho významu pro optimalizaci antény. Tuto část autor uzavírá návrhem metod pravoúhlého mikropásku.

V experimentální části se student zvláště věnuje přípravě antén na bázi mnohostěnných uhlíkových nanotrubic a samostatně přípravě antén na bázi stříbrných nanočástic ve formě inkoustového tisku na flexibilním substrátu. Mikropásek na bázi CNT se současně jeví jako čidlo schopné detekovat odpařování organických rozpouštědel ve formě par. Kapitola dále obsahuje výsledky měření a simulací antény pro jednotlivé typy materiálů.

Pan Matyáš je autorem a spoluautorem celkem 6 publikací v renovovaných zahraničních časopisech a u 2 z nich je hlavním autorem. Dále autorem a spoluautorem 11 konferenčních příspěvků, 3 – funkčních vzorků, 1 – užitného vzoru, 1 – poloprovozu, 1 –

českého patentu a 1 – patentu podaného v Evropě (EP 3069410A1), což je důkazem schopnosti studenta samostatně pracovat i publikovat dosažené výsledky na veřejnosti.

Připomínky a otázky:

V kapitole Úvod byl použit pouze jeden odkaz na literaturu, což není mnoho. Celkově bych v disertační práci očekávala vyšší počet citací, vzhledem k aktuálnosti řešené problematiky. Dále pak na str. 10 začínáte (Obr.3a) a až na str. 13 je zmínka o (Obr. 1a). Na str. 12 je překlep ve slově "výsledů" na místo "výsledků".

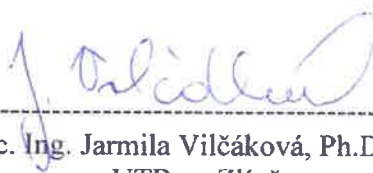
1. V Experimentální části používáte uhlíkové nanotrubičky (CNT) o nichž je známo, že vytváří shluky. Pomocí jakým metod, lze dosáhnout rozpletení CNT? Je vůbec rozpletení CNT žádoucí při Vašem experimentu? Jak by mohlo ovlivnit např. měřené dielektrické parametry mikropásku?
2. Na str. 31 píšete "aby se odstranily zbytky surfaktantů".
Jaký typ surfaktantů nebo-li povrchově aktivních látek jste použil v experimentu?
3. Při samotném tisku nanočástic stříbra byla ošetřena jejich oxidace?

Uvedené otázky nikterak nezpochybnují kvalitu předkládané práce a lze konstatovat, že práce plně odpovídá požadavkům kladeným na doktorskou práci a je v souladu s ustanovením par. 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách.

Doporučuji doktorskou práci Ing. Jiřího Matyáše k obhajobě a udělení akademického titulu

"Philosophiae doctor".

Ve Zlíně dne 15. ledna 2017



doc. Ing. Jarmila Vilčáková, Ph.D.
UTB ve Zlíně