

Oponentní posudek na disertační práci Ing. Viktora Adlera

„Spatial Vector Microwave Measurement“

Disertační práce je rozdělena do sedmi kapitol. První kapitola podává úvod do problematiky a cíle práce, ve druhé kapitole je popsán princip vektorového měření pomocí mikrovlnného šestibranu (sixportu) a metody stanovování nejistot měření, třetí kapitola se zabývá popisem měřicí metody. Čtvrtá kapitola obsáhle diskutuje nejistoty měření popsané metody, pátá kapitola popisuje ověření funkčnosti metody na zjednodušeném případě jedné přijímací antény pomocí vektorového analyzátoru obvodů a šestá kapitola popisuje obvodovou realizaci samotné skalární měřicí metody. Sedmá kapitola potom shrnuje dosažené výsledky. Práce je psána v anglickém jazyce, formálně zpracovaná na velmi dobré úrovni.

Aktuálnost zvoleného tématu

Motivací práce bylo vyvinutí metody pro vektorové měření činitele přenosu, která bude používat levnější obvodové řešení, než je vektorový analyzátor obvodů nebo rozsáhlé anténní matice s heterodynním zpracováním přijatého signálu. Interferometrická metoda, která je popsána v práci, je analogií měření pomocí mikrovlnného šestibranu (sixportu), které bylo intenzivně zkoumáno zejména v 80. letech minulého století. Pro jednoduché aplikace mikrovlnného zobrazování bez nároků na vysoký dynamický rozsah a rychlost měření je metoda vhodná a téma je aktuální. Dnešní rychlý technologický pokrok již poněkud stírá cenovou výhodu interferometrického měření ve srovnání s kompaktními vektorovými řešeními v kmitočtovém pásmu, ve kterém byla metoda ověřena (tzn. do 20 GHz). Aplikace této metody v pásmu milimetrových kmitočtů a použití více přijímacích antén se jeví velmi perspektivní.

Cíle disertační práce a jejich splnění

Cíle práce jsou vytčeny v první kapitole takto

- vývoj metody pro měření vektorového činitele přenosu mezi dvěma anténami pomocí skalárního měření;
- snížení složitosti přijímací části zobrazovacího systému v porovnání s heterodynním řešením a vynechání potřeby dělicí struktury pro signál lokálního oscilátoru;
- využití případné redundance naměřených výsledků ke snížení nejistoty měření;
- laboratorní ověření navrhované metody.

Všechny vytčené cíle práce byly splněny.

Zvolené metody zpracování

Zvolené metody zpracování jsou adekvátní vytčeným cílům. Ve třetí kapitole je provedena podrobná analýza ideálního měřicího systému a jsou diskutovány meze použitelnosti skalární metody pro určení vektorového činitele přenosu. Ve čtvrté kapitole je provedena detailní analýza nejistot měření pomocí reálného systému se systematickými a náhodnými chybami měření, metody odpovídají současnému stavu poznání v této oblasti. V páté kapitole je popsána metoda ověřena pomocí vektorového analyzátoru obvodů, který sloužil jako verifikace naměřených výsledků. Rozdíly skalárního měření oproti referenčnímu měření pomocí vektorového analyzátoru obvodů jsou podrobně diskutovány. V šesté kapitole je provedena obvodová realizace celého skalárního systému. Vzhledem k nedostupnosti některých bloků s požadovanými vlastnostmi (dělič výkonu, fázový posouvač, proměnný zesilovač, přepínač) bylo nutné provést jejich návrh a zhotovení, pro ostatní prvky systému byly použity komponenty dostupné na pracovišti autora.

Výsledky disertace a nové poznatky

Práce podává podrobnou teoretickou analýzu měření vektorového činitele přenosu pomocí skalárního měření několika výkonových úrovní detektorem při změně zeslabení a fázového posunu v referenční měřicí větvi. Z analýzy vyplývají meze použitelnosti metody a nároky na obvodové prvky při požadované přesnosti měření, přičemž metoda není omezena použitým kmitočtem a byla by zajímavá její aplikace v pásmu milimetrových vln. Důležitým výsledkem je i podrobná analýza nejistot měření a srovnání s referenčním měřením pomocí vektorového analyzátoru obvodů, přičemž pro některé kmitočty je uváděná nejistota měření skalárního systému dokonce lepší. Návrh systému pro skalární měření v šesté kapitole je proveden na velmi dobré úrovni, autor se musel vypořádat s řadou konstrukčních problémů a prokázal schopnost samostatného návrhu poměrně komplexního systému, i když to nebylo těžištěm práce. Praktická realizace systému byla nakonec v kapitole 6 provedena jen pomocí jedné přijímací antény, pro rozvoj metody by nicméně bylo zajímavé teoreticky rozebrat i případ mnoha přijímacích antén pro multistatický zobrazovací systém.

Publikování jádra disertace

Jádro disertace bylo podle dostupných informací publikováno v jednom impaktovaném časopiseckém článku a na jedné mezinárodní konferenci. Na časopiseckou publikaci se v době psaní posudku odkazovaly dvě další práce jiných autorů. Ostatní publikace vzniklé během studia se přímo nevztahují k jádru disertační práce.

Dotazy, poznámky:

1. Vztah (4.2) udává průměrnou hodnotu náhodné proměnné s kruhovým normálním rozdělením. Tento vztah je problematický, pokud leží proměnná blízko koncových bodů úhlového intervalu a koncové body nejsou jasně definovány. Nad vztahem (4.2) je uveden odkaz na pramen [30], kde je v kapitole 2.2 uveden vhodnější vztah (viz (2.2.1) až (2.2.4) v [30], které zohledňují definici koncových bodů intervalu)

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \cos \varphi_j, \quad \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sin \varphi_j,$$

potom $\bar{\varphi} = \arctan(\bar{S}/\bar{C})$ pro $\bar{C} \geq 0$ a $\bar{\varphi} = \arctan(\bar{S}/\bar{C}) + \pi$ pro $\bar{C} < 0$.

2. Vynecháním „nehodných“ naměřených bodů (vztah 4.3) lze jistě dosáhnout nižší nejistoty měření, ovšem obecně je takovýto postup přinejmenším sporný a vede k přehnaně optimistickým závěrům ohledně přesnosti měření. Jaké je kritérium pro vynechání bodu z množiny všech naměřených hodnot (viz např. tabulka 5.1)? Může nastat i situace, kdy na daném kmitočtu mají všechny naměřené hodnoty fáze příliš velkou nejistotu měření a tedy činitel přenosu nelze s přijatelnou přesností určit (tzn. nelze zajistit vhodné nastavení vysílaného výkonu a fázového posunu v ref. větvi)?
3. Ve výpočtu nejistoty měření ve čtvrté kapitole je zanedbána složka nejistoty měření vlivem impedančního nepřizpůsobení mezi detektorem a anténou.
4. Zavedení korekčního faktoru κ (vztah 4.9) je poněkud zjednodušující, pokud nejsou uvažovány koeficienty rozšíření. Výsledky metody Monte Carlo jsou považovány za správné, což je pravda pouze v případě, že generujeme správná pravděpodobnostní rozdělení vstupních veličin a výstupní veličině dokážeme přisoudit správné pravděpodobnostní rozdělení a koeficient rozšíření. Z analýzy metodou Monte Carlo vyplývá pravděpodobnostní rozdělení výsledku, které je obecně odlišné od dvourozměrného normálního rozdělení a koeficient rozšíření je potřeba hledat metodami popsány např. v dokumentu

Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Extension to any number of output quantities. JCGM 102:2011 [Online]
<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.

5. Na str. 39 je uvedeno, že nejistota délky vedení v jednotce RTTU HP 8743A je 0,05 mm. Z textu není zcela zřejmé, zda byl použit externí kabel (jaké délky?), nebo se použilo vedení uvnitř HP 8743A, jak je uvedeno na str. 33. S jakou přesností bylo možné nastavit jednotlivé fázové posuvy na kmitočet 10 GHz?
6. V tab. 5.1 jsou ve druhém sloupci uvedeny jmenovité délky vedení 0 mm až 30 mm, kterým ovšem odpovídá ve třetím sloupci fázový posuv s určitou chybou. Prosim o vysvětlení.
7. V úvodu kapitoly 6 je uvedeno, že původní myšlenka anténní matice pro multistatický zobrazovací systém byla opuštěna pro svoji složitost a byla implementována pouze metoda inverzní syntetické apertury, která předpokládá pohyb měřeného objektu (v tomto případě rotaci). V čem spočívají hlavní překážky pro realizaci anténní matice a jak by se lišilo signálové zpracování, popř. jaké by byly meze použitelnosti takového systému? Použití anténní matice by také více odpovídal zvolený název práce „Prostorové vektorové mikrovlnné měření“.

Závěr

Práce popisuje metodu pro měření koeficientu přenosu mezi dvěma anténami založenou na metodě měření několika skalárních úrovní, která je jistým obdobou principu šestiportového měření. Nastavením několika různých fázových posunů v referenční měřicí trase a za předpokladu ideálních komponent v měřicí trase je dosaženo jednoznačného určení amplitudy a fáze vlny dopadající na detektor. Analýza nejistot měření, která je diskutována ve čtvrté kapitole, je pro rozvoj metody velmi důležitá a ukazuje meze použitelnosti při daném obvodovém řešení. Pro další rozvoj metody mohl být v práci alespoň naznačen ještě teoretický rozbor systému s mnoha přijímacími anténami. Za původní přínos považuji návrh a experimentální ověření měřicí metody a velký objem konstrukční práce.

Lze konstatovat, že předložená práce splňuje všechny podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní výsledky v souladu s §47, odst. 4 zákona č. 111/1998.

Na základě výše uvedeného rozboru práci

DOPORUČUJI

k obhajobě.

V Praze dne 23. 8. 2018

.....
Ing. Martin Hudlička, Ph.D.



Český metrologický institut, Oblast. inspektorát Praha
Oddělení primární metrologie vř elektrických veličin
Radiová 3, 102 00 Praha 10
Tel. 266 020 174, e-mail: mhudlicka@cmi.cz