

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73  
18000 Ниш · Србија  
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399  
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs; http://www.elfak.ni.ac.rs  
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 14 · P.O. Box 73  
18000 Niš - Serbia  
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399  
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs  
http://www.elfak.ni.ac.rs

ДЕКАН  
29.12.2015.

ОБАВЕШТЕЊЕ  
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата **мр Марије Милијић** под насловом «**Пројектовање интегрисаних штампаних антенских структура и 3Д рефлектора са потиснутим бочним листовима зрачења**» и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације налазе се у Библиотеци Електронског факултета у Нишу и могу се погледати до **13.01.2016. године**.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Факултета у напред наведеном року.

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан

Проф. др Драган Јанковић



## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА У НИШУ

**ПРЕДМЕТ:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом "Пројектовање интегрисаних штампаних антенских структура и 3Д рефлектора са потиснутим бочним листовима зрачења" кандидата мр Марије Милијић.

На седници Наставно-научног већа Електронског факултета у Нишу, одржаној 30.11.2015. године, по одлуци број 07/03-046/15-003, именована је Комисија за писање извештаја за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом "Пројектовање интегрисаних штампаних антенских структура и 3Д рефлектора са потиснутим бочним листовима зрачења" кандидата мр Марије Милијић, асистента Електронског факултета у Нишу, у саставу:

1. др Небојша Дончов, редовни професор, Електронски факултет, Ниш
2. др Вера Марковић, редовни професор, Електронски факултет, Ниш
3. др Бранко Колунџија, редовни професор, Електротехнички факултет, Београд
4. др Наташа Малеш-Илић, ванредни професор, Електронски факултет, Ниш
5. др Зоран Станковић, доцент, Електронски факултет, Ниш

На основу прегледа докторске дисертације Комисија подноси Наставно-научном већу Електронског факултета у Нишу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

у Нишу  
Прихваћено 29.12.15.  
Број  
07/03-046/15-004

Докторска дисертација кандидата мр Марије Милијић под насловом "Пројектовање интегрисаних штампаних антенских структура и 3Д рефлектора са потиснутим бочним листовима зрачења" написана је у складу са *Упутством за обликовање, објављивање и достављање докторских дисертација за дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу*, број 8/16-01-001/15-003 од 27.01.2015. године. Дисертација садржи 171 нумерисану страницу текста, 135 слика, 25 табела и 135 формула. Изложена је кроз осам поглавља која су организована на следећи начин: 1. Увод, 2. Антене, 3. Штампане антенске структуре, 4. Рефлектор антене, 5. Антенски нивои, 6. Дефиниција границе између блиске и далеке зоне зрачења код антена са великим слабљењем бочних лобова, 7. Закључак, 8. Литература. Списак коришћене литературе се састоји од 54 референце које су релевантне за област на коју се дисертација односи.

#### 1. Приказ докторске дисертације

Последњих неколико деценија штампане антенске структуре, због својих познатих предности имају све доминантнију улогу у телекомуникационим и радарским уређајима и системима, у односу на конвенционалне антенске структуре. Међутим, и штампане антенске структуре имају недостатке од којих је један од најзначајнијих проблем пројектовања и реализације штампаних антенских структура са великим слабљењем бочних лобова. Ова проблематика је, до скоро, била релативно мало

третирана у литератури у оквиру радова који су наведени у уводном поглављу дисертације.

У дисертацији су разматрани основни проблеми у пројектовању штампаних антенских структура са великим слабљењем бочних лобова, као и методе за њихово решење. Пројектовани су антенски низови у различитим варијантама реализације које обухватају коришћење различитих 3Д рефлекторских структура, као и планарних структура са равном рефлекторском плочом. Антенски низови који се састоје од широкопојасних пентагоналних дипола и цела напојна мрежа су реализовани у техници балансираног – симетричног микрострипа чиме се делимично решавају проблеми пројектовања штампаних антенских структура са великим слабљењем бочних лобова. Такође, извршена је анализа и пројектовање штампаних антенских низова са обликованим дијаграмом зрачења водећи рачуна и о слабљењу бочних лобова и појачању. Код свих пројектованих антенских низова посебна пажња је била усмерена на широкопојасности која је од изузетног значаја код савремених бежичних сервиса.

## 2. Садржај дисертације по поглављима

У првом поглављу дисертације представљене су штампане антенске структуре са великим слабљењем бочних лобова као предмет истраживања, њихова актуелност и значај као и претходна теоријска и експериментална истраживања. У наставку су дати недостаци и ограничења постојећих решења и предложене методе за њихово превазилажење. Наведене су почетне хипотезе и очекивани резултати. На крају уводног поглавља је дата организација дисертације са листом њених поглавља.

Следећа два поглавља дисертације представљају теоријску основу за разумевање даље приказаних истраживања и резултата. У другом поглављу су дати основни принципи рада антена и формирања електромагнетних таласа. Осим тога, наведени су најчешћи типови антена као и параметри којима се описују њихове карактеристике. Треће поглавље се детаљније бави штампаним антенским структурама кроз приказ најзначајнијих техника за њихову анализу и моделовање. Као посебан део трећег поглавља дат је кратак опис WIPL-D софтверског пакета који је био коришћен за моделовање предложених антенских низова у дисертацији.

По оцени чланова Комисије, главни допринос ове дисертације дат је у четвртом, петом и шестом поглављу. У четвртом поглављу су испитани утицаји различитих рефлекторских површина на дијаграм зрачења симетричних пентагоналних дипола у  $X$  фреквенцијском опсегу. Након теоријске дискусије о механизмима којима планарни и 3Д рефлектори утичу на параметре антена, спроведена је анализа њихових утицаја на широкопојасност и појачање симетричних пентагоналних дипола. С обзиром да се симетрични пентагонални диполи користе за синтезу антенских низова са великим слабљењем бочних лобова и низова са обликованим дијаграмом зрачења, очекује се да њихови параметри одређују и перформансе тих низова. Добијени резултати потврђују широк фреквенцијски опсег у коме се могу применити испитани симетрични пентагонални диполи са планарним рефлекторима, паралелним или управним на дипол, као и са корнер рефлекторима различитих углова.

Пето поглавље приказује моделовање, анализу и експерименталну верификацију антенских низова састављених од симетричних пентагоналних дипола. Најпре су развијени модели антенских низова са великим слабљењем бочних лобова. Приликом

моделовања штампаних антенских низова са великим слабљењем бочних лобова, неопходно је изабрати одговарајућу расподелу напајања којом се постижу задовољавајуће вредности антенских параметара (слабљење бочних лобова, појачање, тродецибелска ширине главног листа зрачења, итд.), али чија је реализација могућа фотолитографским поступком штампе. Због тога је посебно разматрана напојна мрежа која обезбеђује изабрану расподелу напајања за антенске низове са великим слабљењем бочних лобова. Напојна мрежа, која је такође симетрична микрострип структура, се састоји од трансформатора импеданси. Велико слабљење бочних лобова штампаног антенског низа захтева велику вредност педестала (однос максималне и минималне струје напајања у антенском низу) што условљава коришћење веома танких и веома широких трансформатора импеданси у напојној мрежи. Танки трансформатори импеданси могу бити механички непоуздани, лако може доћи до њиховог прекида и потребна је велика прецизност приликом њихове реализације; широки трансформатори импеданси могу имати више модове који отежавају пројектовање и уносе паразитне ефекте.

Приказани су модели практично истог антенског низа са различитим планарним и 3Д рефлекторским површинама. Пентагонални диполи у низу су једнаке импедансе на истом међусобном растојању. Код свих модела користила се иста напојна мрежа која је обезбеђивала потребну динамику напајања елемената низа. Употреба различитих рефлектора имала је за циљ испитивање утицаја паразитног зрачења које потиче од напојне мреже на очекивани дијаграм зрачења антенског низа. Симулациони резултати потврдили су почетне хипотезе да паразитно зрачење напојне мреже представља једно од најзначајнијих ограничења великог слабљења бочних лобова код штампаних антенских структура. Предложено решење овог проблема захтева коришћење корнер рефлектора што мањег угла којим би се делимично спречило паразитно зрачење напојне мреже, али би то такође утицало и на повећање појачања антенског низа. Сходно симулационим резултатима, реализован је антенски низ у корнер рефлектору угла  $45^\circ$ . Напојна мрежа, балун и антенски низ су штампани на истом супстрату што чини реализацију лаком, једноставном и јефтиним. Иако реализована антена има добро појачање и широкопојасност, мерени резултати за слабљење бочних лобова одступају од очекиваних симулационих резултата за 6.8 dB. Могући разлози одступања мерених од симулационих резултата су неидеални услови мерења, али и могућност грешке приликом штампања јако танких трансформатора импеданси у напојној мрежи.

Због тога је у наставку истраживања предложено моделовање антенских низова са великим слабљењем бочних лобова код којих би диполи у низу били различитих импеданси. Код првог предложеног низа, диполи у низу су различитих импеданси док се потребна динамика напајања, тј. тејперовање остварају кроз напојну мрежу са трансформаторима импеданси. Уколико су периферни диполи мање импедансе у односу на импедансе осталих дипола у низу, могуће је делимично решити проблем веома танких трансформатора импедансе. Такође, потребно тејперовање низа је могуће остварити и антенским низом дипола тејперованих импеданси који имају униформно напајање остварено преко серијске микрострип линије. Међутим, друга предложена антенска структура је ограничена могућностима реализације фотолитографским поступком штампе због чега се не могу постићи велике вредности слабљења бочних лобова.

У наставку истраживања, приказани су антенски низови са обликованим дијаграмом зрачења. Предложени модели су такође низови симетричних пентагоналних дипола

код којих се дијаграм зрачења обликује коришћењем одговарајуће расподеле напајања дипола у низу. Жељена расподела се остварује напојном мрежом трансформатора импеданси. Приказан је модел и експериментална верификација два антенска низа: први, са дијаграмом зрачења пропорционалан функцији косеканс квадрат елевационог угла и други, са дијаграмом зрачења равнoг врха. Оба предложена низа се налазе у корнер рефлектору угла  $60^\circ$  и намењени су за рад у X фреквенцијском опсегу. Реализовани модели оба низа показују веома добро слагање симулационих и мерених резултата. Такође, појачање и слабљење бочних лобова оба низа су са вредностима који су захтевани код многих бежичних комуникационих система. Поред тога, реализација предложених низова у симетричној микрострип технологији поступком истовремене штампе низа, напојне мреже и балуна је једноставна и јефтина. Ипак, највећа предност предложених низова је велика широкопојасност у поређењу са осталим реализованим штампаним антенским структурама са истим дијаграмом зрачења (антенски низ са косеканс квадрат дијаграмом зрачења) или са осталим антенским низовима уколико не постоји могућност поређења са штампаним антенским структурама (антенски низ са дијаграмом зрачења равнoг врха).

У шестом поглављу дисертације, испитана је граница између блиске и далеке зоне зрачења код антенских низова са великим слабљењем бочних лобова коју је неопходно одредити приликом експерименталних мерења. Анализиран је утицај броја елемената у низу, њиховог међусобног растојања и примењене расподеле.

У закључку кандидат је нагласио доприносе дисертације, изведени су закључци и наговештени правци даљег истраживања базирани на резултатима који су приказани у дисертацији.

### 3. Вредновање и оцена докторске дисертације

Резултати приказани у дисертацији представљају оригиналне доприносе кандидата мр Марије Милијић у области пројектовања штампаних антенских структура са потиснутим бочним лобовима зрачења. Презентовани резултати су проверљиви, поновљиви и у пракси применљиви са експерименталном провером најзначајнијих закључака. Већина презентованих резултата је објављена у часописима са СЦИ листе, националним часописима верификованим посебним одредбама и осталим националним часописима, на међународним и националним конференцијама. Такође, три техничка решења су настала приликом израде лабораторијских прототипова моделованих антенских низова.

Комисија као најзначајније доприносе у дисертацији истиче следеће:

1. Резултати анализе могућности и ограничења пројектовања великог слабљења бочних лобова код антенских низова реализованих у симетричној микрострип техници са различитим планарним и 3Д рефлекторским површинама;
2. Анализа побољшања и предности пројектовања антенских низова са обликованим дијаграмом зрачења реализованих у симетричној микрострип техници у односу на друге штампане, али и остале антенске низове са истим дијаграмом зрачења;
3. Провера широкопојасности симетричних микрострип антенских структура како усамљених дипола тако и њихових низова са различитим планарним и 3Д рефлекторским површинама;
4. Одређивање утицаја толеранција у фотолитографском поступку штампе на могућности реализације великог слабљења бочних лобова код штампаних антенских низова реализованих у симетричној микрострип техници.

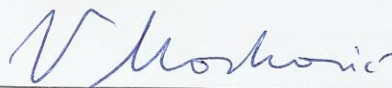
На основу увида у докторску дисертацију и извршене анализе, може се закључити да докторска дисертација мр Марија Милијић садржи више оригиналних доприноса везаних за моделовање штампаних антенских структура са потиснутим бочним листовима зрачења како са научног становишта тако и са аспекта практичне примене.

Имајући у виду актуелност обрађене проблематике и остварене резултате кандидата, Комисија предлаже да се докторска дисертација под насловом "Пројектовање интегрисаних штампаних антенских структура и 3Д рефлектора са потиснутим бочним листовима зрачења" прихвати и да се кандидату мр Марији Милијић одобри усмена одбрана докторске дисертације.

Чланови Комисије:



др Небојша Дончов, редовни професор,  
Електронски факултет, Ниш



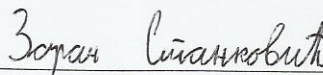
др Вера Марковић, редовни професор,  
Електронски факултет, Ниш



др Бранко Колунџија, редовни професор,  
Електротехнички факултет, Београд



др Наташа Малеш-Илић, ванредни професор,  
Електронски факултет, Ниш



др Зоран Станковић, доцент,  
Електронски факултет, Ниш