

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет
12. јануар 2024. године

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
БЕОГРАД

ПРИМЉЕНО: 12-02-2024			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	242		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Миливоја Милетића

Одлуком бр. 1799-21 од 05.12.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Миливоја Милетића под насловом

Широкопојасна рефлекторска антена

После прегледа достављене дисертације и пратећег материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

10.11.2015. године Миливоје Милетић уписао је докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Микроталасна техника, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. На докторским студијама положио је све испите са просечном оценом 10,00.

02.06.2022. године Миливоје Милетић пријавио је тему за израду докторске дисертације под радним називом „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“.

07.06.2022. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације упутила је Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

23.06.2022. године на 874. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Милан Илић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Весна Јавор, ванредни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет и
- др Предраг Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

За ментора је предложен

- др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

11.07.2022. године обављена је јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, пред Комисијом у саставу:

- др Милан Илић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Весна Јавор, ванредни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет и
- др Предраг Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

На одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Комисија је закључила да је кандидат добио оцену „задовољно“.

19.09.2022. године на 876. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

10.10.2022. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност за предлог теме докторске дисертације Миливоја Милетића под насловом „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“. (Одлука бр. 61206-4052/2-22 од 10.10.2022. године).

01.11.2023. године Миливоје Милетић предао је на преглед и оцену докторску дисертацију под насловом „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“.

28.11.2023. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

05.12.2023. године на 892. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (Одлука бр. 1799-21 од 05.12.2023. године) у саставу:

- др Милан Илић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Весна Јавор, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет,
- др Предраг Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Миодраг Тасић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет и
- др Милка Потребих, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“ кандидата Миливоја Милетића припада научној области Електротехника и рачунарство, ужа научна област Електромагнетика, антене и микроталаси, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Ментор докторске дисертације је др Драган Олћан, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Миливоје Милетић рођен је 20.01.1990. године у Лесковцу. Основну школу и Гимназију завршио је у Лесковцу као носилац Вукове дипломе.

На Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао се школске 2009/2010. године. Дипломирао је 2014. године на модулу Микроталасна техника са просечном оценом 8,02, одбранивши дипломски рад „Компактна штампана инвертовано F антена за ISM 2,4 GHz“ са оценом 10. Ментор дипломског рада био је доц. др Миодраг Тасић.

Мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2014/2015. године на модулу Микроталасна техника, а завршио их је 2015. године са

просечном оценом 9,5. Мастер рад под називом „Израда управљачког система за позиционирање при антенском мерном месту“ одбранио је са оценом 10. Ментор мастер рада био је доц. др Миодраг Тасић.

Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2015/2016. године на модулу Микроталасна техника. На докторским студијама положио је свих 10 испита са оценом 10.

Коаутор је седам научних радова, два публикована у часописима са међународним значајем (један категорије M21, а други категорије M22), два саопштења са међународних скупова штампаних у целини (M33) и три саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63).

Од 2016. до 2021. године био је запослен на Институту Михајло Пупин у Београду у лабораторији за испитивање електромагнетске компатибилности Идворски Лабораторије. Прошао је обуку у примени ISO стандарда SRPS/EN ISO/IEC 17065 и 17025 и учествовао је у испитивању и сертификацији преко 200 уређаја за домаће и инострано тржиште. Више пута је био предавач на семинарима које су организовали РАТЕЛ и Институт за Стандардизацију Србије.

Од марта 2021. године до августа 2022. године радио је као инжењер за развој микроталасне и радио опреме у Швајцарској компанији Polustech која се бави развојем система за побољшање јавне безбедности коришћењем савремених телекомуникационих технологија.

Од августа 2022. године ради као руководилац одељења за тестирање и валидацију у београдском развојном центру компаније Quectel Wireless Solutions, која развија модуле и антене за IoT уређаје. Од августа 2023. године постављен је за руководиоца одељења за антене и РФ мерења у истој компанији.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“ написана је на српском језику на 115 страна. Садржи 6 поглавља, 4 табеле, 74 слике, 33 једначине, које су посебно издвојене, и листу од 196 референци.

Наслови поглавља дисертације су:

1. Увод,
2. Принцип рада и преглед постојећих примена IRA-а,
3. Пројектовање и оптимизације IRA-е,
4. Пројектовање широкопојасног симетризатора и трансформатора импедансе,
5. Израда прототипа и експериментална верификација,
6. Закључак и
7. Референце.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** дат је преглед јавно доступних информација о широкопојасним рефлекторским антенама, као и о посебној класи ових антена која је ужа тема дисертације (енглески: *impulse radiating antennas*). Описани су основни принципи рада и основне електромагнетске и механичке карактеристике тих антена. Наведене су примене тих антена, као и проблеми који се срећу код њиховог пројектовања. Затим, представљени су главни доприноси истраживања, као и списак радова на којима је кандидат коаутор и који те доприносе верификује. Прво поглавље се завршава описом структуре дисертације.

У **другом поглављу** изложен је принцип рада широкопојасних рефлекторских антена уз дефиниције електромагнетских параметара од интереса (зона зрачења, улазна импеданса, коефицијент рефлексије, усмерено појачање, погонско појачање, ефективна површина

антене, итд.) Описани су први аналитички и нумерички модели широкопојасних рефлекторских антена, као и неколико репрезентативних примера прототипова. Детаљно је описана структура широкопојасних рефлекторских антена, где су посебно обрађени рефлектор, кракови антене, систем за напајање и отпорници за терминацију кракова. Изложене су варијације дизајна антене у зависности од примене. Кратко су наведени и импулсни широкопојасни извори сигнала који се могу користити као побуде за широкопојасне рефлекторске антене.

У **трећем поглављу** детаљно је описано пројектовање широкопојасне антене са циљем максимизације усмереног појачања у главном правцу зрачења, у што ширем фреквенцијском опсегу. Иако се широкопојасне антене преваходно користе за зрачење краткотрајних електромагнетских импулса, један од циљева дисертације био је модификација антене тако да може да зрачи простопериодично електромагнетско поље у дужем временском интервалу. Посебно, од интереса је била могућност да се антена прикључи на простопериодичне изворе средње снаге реда стотина вати, који се користе при испитивању електромагнетске компатибилности. С обзиром на то да такви системи стандардно имају импедансу 50Ω , разматран је утицај геометријских параметара антене како би се она што лакше прилагодила на постојеће системе. Описана је анализа издржљивости антене на побудне сигнале највећих разматраних снага. Затим је описано пројектовање антена са крацима, који су први пут објашњени у литератури, као и предности и мане таквог приступа. Разматрано је и пројектовање широкопојасних рефлекторских антена са крацима који се прво шире, а затим сужавају. Поред зависности параметара разматраних антена од учестаности, урађена је и приказана и анализа рада у временском домену, тј. у импулсном режиму рада. Посебно су оптимизовани облици кракова и дебљине кракова, а размотрене су ситуације када постоје отпорници за прилагођење на крајевима кракова, као и ситуације када су они уклоњени. Један од научних доприноса дисертације је и анализа компромиса који се могу остварити са отпорницима и без отпорника.

Пројектовање широкопојасног симетризатора и трансформатора импедансе, као интегралног дела за напајање антене, представљено је у **четвртном поглављу**. Представљен је концепт инвертованог микротракастог симетризатора са променљивом ширином траке. Показано је да се симетризатор истовремено може искористити и као трансформатор импедансе, како би се антена прилагодила на системе са импедансом од 50Ω . Описани су конструкција симетризатора и његово пројектовање коришћењем софтвера за нумеричку анализу вишепроводничких водова и тродимензионалних електромагнетских структура. Посебна пажња посвећена је облику симетризатора код места спајања са крацима јер се продужецима симетризатора може додатно модификовати импеданса. Теоријском и нумеричком анализом разматрани су различити положаји симетризатора на широкопојасној рефлекторској антени и изабран је оптималан положај за који је показано да занемарљиво мало утиче на зрачење антене у главном правцу.

Израда прототипа пројектоване широкопојасне рефлекторске антене, као и њена експериментална верификација изложени су у **петом поглављу**. Описани су израда рефлектора и добијено одступање у односу на прорачунати облик рефлектора. Затим је описана израда кракова који су направљени помоћу фотолитографске штампе на подлози FR4. Описани су и сви остали детаљи конструкције, као и састављање израђеног прототипа антене. Експериментална верификација састојала се из мерења на Електротехничком факултету у Београду и у акредитованој лабораторији за испитивање електромагнетске компатибилности „Идворски лабораторије“. Резултати добијени мерењима слажу се са резултатима прорачуна до нивоа очекиваних мерних грешака, као и грешака које су последице толеранција при изради. На крају, посебно је описан експеримент у ком је антена побуђена генератором снаге реда стотина вати, чиме је потврђено да пројектовани прототип испуњава постављене захтеве.

Закључак дисертације дат је у **шестом поглављу**.

На крају дисертације наведен је списак литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Пројектовање и оптимизација широкопојасних рефлекторских антена је област која се истражује последње три деценије. Посебан проблем представља њихова електрична величина која је таква да им је површина типично реда λ^2 , где је λ таласна дужина у слободном простору на учестаности од интереса за рад антене. Са друге стране, постоје делови структуре антене чије су димензије реда $\lambda/100$, а који имају изузетан утицај на улазну импедансу антене и перформансе система за напајање антене. Могућа је само груба теоријска анализа широкопојасних рефлекторских антена, а нумеричка анализа налази се на самој граници могућности данашњих рачунара и постојећег електромагнетског софтвера. Стога се описи ових антена данас срећу искључиво у научноистраживачкој литератури и не изучавају се на редовним курсевима антена. Међутим, широкопојасне рефлекторске антене имају техничке карактеристике које пружају могућност за њихово коришћење у областима у којима нису до сада коришћене, уз додатне модификације конструкције. То је уједно и научни допринос ове докторске дисертације.

Тачан утицај броја и облика кракова на перформансе антене могуће је анализирати искључиво нумеричком електромагнетском анализом и израдом прототипа, што је један од главних научних резултата ове дисертације. Наиме, теоријски и експериментално је показано да је оптималан број кракова шест, за разлику од четири крака (или два) колико је коришћено у свим резултатима који су јавно доступни.

Ради коришћења широкопојасне рефлекторске антене у системима са импедансом од 50 Ω , пројектован је оригиналан систем за напајање антене у виду инвертованог микротракастог симетризатора и трансформатора импедансе.

Утицај отпорника за прилагођење кракова на рефлектор, тј. прилагођење система за напајање широкопојасне рефлекторске антене на нижим учестаностима, разматран је нумеричким електромагнетским анализама. Експериментално су потврђени добијени резултати који показују да се отпорници могу изоставити уз минималне модификације дијаграма зрачења у два подопсега на ниским учестаностима (испод 3 GHz за израђени прототип који ради до 10 GHz). Изостављање отпорника омогућава да се антена користи са простопериодичним побудама снаге реда стотина вати, јер се тиме губици у антени свде искључиво на губитке у проводним материјалима од којих је антена начињена, а који по правилу имају велике специфичне електричне проводности (бакар, алуминијум, итд.) Разматрање могућности изостављања отпорника такође представља оригинални научни допринос дисертације.

Конечно, кроз систематизацију постојећих резултата и предложене модификације антене отворена је могућност коришћења широкопојасних рефлекторских антена и за намене које превазилазе импулсни режим рада.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је наведено 196 библиографских референци по редоследу појављивања у тексту. Један део референци цитиран је код хронолошког прегледа развоја широкопојасних рефлекторских антена, а други приликом прегледа постојећих резултата везаних за електромагнетске и механичке перформансе разматране класе антена. Приказана литература даје детаљан преглед јавно доступних резултата у областима које покрива тема дисертације. У оквиру литературе наведени су и коауторски радови кандидата публиковани у часописима и на конференцијама, а у којима су објављени најзначајнији научни резултати добијени током израде дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања представљеног у дисертацији спроведена је у неколико фаза.

- Прва фаза обухватала је прикупљање и теоријску анализу постојећих резултата из научних часописа у којима се објављују радови у вези са нумеричком и теоријском електромагнетском анализом антена, као и са експерименталном верификацијом прототипова антена. У овој фази кандидат је стекао увид у постојећа достигнућа у перформансама широкопојасних рефлекторских антена, као и постојеће проблеме и ограничења код пројектовања ових антена.
- Друга фаза је обухватала сагледавање проблема при пројектовању и коришћењу широкопојасних рефлекторских антена, као и постављање хипотеза. Установљено је да се ове антене по правилу пројектују и користе са највише четири крака, иако су постојале теоријске назнаке да већи број кракова може позитивно да утиче на импедансу антене, уз очување дијаграма зрачења. Системи за напајање ових антена су најчешће пројектовани за рад антене у импулсном режиму, при чему је врло често генератор уграђен у антену. Такође, све реализоване и разматране широкопојасне рефлекторске антене користе отпорнике на споју између кракова и рефлектора, ради прилагођења на нижим учестаностима и очувања дијаграма зрачења. Међутим, отпорници уносе губитке у антени који ограничавају максималне снаге сигнала којима се побуђује антена. У дисертацији је предложена нумеричка електромагнетска анализа на бази метода момената како би се одредио оптималан број кракова антене. Постављен је задатак да се пројектује симетризатор и трансформатор импедансе ради проширења могућности намене ове антене на системе са импедансом од 50Ω , а који ће очувати дијаграм зрачења. Постављена је хипотеза да је могуће изоставити отпорнике на крајевима кракова и тиме минимизирати губитке у антени.
- Трећа фаза истраживања била је израда параметарских нумеричких електромагнетских модела широкопојасне рефлекторске антене. У оквиру ове фазе систематизовано је спроведен велики број нумеричких експеримената коришћењем рачунара са највећим рачунским и меморијским могућностима. Разматране су антене са различитим бројевима кракова. Анализиран је и утицај отпорника на крајевима кракова на перформансе антене. Резултати добијени нумеричким анализама показали су да је оптималан број кракова шест, као и да је могуће изоставити отпорнике из антене.
- Четврта фаза истраживања обухватала је пројектовање широкопојасног инвертованог микротракастог симетризатора и трансформатора импедансе. Нумеричком анализом показано је да је могуће пројектовати такав симетризатор, а да он не квари дијаграм зрачења широкопојасне рефлекторске антене.
- Пета фаза истраживања била је израда прототипа и експериментална верификација добијених резултата.

Примењена методологија у потпуности одговара данашњем приступу пројектовању антена, као и стандардима научно-истраживачког рада. Такође, примењена методологија је у сагласности са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације као и са постављеним хипотезама.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати изложени у дисертацији знатно проширују могућност пројектовања и коришћења широкопојасних рефлекторских антена. Посебно, уз наведене модификације, широкопојасне рефлекторске антене могу се користити за испитивање електромагнетске компатибилности коришћењем стандардних система са импедансом од 50Ω и простопериодичним генераторима снаге стотина вати, у дужем временском периоду.

Такође нумеричка анализа пројектовања широкопојасних антена, која је систематизовано урађена, даје теоријски увид у могућности и ограничења ове класе антена.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Миливоје Милетић публиковао је најзначајније резултате из ове дисертације у једном раду у часопису са SCI листе и у једном раду на највећој светској научној конференцији посвећеној антенама. Истраживање је захтевало теоријски увид у пројектовање широкопојасних рефлекторских антена, поставку великог броја нумеричких електромагнетских анализа, анализу добијених резултата и експерименталну проверу. Доприноси дисертације потврђују способности кандидата за самосталан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији су остварени следећи научни доприноси.

- Нумеричком електромагнетском анализом утврђен је оптималан број кракова (шест) којим се добија максимално зрачење антене у главном правцу, а импеданса антене има минимална одступања од средње вредности, чиме се омогућује најједноставније прилагођење на системе са другачијим импедансама.
- Пројектован је оригинални широкопојасни симетризатор и трансформатор импедансе коришћењем инвертованог микротракастог вода. Симетризатор омогућава прелазак са коаксијалног напајања на диференцијално напајање антене, те коришћење антене у стандардним системима.
- Нумеричким експериментима показано је да се отпорници могу изоставити из дизајна широкопојасне антене, чиме се минимизирају губици у антени. Јасно су наведени компромиси који су оствариви са отпорницима и без отпорника у дизајну ових антена.
- Ради верификације, пројектована је једна широкопојасна рефлекторска антена и израђени су сви делови технологијом која је била доступна.
- Експериментима у лабораторијама Електроничког факултета у Београду и у акредитованој лабораторији за испитивање електромагнетске компатибилности потврђени су сви резултати добијени нумеричким електромагнетским анализама.
- Развојем предложеног приступа пројектовању широкопојасних рефлекторских антена знатно је проширена могућност њиховог коришћења у пракси.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси наведени у тачки 4.1 представљају унапређење постојећих научних знања доступних у литератури. По први пут је одређен оптималан број кракова широкопојасне антене, пројектован је симетризатор и трансформатор импедансе и показана је могућност пројектовања без отпорника. Тиме су проширена теоријска знања о широкопојасним рефлекторским антенама и отворене су нове могућности за њихово пројектовање и примену у пракси.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21:

1. **M. F. Miletic** and D. I. Olcan, "Impulse Radiating Antenna With Six Feeding Arms and a Tapered Balun," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 8, pp. 6414–6422, Aug. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3161572.

Категорија М33:

1. **M. F. Miletić** and D. I. Olćan, “Impulse Radiating Antennas with Four and Six Arms Excited with Differentiated Gaussian Pulses,” *2023 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Portland, OR, USA, 2023, pp. 1733–1734, doi: 10.1109/USNC-URSI52151.2023.10238262.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“ кандидата Миливоја Милетића представља оригиналан научни допринос научној области Електротехника и рачунарство (ужа научна област Електромагнетика, антене и микроталаси). Дисертација садржи све елементе наведене у образложењу приликом пријаве теме и испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

Докторска дисертација је написана на српском језику. Излагање је јасно и систематично. Резултати изложени у оквиру докторске дисертације имају и теоријски и практичан значај. Кандидат Миливоје Милетић је овим истраживањем показао научну зрелост и инжењерску способност и креативност, што потврђује његову спремност за самостални научноистраживачки рад.

На основу свега наведеног Комисија констатује да су испуњени сви формални и суштински услови предвиђени Законом о високом образовању, Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија има задовољство да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Широкопојасна рефлекторска антена (Broadband reflector antenna)“ кандидата Миливоја Милетића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

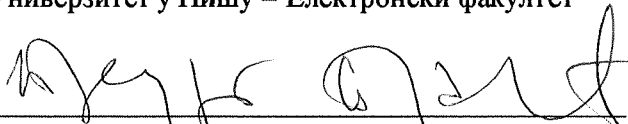
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Милан Илић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



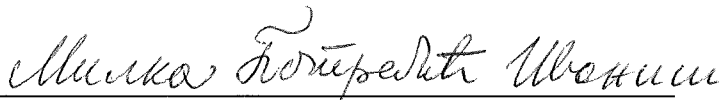
др Весна Јавор, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Предраг Пејовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Миодраг Тасић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милка Потребић Иваниш, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет