



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, Србија

Тел. 011/324-8464, Факс: 011/324-8681

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 6.9.2022. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. **Ђорђа Стојићевића** под насловом „**Пројектовање антенског низа микротракастих антена за генерисање електромагнетског поља са орбиталним угаоним моментом**“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Ђорђе Стојићевић је рођен 21. јула 1995. године у Београду. Завршио је основну школу „Кнез Сима Марковић“ у Барајеву, као носилац Вукове дипломе и ђак генерације. Током основног школовања учествовао је и освајао награде на такмичењима из области техничког образовања, математике, физике, историје, српског и енглеског језика.

Уписао је Електротехничку школу „Никола Тесла“ у Београду 2010. године, коју је завршио са одличним успехом, као носилац Вукове дипломе. Током школовања је освајао награде на регионалним и државним такмичењима из области основа електротехнике и електронике. Носилац је Доситејеве стипендије Фонда за младе таленте Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

На Електротехнички факултет у Београду уписао се школске 2014/15. године. Основне академске студије је завршио 2019. године на студијском програму Електротехника и рачунарство, модул Телекомуникације и информационе технологије – смер Микроталасна техника, са просечном оценом 8,3. Дипломски рад на тему „Пројектовање малешумног микроталасног појачавања за Доплеров радар“ одбранио је са оценом 10, под менторством др Слободана Савића, ванредног професора.

Током основних академских студија започео је професионалну каријеру у консултантској компанији NET CHECK GmbH, из области оптимизације радио мрежа односно јавних мобилних система. Активно се бави руковођењем пројеката бенчмарк мерења, оптимизацијом и анализом савремених 5G SA, 5G NSA и 4G приступних мрежа за потребе страних мобилних оператера као и произвођача телекомуникационе опреме. Поседује експертизу из области развоја, инжењеринга и модернизације мерне методологије и евалуације јавних мобилних система. У јуну 2022. године стекао је PRINCE2 интернационални сертификат из области управљања пројектима. Тренутно је у фази оснивања самосталне фирме за консултантске телекомуникационе услуге.

Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на смеру за Микроталасну технику уписао је у октобру 2019. године. Положио је све испите 2020. године са просечном оценом 10.

2. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 55 страна, од чега прилози обухватају 6 страна, са укупно 58 слика, 9 табела и 7 референци. Рад садржи увод, 5 поглавља и закључак (укупно 7 поглавља), списак коришћене литературе, списак скраћеница, списак слика и списак табела.

Прво поглавље представља увод у коме су описани предмет и циљ рада. Наведени су планирани процеси пројектовања кружно фазираних антенског низа од 8 микротракастих

антена, односно процеси независног колског и електромагнетског (ЕМ - *Electromagnetic*) моделовања антенског низа и његових подсклопова.

У другом поглављу обрађена је тема моделовања микротракастих антена и низова састављених од оваквих антена. За почетак су приказани параметри и димензије коришћеног супстрата, као и прорачун електричних особина микротракастих водова на том супстрату. Скренута је и пажња на постојање спреге између блиско постављених микротракастих водова, што ће бити од значаја приликом дизајнирања мреже за напајање. Из тог разлога је одлучено да се ОАМ низ напаја микротракастим водовима нестандартне карактеристичне импедансе који су по димензијама око 4 пута ужи од иницијално планираних водова карактеристичне импедансе 50 Ω . На овај начин је и поједностављено меандрирање (савијање) микротракастих водова које је такође компактније уколико се ради са ужим водовима. Након дизајна микротракастих водова, спроведена је пуноталасна анализа усамљене микротракасте антене. Прилагођење антене је притом реализовано усецањем микротракастог вода за напајање антене у резонантну структуру антене.

У трећем поглављу је описан процес пуноталасног ЕМ моделовања идеализованог низа од 8 оптимизованих микротракастих антена, еквидистантно распоређених по кружности променљивог полупречника. Код овог низа антене се побуђују идеалним напонским генераторима на портovima сваке од антена, без разматрања мреже за напајање. Оптимизацијом полупречника низа микротракастих антена изабрана је оптимална вредност полупречника низа која обезбеђује максимално појачање низа у правцу главних лобова (снопова) зрачења, уз прихватљиво низак ниво бочних лобова. Резултати оптимизованог идеализованог низа служиће као референца за поређење са резултатима низа микротракастих антена са реалном мрежом за напајање.

У четвртном поглављу пројектована је мрежа за напајање антенског низа. Анализа ове мреже спроведена је користећи поједностављене моделе микротракастог вода (такозвана анализа применом једначина теорије електричних кола). Овом анализом спроведен је прорачун димензија мреже за напајање низа у виду микротракастих водова, четвртталасних трансформатора импедансе и кружно савијених померача фазе који обезбеђују потребне фазне разлике сигнала на крајевима 8 антена, као и прилагођење по снази у односу на микроталасни приступ стандардне номиналне импедансе. Избором карактеристичних импеданси одређених секција мреже за напајање, превазиђено је технолошко ограничење израде штампаних плочица доступном технологијом. Процесом свеобухватне симултане оптимизације геометрије мреже за напајање задовољени су сви пројектни циљеви.

Пето поглавље се састоји од тродимензионе (3D) пуноталасне ЕМ анализе прелаза са коаксијалног вода на мрежу за напајање, мреже за напајање као и комплетног антенског низа. Током процеса ЕМ моделовања комплетног антенског низа разматрани су различити типови генератора у оквиру софтвера заснованог на методу коначних елемената. Координате и димензије ЕМ модела мреже за напајање су дефинисане комбинацијом зависних и независних променљивих тако да је могуће читаву структуру оптимизовати по произвољној независној променљивој. Успешно су обезбеђене жељене међусобне фазне разлике свих 8 антенских приступа ЕМ модела мреже за напајање, а обезбеђено је и прилагођење по снази на месту споја мреже са централним коаксијалним приступом. Резултати симулација модела комплетног антенског низа су очекивани. Финално, у циљу смањења утицаја мреже за напајање на дијаграм зрачења, конструисан је нови нумерички модел код кога је мрежа за напајање заклоњена великом проводном равни у односу на антене. Овима је дијаграм зрачења постао сличнији очекиваним теоријским резултатима.

Шесто поглавље се састоји од креирања дизајна двослојног ОАМ низа на штампаној плочи РСВ (Printed Circuit Board). Практичан проблем физичке неприступачности заједничке металлизоване проводне површи (масе) двослојне структуре за коаксијални конектор је преброђен извученим приступним местима на горњој страни супстрата који садржи мрежу за напајање низа. Финално је креиран дизајн две независне РСВ плоче, једне за низ микротракастих антена и друге за мрежу за напајање који је представљен као пројекција у

огледалу како би се након практичног повезивања те две штампане плоче добио жељени антенски низ са мрежом за напајање.

Седмо поглавље представља закључак у коме је рекапитулиран процес пројектовања ОАМ низа. Објашњене су погодности методе генерисања ОАМ мода кружно фазираним низом у односу на остале методе, нарочито са аспекта минијатуризације. Израда и мерење прототипа остављено је за даља истраживања.

3. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Ђорђа Стојићевића бави се проблематиком пројектовања антенских низова за побуђивање ЕМ поља са орбиталним угаоним моментом у микроталасном опсегу учестаности. Овакви низови данас представљају врло атрактивну научну област, пошто се очекује да могу обезбедити вишеканалну комуникацију на малим растојањима и на истој учестаности, што би финално водило ка ефикаснијем коришћењу расположивог спектра.

Антенски низ пројектован је, за почетак, као идеалан, не разматрајући мрежу за напајање. Након тога, као следећи корак, мрежа за напајање пројектована је помоћу поједностављених модела микротракастих водова. Након тога, мрежа за напајање анализирана је и помоћу софтвера заснованог на методу коначних елемената, а финално је анализиран и утицај мреже за напајање на дијаграм зрачења. Након свега овога, одлучено је да се мрежа за напајање у електромагнетском смислу заклони од антенског низа, а утицај овога испитан је и кроз пуноталасну ЕМ анализу.

Основни доприноси рада су: 1) пројектовање антенског низа за генерисање електромагнетског поља које поседује орбитални угаони моменат, 2) пројектовање мреже за напајање овог низа која превазилази постојећа техничка ограничења расположиве технологије израде штампаних плочица, 3) верификација резултата помоћу пуноталасне анализе засноване на методу коначних елемената и 4) испитивање утицаја мреже за напајање на дијаграм зрачења посматраног низа.

4. Закључак и предлог

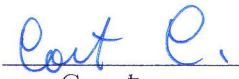
Кандидат Ђорђе Стојићевић је у свом мастер раду решио проблем пројектовања антенског низа за генерисање ЕМ поља које поседује орбитални угаони моменат. Кандидат је успешно превазишао проблем утицаја микроталасне мреже за напајање на дијаграм зрачења, а предложено решење може значајно да унапреди могућност примене оваквих низова у пракси.

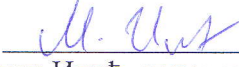
Кандидат је исказао самосталност и систематичност у поступку пројектовања, као и иновативне елементе у решавању проблематике овог рада.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад дипл. инж. Ђорђа Стојићевића прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 8. 9. 2022. године

Чланови комисије:


др Слободан Савић, ванредни професор


др Милан Илић, редовни професор