

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 21.06.2023. године именovala нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. **Ање Ковачевић** под насловом „Пристапачан преносив микроталасни систем за анализу органских ткива“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидаткиње

Ања Р. Ковачевић је рођена 19.5.1999. године у Београду. Основну школу „Јосиф Панчић“ и Тринаесту београдску гимназију завршила је са одличним успехом, као носиоца Вукове дипломе и ђака генерације. Као ученица наведених школа освајала је неколико награда на државним такмичењима из физике и математике (две прве и три треће из физике и другу из математике). Освојила је бронзану медаљу на међународном такмичењу *International Young Naturalists' Tournament 2015*. Добитница је Светосавске награде за 2017. годину.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписала је школске 2018/19. године. Добитник је стипендије за надарене студенте Министарства просвете. Дипломирала је школске 2022/23. године као студент генерације на одсеку за Телекомуникације и информационе технологије са просечном оценом 9,80. Дипломски рад одбранила је са оценом 10 и за њега је освојила прву Пупинову награду Матице српске, као и награду BAFA USA. Добитница је *IEEE MTT-S Undergraduate Scholarships – 2023 Cycle 1 Award* за предлог пројекта који представља проширење њеног дипломског рада. Током основних студија бавила се научним и истраживачким радом. У септембру 2021. године учествовала је на 32. међународној конференцији о микроелектроници (MIEL) где је освојила награду за најбољи студентски рад. Рад на тему сензора базираног на терахерцним метаматеријалима чији је први аутор објављен је у међународном часопису са impact factor-ом 2022. године. Исте године учествовала је на 66. домаћој конференцији ETRAN у оквиру секције Антене и простирање. Школске 2021/22. била је ангажована као демонстратор на предмету Лабораторијске вежбе из Основа електротехнике. Мастер студије на модулу Микроталасна техника уписала је у октобру 2022. године. На мастер студијама положила је све предмете са просечном оценом 10,0, а факултативно је положила и предмет Оптимизациони алгоритми у инжењерству са оценом 10. Од 6. децембра 2022. године запослена је као сарадник у настави при Катедри за општу електротехнику Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Радови:

- [1] **A. Kovačević**, M. Potrebić, D. Tošić, "Sensitivity Characterization of Multi-Band THz Metamaterial Sensor for Possible Virus Detection", *Electronics*, 11 (5), pp. 1 – 19, Feb. 2022.
- [2] **A. Kovačević**, M. Potrebić, D. Tošić, "The impact of finite dimensions on the sensing performance of terahertz metamaterial absorber", *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, 36 (1), pp. 17 – 29, Mar. 2023.
- [3] **A. Kovačević**, M. Potrebić, D. Tošić, "Sensitivity Analysis of Possible THz Virus Detection Using Quad-Band Metamaterial Sensor", *Proc. of 2021 IEEE 32nd International Conference on Microelectronics (MIEL)*, 2021.
- [4] **A. Kovačević**, M. Nikolić Stevanović, A. Đorđević, "Uopštenje izraza za transfer funkcije između antena u problemima inverznog rasejanja", *Zbornik 66. konf. ETRAN*, 2022.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидаткиња Ања Ковачевић је као припрему за израду мастер рада спровела истраживање релевантне литературе која се бави микроталасним сензорима за детекцију и анализу ткива на основу њихових диелектричних својстава. Кандидаткиња се упознала са захтевима пројектовања сензора на бази прстенастих резонатора са процепима (енг. *Split Ring Resonators* – SRR), који се тичу осетљивости, просторне резолуције и ограничења расположивог мерног система. Додатно, кандидаткиња се детаљно упознала са архитектуром векторског анализатора мрежа (енг. *Vector Network Analyzer* – VNA) и типичним калибрационим методама за корекцију грешака у мерењу.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 64 стране са укупно 54 слике, 8 табела и списком скраћеница. Рад садржи увод, 5 поглавља и закључак (укупно 6 поглавља и закључак), списак коришћене литературе, списак скраћеница, списак слика и списак табела.

Прво поглавље представља увод у коме је исказана потреба за приступачним и преносивим системом за анализу ткива имајући у виду високу цену набавке и одржавања скупљих алтернатива, као што су магнетска резонанца и компјутерска томографија. Описани су микроталасни системи као пример релативно приступачних система који се већ успешно користе у различитим видовима медицинске дијагностике и лечења. Истакнуто је да се додатно смањење цене микроталасних система за медицинску намену може постићи коришћењем повољнијих непрофесионалних анализатора мрежа, као што је то учињено у овом мастер раду.

У другом поглављу описан је изглед и принцип рада сензорске компоненте предложеног система за анализу ткива. Сензор из рада је штампано коло које се састоји од каскадно везаних сензорских ћелија на бази SRR. Детаљно је описан процес пројектовања сензора у три корака: формирање базе сензорских ћелија, селекција ћелија из базе и комбиновање изабраних ћелија у сензор. Модели сензорских ћелија направљени су у софтверу за тродимензионалну електромагнетску анализу WIPL-D Pro. За сваку ћелију одређена је учестаност минимума у њеној функцији преноса која одговара резонантној учестаности одговарајућег SRR. У моделе је затим укључен референтни узорак ткива и одређена је промена резонантне учестаности за сваку ћелију. Селекција ћелија је извршена оптимизацијом расподеле резонантних учестаности у фреквенцијском прозору који је одређен радним опсегом мерног система и геометријом SRR. Изабране ћелије су везане каскадно тако да буду међусобно распрегнуте како би се омогућило формирање просторне слике узорака. Пројектоване су три варијанте сензора за 30%, 40% и 50% референтног фреквенцијског помераја. У циљу тестирања приступачног анализатора мрежа, направљене су и три резервне варијанте сензора са скраћеним радним опсегом.

У трећем поглављу описана је архитектура анализатора мрежа са посебним акцентом на повољан VNA који је коришћен као мерни систем у овом раду. Истакнути су недостаци коришћеног VNA које утичу на његове перформансе и ограничавају могућност корекције грешака у мерењу.

Четврто поглавље посвећено је техникама корекције грешака у мерењу које могу побољшати прецизност мерења на приступачном анализатору мрежа. Имплементирано је шест различитих калибрационих метода: *Enhanced Response* калибрација без и са корекцијом изолације, двопортна калибрација са обртањем уређаја који се тестира (енг. *Device Under Test* – DUT) без и са корекцијом изолације и двопортна калибрација без обртања DUT-а, без и са корекцијом изолације. Коришћен је калибрациони комплет који долази уз приступачан VNA. Прецизна дефиниција калибрационих стандарда обезбеђена је мерењем на професионалном анализатору мрежа. На примеру сензора пројектованог за 30% референтног фреквенцијског

помераја, извршено је поређење имплементираних калибрационих метода и анализа грешака у мерењу, при чему је као референтно мерење коришћен резултат са професионалног анализатора мрежа. Дати су предлози за избор калибрационе технике у зависности од тога да ли се мери коефицијент рефлексације или трансмисије, као и од тога да ли је у интересу само модул или и фаза параметра расејања.

У петом поглављу приказана је израда прототипова сензора, припрема узорака животињског ткива и опис експеримента у два могућа режима рада пројектованог система: дискретном и континуалном. За дискретни режим користе се узорци ткива не много већи од процена SRR. За тестирање у континуалном режиму рада сензор се покрива масним ткивом у које се умећу комадићи мишићног ткива. Континуални режим симулира детекцију тумора у околном здравом ткиву. У оба режима рада циљ је реконструисати просторну расподелу узорка ткива.

У шестом поглављу приказани су резултати мерења модула коефицијента трансмисије сензора без и са узорцима ткива. За побољшање прецизности мерења коришћена је *Enhanced Response* калибрација без корекције изолације. Резултати мерења на приступачном VNA се, након калибрације, врло добро поклапају са референтним мерењем на професионалном уређају. Пројектовани систем је тестиран најпре у дискретном, а затим и у континуалном режиму рада. Резултати мерења су показали да је помоћу сва три сензора могуће реконструисати просторну расподелу узорка ткива. Као оптималан избор за рад у дискретном режиму показао се сензор пројектован за 30% референтног фреквенцијског помераја, јер од сва три сензора остварује највећу резолуцију формиране слике. У континуалном режиму, сензор пројектован за 50% референтног фреквенцијског помераја омогућава најлакшу детекцију комада узорка који моделује тумор. Сензор пројектован за 40% референтног фреквенцијског помераја представља компромисно решење за коришћење у оба режима.

4. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад Ање Ковачевић бави се концепцијом приступачног и преносивог система за *ex vivo* анализу органског ткива. Рад обухвата два основна правца истраживања: са једне стране то је пројектовање микроталасног сензора за анализу ткива, а са друге, његово прецизно мерење коришћењем приступачног VNA, којим се може управљати са типичног персоналног рачунара.

У оквиру свог мастер рада, кандидаткиња је пројектовала и оптимизовала више сензора базираних на SRR у микротракастој техници, чији прототипови су израђени и премерени. Микротракаста техника представља приступачну технику израде штампаних прототипова кола, довољне прецизности за истраживачке примене у овом раду. Такође, SRR тип сензора показује осетљивост која омогућава успешну детекцију промене диелектричних својстава у предвиђеним зонама изнад сензора. Мерење одзива сензора са и без ткива извршено је на више начина, коришћењем приступачног VNA, док се за референтно мерење користило оно које је добијено професионалним VNA уређајем. Применом различитих поступака мерења и калибрације испитане су границе прецизности и радног опсега приступачног VNA.

Основни доприноси мастер рада су: 1) моделовање, симулација и оптимизација три варијанте микротракастог SRR сензора у алатима за нумеричку анализу, 2) израда прототипова сензора и њихова верификација мерењем на професионалном VNA, 3) стратегија за оптимизацију сензора са аспекта расподеле резонантних учестаности унутар ограниченог мерног опсега инструмента и 4) анализа и имплементација калибрационих техника и обраде података за прецизну процену одзива сензора на приступачном VNA.

5. Закључак и предлог

Кандидаткиња Ања Ковачевић је у свом мастер раду успешно показала да се предложени приступачни преносиви систем може користити за анализу ткива у опсегу до 4,4 GHz. Кандидаткиња је функционалност предложеног система демонстрирала на микроталасним сензорима које је пројектовала, израдила и премерила, користећи се софтверским алатима за анализу микроталасних склопова и пројектовање штампаних кола. Приступачност предложеног система, кандидаткиња је постигла одабиром повољног комерцијалног векторског анализатора мрежа, као и осмишљавањем и примењивањем метода за корекцију грешака у мерењу које узимају у обзир ограничења инструмента. Ради унапређења тачности мерења, кандидаткиња је написала софтвер за накнадну обраду мерних података.

Кандидаткиња је показала самосталност у раду, посвећеност и способност за креативан приступ инжењерским изазовима.

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

Београд, 7.9.2023. године

Чланови комисије:



др Никола Баста, доцент



др Слободан Савић, ванредни професор



др Дејан Тошић, редовни професор