



PRIKAZ RADA U LABORATORIJI ZA MIKROELEKTRONIKU FAKULTETA TEHNIČKIH NAUKA

Mirjana Damnjanović¹, Milica Kisić²

^{1,2} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹mirad@uns.ac.rs, ²mkisic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: *Laboratorija za mikroelektroniku je jedna od nastavno-istraživačkih laboratorija Katedre za elektroniku na Fakultetu tehničkih nauka. U njoj je smeštena oprema za karakterizaciju elektrotehničkih materijala, elektronskih komponenti i kola, kao i za izradu kola u tehnologiji štampanih ploča (PCB), 3D aditivnoj tehnologiji, fleksibilnoj i tekstilnoj elektronici. U Laboratoriji se obučavaju za rad studenti završnih godina akademskih studija i studenti doktorskih studija. Takođe, zaposleni imaju priliku da u Laboratoriji rade svoja istraživanja.*

Ključne reči: *Mikroelektronika/Istraživački rad/Merne metode*

1. UVOD

Katedra za elektroniku se nalazi u sastavu Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu. Katedra za elektroniku je zadužena za nastavu na više studijskih programa Fakulteta tehničkih nauka, i to na matičnom studijskom programu Energetika, elektronika i telekomunikacije, kao i na drugim studijskim programima: Biomedicinsko inženjerstvo, Grafičko inženjerstvo i dizajn, Mehatronika, Merenje i regulacija, Računarstvo i automatika i drugim.

Katedra je zadužena za nastavu na svim nivoima akademskih studija, od osnovnih, master do doktorskih, kao i na strukovnim studijama. Da bi studenti stekli što kvalitetnije znanje, osim osnovnih teorijskih koncepata, važno je da steknu i praktična znanja i veštine. Zbog toga je važno da, osim znanja koja stižu na predavanjima i kroz različite zadatke koje rade na auditornim vežbama, steknu i odgovarajuća praktična znanja, što je predviđeno kroz laboratorijske vežbe.

Katedra za elektroniku raspolaže savremenom mernom opremom, koja je nabavljena preko nacionalnih i međunarodnih projekata u prethodnom periodu. Nju imaju mogućnost da koriste studenti doktorskih akademskih studija i studenti na završnim godinama akademskih studija (na 4. godini osnovnih akademskih studija - OAS i na master akademskim studijama - MAS). Da bi studenti stekli što više praktičnog znanja,

veoma je važno da se tokom studija upoznaju sa korišćenjem merne opreme i drugih električnih uređaja i komponenti [1].

U ovom radu će biti prikazana oprema, na koji način se koristi u nastavi i istraživanjima.

2. MERNI OPREMA U LABORATORIJI ZA MIKROELEKTRONIKU

Laboratorija za mikroelektroniku je jedna od najopremljenijih laboratorija koja omogućava različita merenja u oblasti mikroelektronike, nanoelektronike i mikrotalasne tehnike. Cilj je da se laboratorija i instrumenti u njoj koriste kako za nastavni i istraživački rad, tako i za saradnju sa privredom. Oprema je dostupna i kolegama istraživačima iz drugih istraživačkih i visokoškolskih institucija u Srbiji.

Da bi se poboljšala naučno-istraživačka merenja na visokim frekvencijama u smislu uklanjanja konstatnih grešaka koja se javljaju usled zračenja iz okoline, u Laboratoriji je postavljen Faradejev kavez (slika 1), koji je finansiran sa projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije broj III 45021 i od strane Pokrajinskog sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj Autonomne Pokrajine Vojvodine.

Time su smanjene elektromagnetske smetnje, koje čine bilo koje nepoželjne elektromagnetske emisije, električni ili elektronski poremećaj, veštačkog ili prirodnog porekla, koji izazivaju sistematske greške prilikom testiranja i karakterizacije elektronskih komponenti i kola.

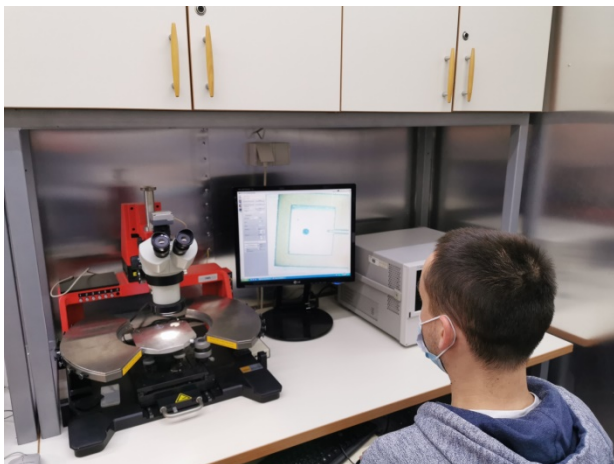
Frekvencijski opseg koji pokriva merna oprema u Laboratoriji za mikroelektroniku je od 100 Hz do 50 GHz.



Sl. 1. Pogled u Faradejev kavez koji se nalazi u Laboratoriji za mikroelektroniku

U nastavku će biti detaljnije opisana oprema i neke od mernih metoda koje se koriste u Laboratoriji za mikroelektroniku.

RF/mikrotalasna stanica SUSS PM5 (RF/Microwave Wafer Probe Station) je ispitni sistem namenjen za preciznu analizu vejfera i supstrata do 150 mm debljine. Prikazana je na slici 2.



Sl. 2. RF/mikrotalasna stanica SUSS PM5 (RF/Microwave Wafer Probe Station)



Sl. 3. Vektorski analizator mreže Agilent E5071B (Vector Network Analyzer)



Sl. 4. Merjenje karakteristika komponenti korišćenjem analizatora impedanse HP 4194A

Vektorski analizator mreže Agilent N5230A (Vector Network Analyzer) može da se koristi za dvopristupna merenja S – parametara u opsegu 10 MHz - 50 GHz. Može se koristiti za određivanje električnih karakteristika aktivnih i pasivnih komponenti, kao što su filtri, pojačavači i mikseri. Ukoliko se koristi zajedno sa RF/mikrotalasnom stanicom, omogućava merenje karakteristika pasivnih komponenti, kao što su induktori, transformatori, filtri (slika 2).

Vektorski analizator mreže Agilent E 5071B je drugi analizator u Laboratoriji, koji se koristi u nižem opsegu od 300 kHz do 8.5 GHz, za brza i precizna merenja karakteristika RF komponenti (slika 3).

Analizator impedanse HP 4194A (Impedance Analyzer) služi za merenje impedanse komponenti u opsegu od 100 Hz do 40 MHz (slika 4).

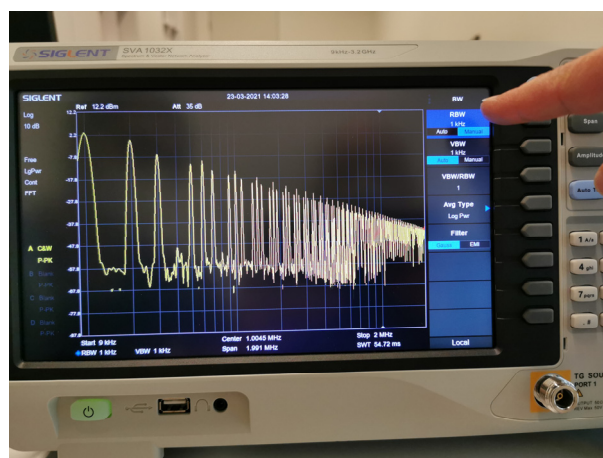
Korišćenje ovih i ostalih mernih uređaja u nastavi je prikazano u narednom poglavlju.

3. NASTAVA NA SVIM NIVOIMA AKADEMSKIH STUDIJA

Laboratorija za mikroelektroniku omogućava studentima da steknu odgovarajuća znanja iz projektovanja, korišćenja različitih tehnologija izrade i odgovarajućih mernih metoda (karakterizacije i testiranja) pasivnih elektronskih komponenti, senzora i integrisanih kola.

Merna oprema se aktivno koristi u okviru sledećih predmeta na OAS i MAS studijskog programa Energetika, elektronika i telekomunikacije, studijska grupa Mikroročunarska elektronika: Mikroelektronika, Materijali u elektrotehnici, Karakterizacija mikroelektronskih kola, Senzori i aktuatori, MEMS i NEMS, Tehnologije izrade senzora, EMI i EMC u elektronicima i drugih.

Na primer, u okviru predmeta EMI i EMC u elektronicima (Elektromagnetska interferencija i elektromagnetska kompatibilnost u elektronicima), studenti uče na koji način da snime spektar signala (slika 5). Merenja u opsegu do 3 GHz su izvršena pomoću analizatora spektra Siglent SDS 1102CML+.



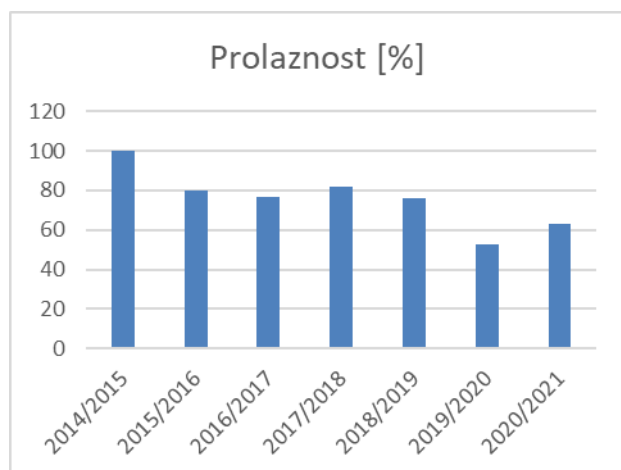
Sl. 5. Merjenje spektra signala korišćenjem analizatora spektra Siglent SDS 1102CML+

U okviru ovog predmeta, studenti uče i karakterizaciju komponenti za EMI zaštitu, kao što su feritni EMI potiskivači.

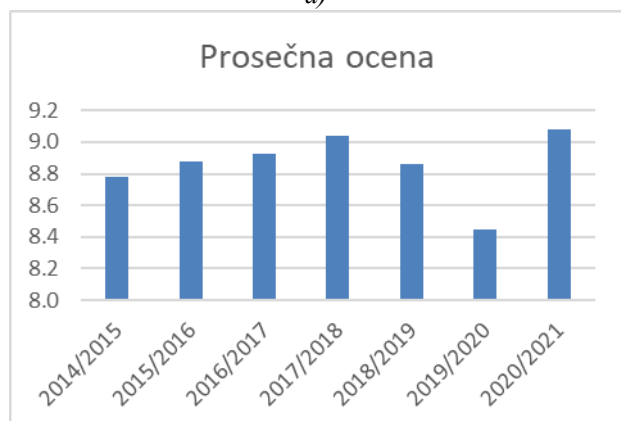
Praktična nastava koja se sprovodi i u ovoj laboratoriji utiče na zainteresovanost studenata i uspešnost u savladavanju odgovarajućeg gradiva. Kao što se može videti u tabeli 1 i na slici 6, prolaznost je preko 76 %, izuzev u poslednje dve godine (u uslovima pandemije). Treba primetiti i da je prosečna ocena iz ovog praktično orijetisanog predmeta visoka u prethodnim godinama.

Tabela 1. Analiza prolaznosti i prosečne ocene na predmetu *Senzori i aktuatori*

| Školska godina | Slušalo | Položilo | Prolaznost [%] | Prosečna ocena |
|----------------|---------|----------|----------------|----------------|
| 2014/2015. | 9 | 9 | 100 | 8.8 |
| 2015/2016. | 10 | 8 | 80 | 8.9 |
| 2016/2017. | 17 | 13 | 76 | 8.9 |
| 2017/2018. | 28 | 23 | 82 | 9.0 |
| 2018/2019. | 46 | 35 | 76 | 8.9 |
| 2019/2020. | 38 | 20 | 53 | 8.5 |
| 2020/2021. | 60 | 38 | 63 | 9.1 |



a)



b)

Sl. 6. Analiza uspešnosti studenata na predmetu *Senzori i aktuatori*: (a) prolaznost, (b) prosečna ocena

Osim u okviru nastavnih aktivnosti, kapaciteti Laboratorije su na raspolaganju studentima i pri izradi praktičnog dela završnog rada ili diplomskog master rada.

Često studenti kao rezultat svog istraživačkog rada imaju mogućnost da učestvuju u prezentovanju rada na međunarodnim konferencijama još u okviru master akademskih studija [2].

4. ISTRAŽIVAČKI RAD U LABORATORIJI ZA MIKROELEKTRONIKU

Međutim, Laboratorija se najviše koristi za realizaciju istraživanja u okviru nacionalnih i međunarodnih projekata ili u okviru doktorskih akademskih studija. Bilo da je u pitanju rad na razvoju komponenti [3]-[6], elektronskih kola ili sistema [7], ono što je važno je da ih je moguće testirati.

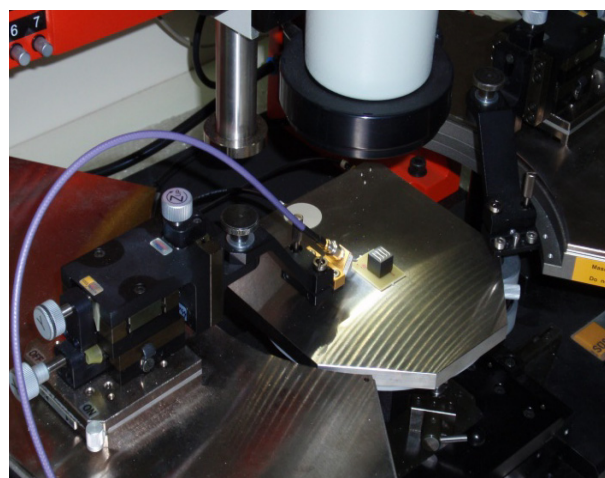
U Laboratoriji je razvijen velik broj laboratorijskih sistema, prototipova i senzora [8]-[12]. Bez ove opreme, istraživanja ne bi bila moguća.

Na slici 7 je prikazan postupak karakterizacije feritnog transformatora pomoću vektorskog analizatora mreže Agilent E5071B i RF/mikrotalasne stanice SUSS PM5 [3]. Razvijena je odgovarajuća merna metoda po kojoj je urađeno merenje električnih karakteristika transformatora u širokom opsegu frekvencija do 1 GHz.

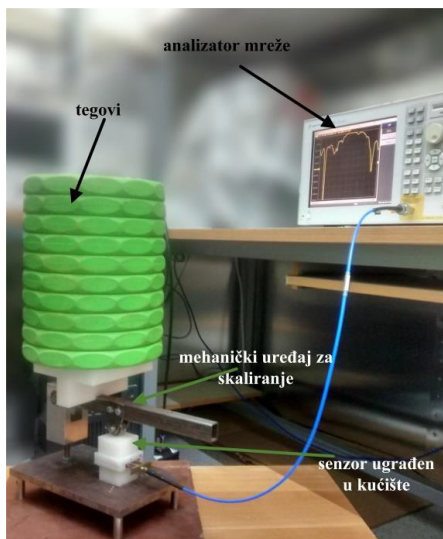
Na slici 8 je prikazan sistem koji se može koristiti kao detektor zauzetosti sedišta, kao i za merenje mase putnika. Kao osnovni deo sistema koristi se razvijeni bežični induktivni senzor koji je postavljen u centru antene. Antena je povezana na analizator mreže E5071B pomoću koaksijalnog kabla.

Za ispitivanja i testiranja senzora u Laboratoriji je razvijen držač sa komorom (slika 9) za testiranje i ispitivanje performansi materijala i senzora sa različitim radnim opsezima, jednako dobro kao u stvarnom okruženju.

Na slici 10 je prikazana merna metoda za karakterizaciju razvijenih fleksibilnih senzora za merenje vrste i nivoa tečnosti.



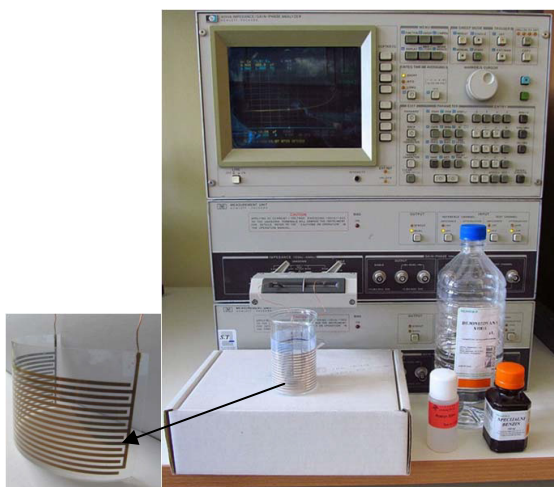
Sl. 7. Merna postavka za karakterizaciju minijaturnog feritnog transformatora



Sl. 8. Fotografija merne postavke za karakterizaciju sistema razvijenog za detektovanje zauzetosti sedišta



Sl. 9. Postavka za testiranje držača senzora pod vodom



Sl. 10. Fotografija merne postavke: analizator impedanse HP4194A i senzori fiksirani na posudi ispunjenoj tečnošću

Treba napomenuti da veliki broj kolega iz drugih istraživačkih ili visokoškolskih ustanova saraduje sa istraživačima sa Katedre za elektroniku. Kao rezultat, postoji veliki broj zajedničkih publikacija [3]-[6], [9].

5. ZAKLJUČAK

Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu već duže vremena se rade istraživanja u koja uključuju merenja u širokom frekvencijskom opsegu.

Merna oprema koju poseduje Laboratorija za mikroelektroniku pokazala se kao ne samo veoma korisna prilikom izrade mnogobrojnih master radova i doktorskih teza već i da je i neophodna za stvaranje uslova za istraživanja, iz kojih su proistekli mnogobrojni naučni radovi.

Dalje opremanje Laboratorije za mikroelektroniku novom savremenom opremom koja će omogućiti da se istraživanja i dalje razvijaju je svakako prioritet svih koji rade u njoj.

Osim istraživanja, veoma nam je važno i da se naše znanje prenese studentima, pomogne im da usavrše svoje veštine i omogući im uspešnu dalju karijeru.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: „Istraživanja u oblasti energetike, elektronike, telekomunikacija i primenjenih informacionih sistema u cilju modernizacije studijskih programa“.

5. REFERENCE

- [1] <https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/blog/laboratorija-za-mikroelektroniku-elektrotehnicke-materijale-i-cad/#>
- [2] M. Varga, M. Romakov, N. Blaž, M. Damnjanović: “Measurement of Capacitive Sensor with Arduino”, Int. Spring Sem. on Electronics Technology - ISSE 39; Plzeň; Check Republic, May 2016, pp. 490-493.
- [3] M. S. Damnjanovic, Lj. D. Živanov, S. M. Djuric, A. M. Maric, A. B. Menicanin, G. J. Radosavljevic, N. V. Blaž: “Characterization and Modelling of Miniature Ferrite Transformer for High Frequency Applications”, Microelectronics International, vol. 29, no. 2, pp.83–89, 2012.
- [4] N. Blaz, G. Miskovic, A. Maric, M. Damnjanovic, G. Radosavljevic, Lj. Zivanov: “LC Resonant Displacement Sensor Realized with Various Designs of Meander Inductor”, Sensor Letters, vol. 11, no. 4, pp. 636-641, April 2013.
- [5] A. B. Menicanin, M. S. Damnjanovic, L. D. Zivanov, O. S. Aleksic: “Improved Model of T-Type LC EMI Chip Filters Using New Microstrip Test Fixture”, IEEE Transactions on Magnetics, vol.47, no.10, pp. 3975-3978, October 2011.

- [6] M. G. Kisić, N. V. Blaz, K. Babkovic, A. M. Maric, G. J. Radosavljevic, Lj. D. Živanov, M. S. Damnjanovic: “*Passive Wireless Sensor for Force Measurements*”, IEEE Transactions on Magnetics, vol.51, no.1, pp. 1-4, January 2015.
- [7] M. Brkic, S. Djuric, M. Damnjanovic, L. Nagy: “*Signal-Processing Interface for Displacement Measurement*”, Sensor Letters, vol. 11, no. 8, pp. 1426-1431, August 2013.
- [8] M. Kisić, K. Babković, N. Blaž, M. Damnjanović, Lj. Živanov: “*Detektovanje zauzetosti sedišta pomoću bežičnog induktivnog senzora*”, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, broj projekta: TR-32016, 2016.
- [9] M. Kisić, N. Blaž, A. Marić, G. Radosavljević, Lj. Živanov, M. Damnjanović: “*Prototip držača sa komorom za ispitivanje senzora pritiska*”, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, broj projekta: TR-32016, 2013.
- [10] M. Kisić, N. Blaž, Č. Žlebič, Lj. Živanov, M. Damnjanović: “*Senzori za merenje vrste i nivoa tečnosti*”, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, broj projekta: TR-32016, 2015
- [11] M. Kisić, N. Blaž, Lj. Živanov, M. Damnjanović, “*Capacitive Force Sensor Fabricated in Additive Technology*”, 2019 42nd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Wroclaw, Poland, 2019, pp. 1-5, 2019.
- [12] M. Kisić, N. Blaž, Lj. Živanov, M. Damnjanović: “*Elastomer based Force Sensor Fabricated by 3D Additive Manufacturing*”, AIP Advances, vol. 10, pp. 1-4, January 2020.

**OVERVIEW OF WORK IN THE LABORATORY
FOR MICROELECTRONICS OF THE
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

Abstract: *The Laboratory for Microelectronics is one of the teaching and research laboratories of the Department of Electronics at the Faculty of Technical Sciences. It houses equipment for the characterization of electrical materials, electronic components and circuits, as well as for the production of the circuits in the printed circuit board (PCB) technology, 3D additive technology, flexible and textile electronics. In the Laboratory, final year students of academic studies and doctoral students are trained to work. Also, employees have the opportunity to do their research in the Laboratory.*

Key words: *Microelectronics/ Research Activities /Measurement Methods*