

EMI I EMC U ELEKTRONICI NA MASTER AKADEMSKIM
STUDIJAMA SMERA MIKRORAČUNARSKA ELEKTRONIKAMirjana Damnjanović¹, Kalman Babković², Milica Kisić³,
Dragomir Nikolić⁴, Dejan Krstić⁵

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹mirad@uns.ac.rs, ²bkalman@uns.ac.rs, ³mkisic@uns.ac.rs, ⁴nikolicd@uns.ac.rs, ⁵krsticd@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Elektromagnetska interferencija i elektromagnetska kompatibilnost u elektronici je predmet koji je u tekućoj akreditaciji bio izborni na modulu Mikroelektronika, na master akademskim studijama Energetika, elektronika i telekomunikacije, na Fakultetu tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu. U okviru ovog predmeta studenti stiču teoretska i praktična znanja iz oblasti elektromagnetske interferencije (EMI) i elektromagnetske kompatibilnosti (EMC). Pošto je najekonomičniji način redukcije EMI korišćenje odgovarajućih metoda još tokom faze projektovanja sistema, cilj je da studenti nauče da projektuju mikroelektronska kola i sisteme imune na elektromagnetsku interferenciju, da znaju da realizuju, testiraju i primene komponente za zaštitu od EMI (kao što su feritni EMI potiskivači, varistori itd.), da projektuju dobar PCB ležaj i koriste ispravno uzemljenje i oklapanje da bi se zadovoljili EMC standardi (standardi o elektromagnetskoj kompatibilnosti). Zbog aktuelnosti ove oblasti, predmet je po novoj akreditaciji uveden i na ostale module smera Mikrorračunarska elektronika. Da bi studenti stekli odgovarajuća praktična znanja, u toku je nabavka nove opreme i priprema novih laboratorijskih vežbi.

Ključne reči: EMC u elektronici /laboratorijske vežbe/unapređenje nastave

EMI AND EMC IN ELECTRONICS IN MASTER ACADEMIC STUDIES OF
MICROCOMPUTER ELECTRONICS

Abstract: Electromagnetic Interference and Electromagnetic Compatibility in Electronics is a subject which, in current accreditation, was elective in the module Microelectronics, in the Master Academic Studies of Power, Electronics and Communication Engineering, at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. Within this course, students gain theoretical and practical knowledge of electromagnetic interference (EMI) and electromagnetic compatibility (EMC). As the most economical way of reducing EMI is to use appropriate methods during the system design phase, the goal is for students to learn to design microelectronic circuits and systems immune to electromagnetic interference, to know how to implement, test, and apply EMI protection components (such as ferrite EMI thrusters, varistors, etc.), to design a good PCB layout and use proper grounding and shielding to meet EMC standards (electromagnetic compatibility standards). Due to the actuality of this field, the subject has been introduced to other modules of Microcomputer Electronics in the new accreditation. In order for students to acquire appropriate practical knowledge, the acquisition of new equipment and preparation of new laboratory exercises is underway.

Key Words: EMC in electronics /laboratory exercises /improving the course

1. UVOD

„Elektromagnetska interferencija (EMI) i elektromagnetska kompatibilnost (EMC) u elektronici” je kurs koji je uveden u nastavni program od školske 2009/10. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. U prvom ciklusu akreditacije bio je izborni predmet na master akademskim studijama (MAS) Energetika, elektronika i telekomunikacije, smer Mikrorračunarska elektronika, na modulu Primenjena elektronika. U sledećem ciklusu ovaj predmet je uveden kao izborni i na modul Mikroelektronika istog smera. Zbog aktuelnosti oblasti, u novom studijskom programu Energetika, elektronika i telekomunikacije, koji je u postupku akreditacije, na smeru Mikrorračunarska elektronika, ovaj predmet će biti uveden na sva tri usmerenja (Primenjena elektronika, Mikroelektronika i Embedded sistemi i algoritmi).

Kurs „EMI i EMC u elektronici” je specijalizovani kurs, koji omogućava studentima sticanje znanja iz oblasti elektromagnetske kompatibilnosti i projektovanja mikroelektronskih kola i sistema imunih na elektromagnetsku interferenciju, uz puno praktičnih primera.

Student koji uspešno savlada gradivo iz ovog predmeta biće u stanju da:

- projektuje mikroelektronska kola i sisteme imune na elektromagnetsku interferenciju (EMI)
- modeluje, simulira, projektuje i realizuje komponente za zaštitu od EMI (kao što su feritni EMI potiskivači, varistori itd.)
- meri električne parametre EMI filtera korišćenjem vektorskog analizatora mreže i drugih uređaja.

Elektromagnetska interferencija se definiše kao uticaj neželjenih signala na uređaje i sisteme, čineći rad uređaja otežanim ili nemogućim. Da bi se elektromagnetska interferencija ispoljila, mora imati tri sastavna elementa: izvor, put kojim se prenosi (put sprege) i žrtvu, odnosno uređaj koji prima neželjenu energiju [1].

EMI postaje značajnijeg intenziteta u sistemima u kojima postoji izvor smetnje, medijum koji će smetnju preneti i osetljiv sistem na koji će smetnja uticati. Dobar dizajn sistema vodi računa o eliminaciji EMI iz sistema na tri načina: sprečavanjem emitovanja smetnji izvora, minimizacijom prenošenja smetnji kroz sprežni kanal i obezbeđivanjem elektromagnetske kompatibilnosti uređaja-žrtve. Najekonomičniji način redukcije EMI je korišćenje odgovarajućih metoda još tokom faze dizajniranja sistema. Ove metode podrazumevaju: korišćenje odgovarajućih tehnika projektovanja kola, pravljenje odgovarajućeg izbora komponenti, postizanje dobrog PCB lejauta i korišćenje ispravnog uzemljavanja i oklapanja da bi se zadovoljili EMC standardi (standardi o elektromagnetskoj kompatibilnosti) [2].

U Srbiji je za ovu oblast nadležno Ministarstvo privrede - Sektor za kvalitet i bezbednost proizvoda. Ova oblast regulisana je Pravilnikom o elektromagnetskoj kompatibilnosti („Službeni glasnik RS“, broj 25/16) koji je usklađen sa svim načelima i bitnim zahtevima iz Direktive 2014/30/EU Evropskog parlamenta i Saveta od 26. februara 2014. koja se odnosi na elektromagnetsku kompatibilnost, a koja se u Evropskoj uniji primenjuje od 20. aprila 2016. godine. Ovaj Pravilnik je u Srbiji počeo da se primenjuje od 1. jula 2017. godine [3].

Većina smetnji koje emituje elektronska oprema je na frekvencijama višim od korisnih signala. Stoga se EMI potiskivači generalno koriste kao nisko-propusni filtri, koji propuštaju samo signale na frekvencijama nižim od kritične, dok slabe signale na višim frekvencijama. Za smanjivanje ili potpunu eliminaciju EMI u žicama i kablovima na štampanim pločama, feriti se koriste već decenijama [4].

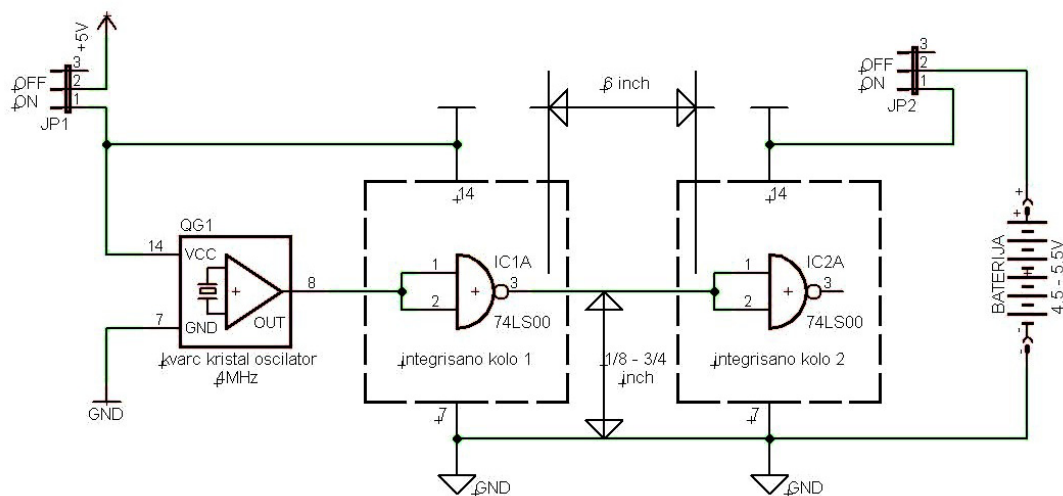
Da bi se smetnja prenela od izvora do žrtve, potrebno je da postoji sprežni kanal. Smetnja može da propagira putem zračenja, kao elektromagnetski talas, ili provođenjem. Često se smetnja prenosi kombinacijom provođenja i zračenja. EMI postaje značajnijeg intenziteta u sistemima u kojima postoji izvor smetnje, medijum koji će smetnju preneti i osetljiv sistem na koji će smetnja uticati.

Elektronski sistem koji je u stanju da funkcioniše kompatibilno sa drugim elektronskim sistemima, i da istovremeno ne proizvodi i ne bude podložan smetnjama, je elektromagnetski kompatibilan sa svojom okolinom. Cilj ovog kursa je da studenti steknu znanja da projektuju elektromagnetski kompatibilan elektronski sistem. Sistem je elektromagnetski kompatibilan sa svojim okruženjem ako zadovoljava tri kriterijuma:

1. ne uzrokuje smetnje drugim sistemima,
2. nije osetljiv na emisiju drugih sistema i
3. ne uzrokuje smetnje samom sebi [5].

2. METODE IZVOĐENJA NASTAVE

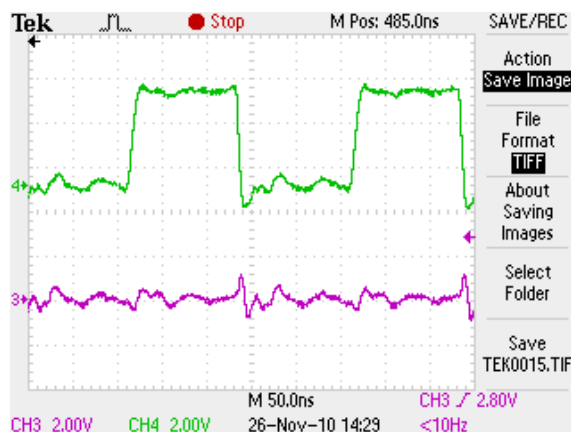
Fond časova aktivne nastave nedeljno je: 3 časa predavanja, 1 čas auditornih vežbi i 1 čas laboratorijskih vežbi. Osim predavanja i auditornih vežbi koje se održavaju u prvoj polovini semestra, nastava uključuje i laboratorijske vežbe u drugoj polovini semestra [6]. U okviru 7 laboratorijskih vežbi, studenti na praktičnim primerima imaju priliku da se upoznaju sa negativnim efektima koji mogu da se jave u elektronskim kolima ukoliko nije obezbeđena elektromagnetska kompatibilnost.



Slika 1. Laboratorijska vežba 2: šema kola kojim se prikazuje uticaj smetnje na masi na rad u digitalnim kolima

Laboratorijska vežba 2 prikazuje uticaj smetnje na masi na rad u digitalnim kolima. Cilj je da se studenti upoznaju sa uticajem napona šuma koji generišu logička TTL kola, a koji se javlja na povratnoj provodnoj vezi (tj. provodniku). Ispituje se njegova zavisnost od karakteristika provodnika i fizičke konfiguracije. U okviru vežbe, studenti snimaju karakteristike kola pomoću digitalnog osciloskopa i sonde i mogu da se uvere da povratna linija nema napon jednak nuli, već da postoji induktivno sprezanje (slika 2) [8].

U okviru ove vežbe studenti uče i da koriste komponente za zaštitu od EMI. Feritni EMI potiskivači se ugrađuju u kolo i posmatra se njihov uticaj na redukciju EMI.

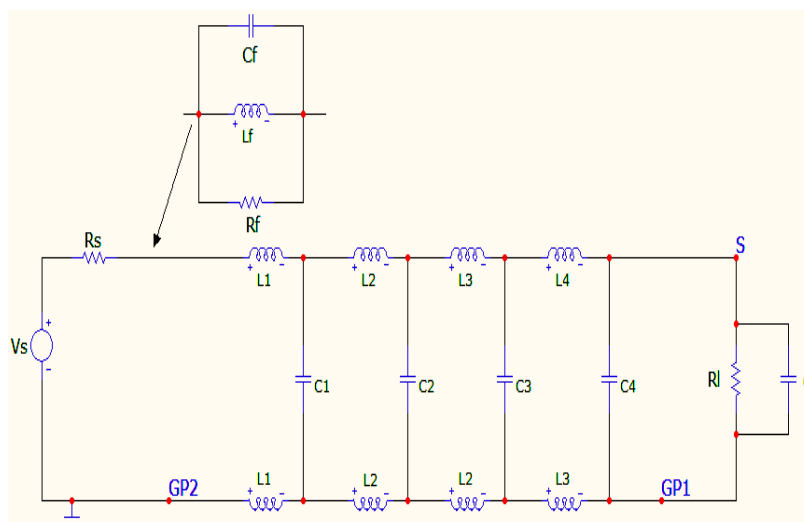


Slika 2. Snimljeni signali signalne i povratne putanje [8]

Pošto je predmet EMI i EMC u elektronici na master akademskim studijama, cilj je da studenti steknu odgovarajuća znanja, ali i da im se omogući manji istraživački rad, pod mentorstvom predmetnih nastavnika, koji može biti pretočen u diplomski master rad ili naučni rad koji će biti prezentovan na nacionalnoj ili međunarodnoj konferenciji.

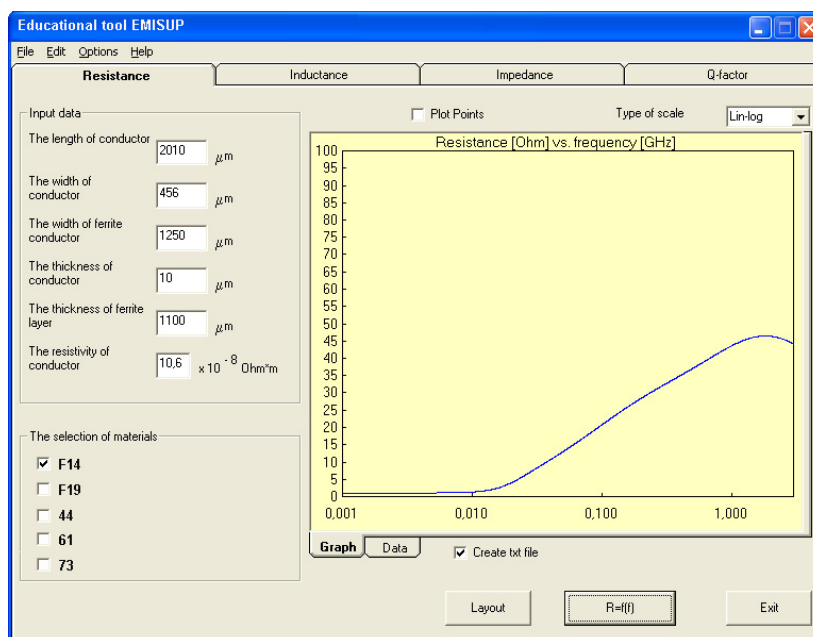
Na primer, maketa za Laboratorijsku vežbu 2, koja je realizovana u okviru izrade projekta iz predmeta EMI i EMC u elektronici, je kasnije korišćena za dalje merenje karakteristika i proučavanje uticaja EMI. Iz tog istraživanja je proistekao diplomski master rad Milice Kisić. Rezultati su publikovani i u Zborniku radova Fakulteta tehničkih nauka [8].

U daljem istraživanju, studenti koji su radili na ovom projektu su koristili i simulator za rad električnih kola MicroCAP. Modelovali su posmatrano kolo i prikazali njegov rad pomoću simulatora (slika 3). Rezultate istraživanja su publikovali na međunarodnoj konferenciji [9].



Slika 3. Model električnog kola analiziranog u okviru Laboratorijske vežbe 2 se koristio za simulaciju rada kola pomoću softvera MicroCAP, sa i bez dodavanja EMI potiskivača [9]

Osim snimanja karakteristika digitalnog kola i utvrđivanja da li kolo zadovoljava EMC standarde, studenti uče i da izaberu odgovarajuće komponente za EMI zaštitu. Pošto se u okviru nacionalnih projekata na kojima učestvuju nastavnici sa Katedre za elektroniku (TR 32016 i III45021) rade i istraživanja vezana za projektovanje različitih pasivnih komponenti, cilj je bio da se studentima prenese znanje i daju projekti na kojima će moći da se bave aktuelnim istraživanjima iz oblasti. U tu namenu je razvijen softver EMISUP [10], slika 4. Pomoću ovog softvera studenti mogu lako da razumeju vezu između različitih geometrijskih parametara i materijala sa efikasnošću komponenti za EMI zaštitu u odgovarajućem opsegu frekvencija.



Slika 4. Izgled prozora edukacionog alata EMISUP, koji je razvijen za studente da nauče da projektuju EMI potiskivače odgovarajućih karakteristika

3. ZAKLJUČAK

Projektovanje za EMC nije samo bitno za ostvarivanje željene funkcionalnosti, već i zato što uređaj mora da ispuni zakonske uslove postojeće u gotovo svim zemljama sveta da bi se mogao prodati. Projektovanje novih elektronskih proizvoda je gubljenje vremena i truda, ako oni ne mogu da se plasiraju na tržištu.

Danas su EMC dizajn tehnike i metodologija postali kao sastavni deo projektovanja kola, kao što je, na primer, digitalni dizajn. Značaj EMC dizajna će svakako sve više dobijati na značaju pri savremenim trendovima povećanja brzine takta i brzine prenosa podataka digitalnog sistema.

Kombinacijom predavanja, projektovanja korišćenjem softverskih alata i učenjem osnovnih mernih metoda, studenti se upoznaju sa problemima elektromagnetske interferencije i koji su osnovni principi na kojima počiva dobar EMC dizajn. Cilj ovog kursa iz elektromagnetske kompatibilnosti je da studenti nauče da primene svoja znanja u projektovanju kola koja će ispunjavati EMC direktive.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

4. LITERATURA

- [1] Michel Mardiguian, *EMI troubleshooting techniques*, McGraw Hill, New York, 2000.
- [2] V Lakshminarayanan, *Minimizing failures in electronic systems by design*, EDN, 3. Avgust 2000. Internet stranica: www.ednmag.com.
- [3] Internet stranica: <https://tehnis.privreda.gov.rs/sr/tehnicki-propisi/tehnicki-propisi-uskladjeni-sa-propisima-EU/novi-pristup/EMC.html>
- [4] Clayton R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, Wiley, IEEE Press, 2006.
- [5] Tim Williams, *EMC for Product Designers*, Elsevier Newnes, 2009.
- [6] Internet stranica <https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs>
- [7] IEEE EMC Society, *Ground noise in digital logic*, IEEE EMC educational manual, 1992.
- [8] Milica Kisić, Dejan Krstić, *Uticaj smetnji koje se javljaju na masi na rad digitalnih logičkih kola*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Edicija: Tehničke nauke, Novi Sad, god. XXV, br. 15/2010, pp: 3309-3312.
- [9] Kalman Babkovic, Milica G. Kisić, Milan Radovanovic, Aleksandar B. Menicanin, Ljiljana D. Zivanov, Mirjana S. Damnjanovic, *Ground Bounce Reduction Using EMI Suppressors*, 16th International Symposium on Power Electronics - Ee 2011, Novi Sad, Serbia, October 26th - 28th, 2011.
- [10] Mirjana Damnjanović, Ljiljana Živanov, Aleksandar Menićanin, Milica Kisić, Čedo Žlebić, Snežana Đurić, Goran Stojanović, *Learning EMC/EMI Design Problems Using Simulation Tool and Measurement Techniques*, 48th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials and the Workshop on Ceramic Microsystems, MIDEM 2012, 19- 21 September 2012, Otočec, Slovenia, pp. 225-230.