

Modelovanje bikonusne antene za merenje elektromagnetske emisije ispitnih uređaja

Nenad Munić, Aleksandar Kovačević i Veljko Nikolić

Apstrakt— Merenja elektromagnetske emisije ispitnog uređaja u frekventijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz se u Tehničkom opitnom centru realizuje bikonusnom antenom. Pri tome, merni prostor, svojim refleksijama utiče na rezultate merenja. U cilju sagledavanja tih uticaja i unapređivanja merenja, modelovana je bikonusna antena. Do modela se došlo kroz faze, poređenjem rezultata simulacija i eksperimenata. Predmet ovog rada je prikaz tih simulacionih modela, kao i odgovarajućih rezultata simulacija i eksperimenata.

Ključne reči—Bikonusna antena; BALUN; elektromagnetska emisija; elektromagnetska kompatibilnost; dipol.

I. UVOD

U Tehničkom opitnom centru (TOC) [1], specijalizovanoj vojnoj naučnoistraživačkoj ustanovi, već decenijama se obavljaju ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti (EMC). Po našim vojnim standardima SORS 1029/89 [2] i SORS 1762/89 [3], koji su slični američkim [4], merenja električnog polja smetnji ispitnog uređaja, u frekventijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz obavlja se širokopoljnom bikonusnom antenom [5]. Poznato je, kroz prethodna ispitivanja [6, 7], da merni prostor svojim refleksijama, utiče na rezultate ispitivanja.

U cilju unapređenja rada laboratorije za elektromagnetsku kompatibilnost, potrebno je proveriti uticaj različitih mernih prostora na rezultate merenja bikonusne antene. Stoga, osnovni cilj rada je simulacija bikonusne antene, kako bi se kasnije, kroz simulaciju antene u različitim mernim okruženjima, predvideli njihovi uticaji. Simulacioni (računarski) modeli antene su razvijani u programu WIPL-D Pro [8], u iteracijama, poredeći numeričke rezultate sa merenjima i simulacijama.

Predmet ovog rada je prikaz tih simulacionih modela, kao i odgovarajućih rezultata proračuna i merenja.

Rad je podeljen u tri celine, gde je u prvom delu razmatrana konstrukcija bikonusne antene, u drugom delu je definisan model BALUN-a (eng. BALance and UNbalance) i konačno u trećem delu razmatran je model celokupne antene.

Nenad V. Munić – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: nenadmunic@yahoo.com).

Aleksandar M. Kovačević, – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: aleksandarkovacevic1962@yahoo.com).

Veljko N. Nikolić, – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: veljkozmaj@yahoo.com).

II. KONSTRUKCIJA BIKONUS ANTENE

Bikonusna antena, sa BALUN-om (slika 1) predstavlja širokopoljnu antenu, predviđenu za radni opseg frekvencija od 25 MHz do 200 MHz, specifične karakteristične ulazne impedanse od 50Ω [5]. Bikonusna antena je posebno dizajnirana za rad sa mernom opremom pri merenjima u EMC-u. Projektovana je da meri električnu emisiju ispitnih uređaja.



Sl. 1. Izgled bikonusne antene.

Bikonusna antena se sastoji iz: prilagodnog BALUN-a, nosača i elemenata antene (žičani kraci). Po svojoj konstrukciji, ona je slična dipol anteni, s tim da bikonusna antena ne zahteva prilagođavanje dužine krakova u zavisnosti od frekvencije, kao što je to slučaj sa dipol antenom. Žičani elementi od kojih su napravljeni kraci su oblika konusa, kojih ima dva, te otuda i naziv bikonusna antena. Ugao konusa i dužina su posebno projektovani, tako da obezbede širokopoljnost antene, po frekvenciji.

Kraci bikonusne antene, na svojim krajevima, imaju vrednost karakteristične impedanse od 120Ω , balansirano. Da bi se antena koristila u standardizovanim mernim sistemima, čija vrednost karakteristične impedanse iznosi 50Ω neophodno ju je prilagoditi sa 120Ω na 50Ω . Takođe, u standardizovanim mernim postavkama koriste se koaksijalni kablovi čiji ulazi su nebalansirani, te je neophodno da se prilagode na balansirani ulaz krakova bikonusne antene. S toga u svrhu prilagođavanja impedanse antene, kao i transformacije balansiranog ulaza ulaz krakova bikonusne antene na nebalansirani izlaz koaksijalnog kabla koristiti se BALUN sa transformatorom impedanse.

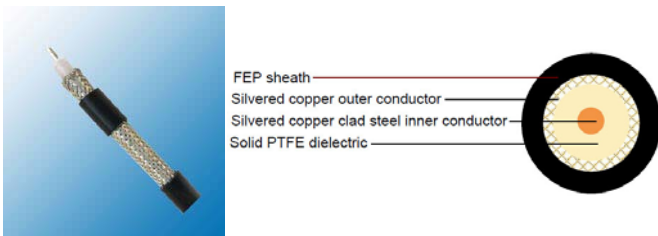
A. Gubici

BALUN (sa transformatorom impedanse) je smešten u aluminijumsko kućište (slika 2). Koaksijalni kablovi korišćeni za izradu transformatora su tipa RG303/U. Izgled konstrukcije koaksijalnog kabla RG303/U, kao i poprečni presek prikazani su na slici 3 [9]. Specifikacija kablova je

data u tabeli 1 [9].



Sl. 2. Izgled BALUN-a bikonusne antene.



Sl. 3. Konstrukcija koaksijalnog kabla RG303/U.

TABELA I
NAJZNAČAJNIJI PARAMETRI KOAKSIJALNOG KABLA RG303/U

Karakteristika	Vrednost
Impedansa	50±3 Ohm
Nominalna kapacitivnost	94 pF/m
Brzina prostiranja	70 %
Otpornost unutrašnjeg provodnika	63,5 Ω/km
Otpornost spoljašnjeg provodnika	7.5 Ω/km
Testirani/Radni napon (max)	5.0 kV/1.9 kV
Opseg radne temperature	-55 °C - +200 °C
Efikasnost oklopljavanja	60 dB

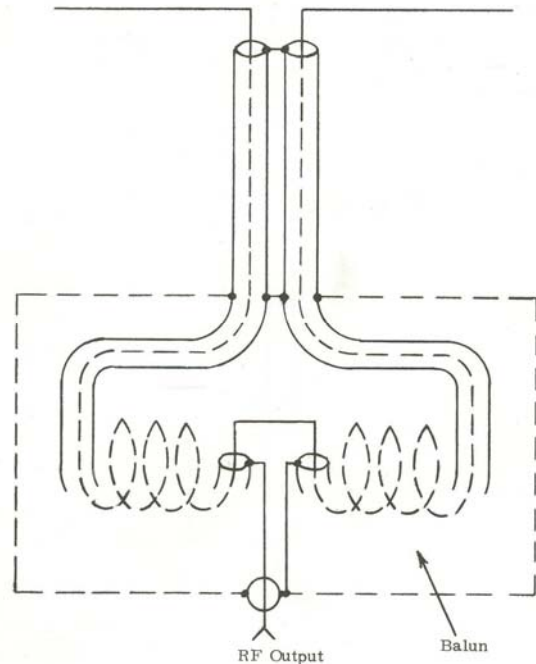
Nosači su realizovani od izolovanih fenolnih cevi kroz koji su provučeni koaksijalni kablovi (prethodno specificirani RG303/U) koji povezuju BALUN i antenu.

Žice koje čine krake antene su napravljene od gvožđa i spojene su zavarivanjem, čime je obezbeđen njihov međusobno dobar kontakt. One su prefarbane zaštitnom bojom, elektromagnetno propusnom, radi zaštite.

III. MODEL BALUN-A

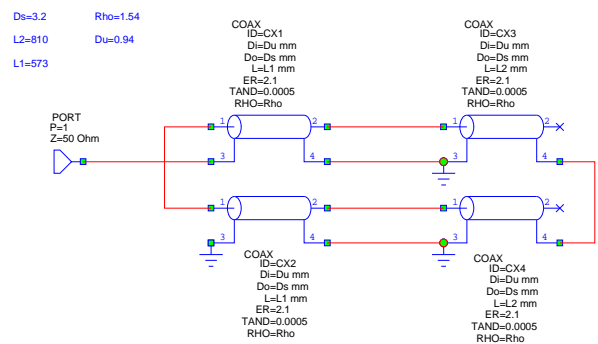
Bikonusna antena, kao što je prethodno navedeno, sastoji se iz tri segmenta: BALUN-a, nosača i krakova antene. Prva dva dela (BALUN i nosači) predstavljaju nezavisnu fizički nerastavljivu celinu, te je modelovanje bikonusne antene rađeno u dve faze. Prva faza predstavlja modelovanje BALUN-a i nosača, dok je druga faza modelovanje komplet

bikonusne antene. Kao parametar od interesa, posmatra se koeficijent stojećih talasa (VSWR) antene, odnosno $|S_{11}|$ (izražen u jedinicama dB). Rezultati simulacije su upoređivani sa rezultatima merenja.



Sl. 4. Šematski prikaz BALUN-a

Šema bikonusne antene sa nosačem je data na slici 4. Sa slika 2 i 4 se vidi da BALUN ima dva simetrično postavljena koaksijalna voda, koja su namotana oko izolovanog fenolnog valjka. Na osnovu šeme (videti sliku 4), identifikovane su električne veze između koaksijalnih vodova.

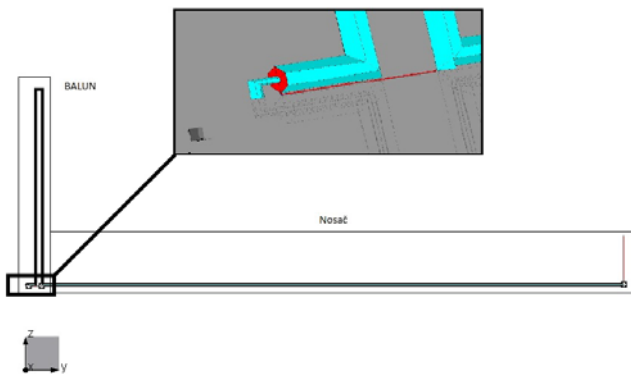


Sl. 5. Šematski prikaz BALUN-a realizovan u programu Microwave office.

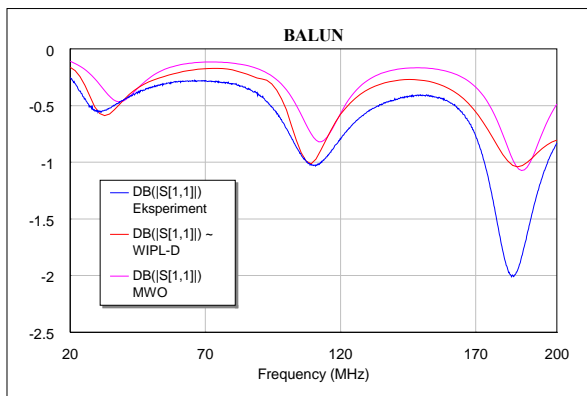
Za precizan model BALUN-a neophodno je odrediti dimenzije, tj. dužine koaksijalnih vodova. Pošto dužinu vodova, bez fizičkog oštećenja BALUN-a, nije moguće precizno izmeriti, pristupilo se određivanju kroz optimizaciju u programu microwave office (MWO) [10]. Prvo je eksperimentalno, koristeći analizator mreža, izmerena vrednost VSWR-a BALUN-a. Zatim je napravljen model BALUN-a, sa nosačima, u programu MWO, kao na slici 5. Konačno je, optimizacijom (promenom vrednosti

dužina koaksijalnih vodova), dobijena vrednost, pri kojoj je najbolje poklapanje između eksperimentalne i simulirane vrednosti VSWR-a.

Simulacijom u MWO je pokazano da se dobijaju dovoljno dobri rezultati kada se uzme slučaj da su koaksijalni vodovi pravi, umesto realne varijante kada su oni namotani oko valjka. Pri tome je utvrđeno da je važno voditi računa da su spoljni provodnici (tzv. mase) koaksijalnog voda na početku i na kraju kratkospojeni u jednu tačku. Zbog lakšeg modelovanja, u programu WIPL-D, uzeli smo da su koaksijalni vodovi postavljeni u obliku ćiriličnog slova „П“, umesto realne situacije kada su oni namotani oko fenolnog valjka, tako da je spoljni provodnik na početku i na kraju voda spojen. Model BALUN-a, napravljen u programu WIPL-D Pro, prikazan je na slici 6.



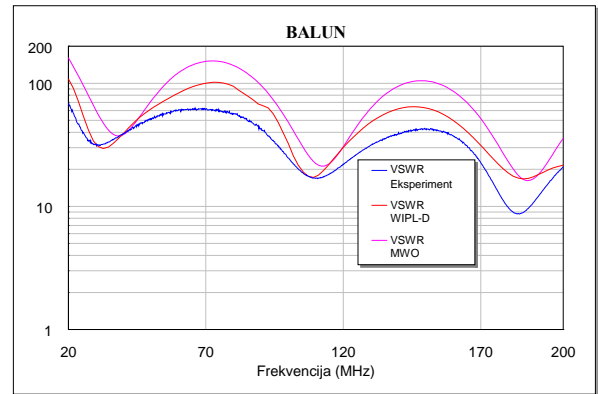
Sl. 6. Model BALUN-a realizovana u programu WIPL-D.



Sl. 7. Uporedni prikaz rezultata vrednosti parametra S_{11} (u dB) dobijeni eksperimentom i simulacijama u programu MWO i WIPL-D, respektivno.

Uporedni rezultati skalarne vrednosti parametra S_{11} , dobijeni merenjima (eksperiment), kao i simulacijama, u programima MWO i WIPL-D, respektivno, dati su na slikama 7 i 8. Može se primetiti da su razlike između simulacije i merenja minimalne. Naime, eksperiment i simulacija imaju dobro kvalitativno i kvantitativno poklapanje, u čitavom frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz. Kvantitativne razlike se mogu objasniti nesavršenostima modela BALUN-a. Prvo, namotaji koaksijalnih vodova su aproksimirani vodovima u obliku ćiriličnog slova „П“. Zatim realan BALUN je smešten u aluminijumsko kućište, dok model to nije. Takođe, u modelu u MWO nije modelovan završetak nosača, tj. mali žičani

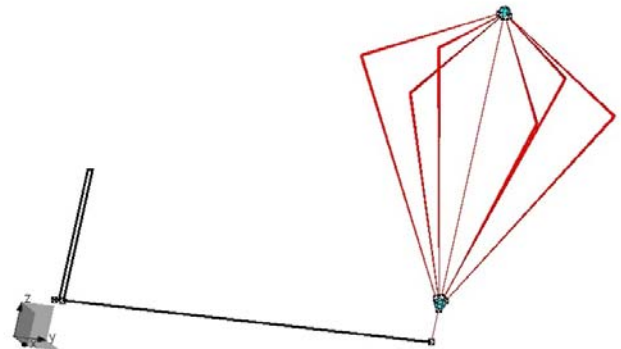
provodnici na koje se nadovezuju kraci bikonusne antene.



Sl. 8. Uporedni prikaz rezultata VSWR-a dobijeni eksperimentom i simulacijama u programu MWO i WIPL-D, respektivno.

IV. MODEL BIKONUSNE ANTENE I BALUN-A

Pošto je realizovan model BALUN-a, prešlo se u drugu fazu koja podrazumeva modelovanje celokupne bikonus antene (BALUN i bikonusni kraci). U modelu antene bikonusni kraci su modelovani žičanim provodnicima, podražavajući stvarne geometrijske karakteristike žičanih provodnika. Mesta sastava, gde su žice međusobno povezane (gornje i donje čvorište), modelovana su loptom (videti sliku 9), koja je aproksimirana pločama. Kraci antene su povezani sa nosačem preko unutrašnjeg provodnika koaksijalnog voda, koji je modelovan žicom. Konačan model bikonus antene sa BALUN-om je prikazan na slici 9.



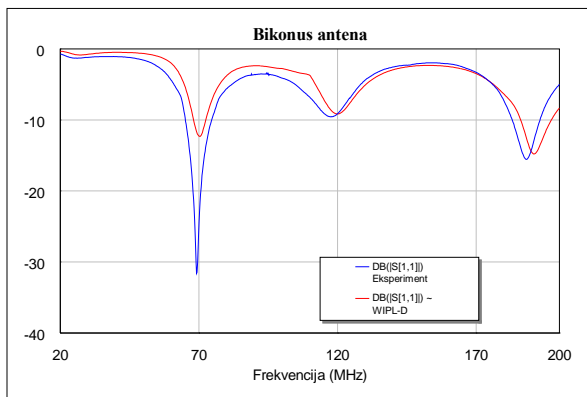
Sl. 9. Model bikonus sa BALUN-om realizovan u programu WIPL-D.

Radi povećanja brzine obrade, za modelovanje je iskorišćena simetrija između dva dela antene. Pri tome je u WIPL-D simulatoru korišćena opcija „Anti-Symmetry“, umesto opcije „Symmetry“, koja celokupnu strukturu, osim napajanja, preslikava preko definisane ravni simetrije. Korišćenje te opcije za simetriju obezbeđeno je asimetrično napajanje u delu koaksijalnog konektora tj. na priključku antene (BALUN-a). Radi jasnoće slike ravan simetrije i preslikana struktura nisu na slici 9 prikazani. Takođe, neophodno je bilo da se poveća stepen reda tačnosti integracije i struje, sa „normal“ na „enhanced 1“, da bi se smanjile greške simulacije. Simulacija je realizovana na laptop računaru ASUS N550J (procesor intel i7-4720HQ) za

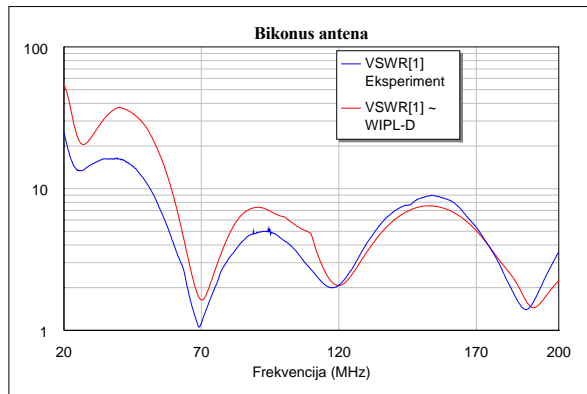
19 frekvencijskih tačaka. Pritom je ukupan broj nepoznatih 839, a ukupno vreme simulacije 339 s.

Merenja bikonusnom antenom su realizovana na otvorenom mernom mestu. Pri tome, korišćen je analizator mreža koji je baterijski napajan.

Usporedni rezultati merenja i simulacija su prikazani na slikama 10 i 11. Sa slika se može videti dobro kvalitativno i kvantitativno poklapanje između rezultata simulacije, u WIPL-D Pro simulatoru, i eksperimenta, u čitavom frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz. Takođe primećuju se manje kvantitativne razlike, koje se javljaju kao posledice nesavršenosti modela BALUN-a (uzete aproksimacije pri modelovanju BALUN-a), kao i greške pri merenjima. Mesta sa maksimalnim i minimalnim refleksijama su dobro prepoznata u modelu.



Sl. 10. Usporedni prikaz rezultata skalarnih vrednosti parametra S_{11} (u dB) dobijeni eksperimentom i simulacijom u programu WIPL-D, respektivno.



Sl. 11. Usporedni prikaz rezultata VSWR dobijeni eksperimentom i simulacijom u programu WIPL-D, respektivno.

V. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani simulacioni modeli BALUN-a i bikonusne antene sa BALUN-om. Modeli su razvijani tako da uključuju površinske gubitke žičanih elemenata od kojih su napravljeni bikonusni kraci, kao i gubitke u koaksijalnim kablovima uključujući pri tome i gubitke dielektriku.

Za sve posmatrane primere, rezultati simulacija i merenja kvalitativno i kvantitativno se dobro slažu, u čitavom frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz. Položaji

po frekvenciji maksimalne i minimalne vrednosti refleksije dobijeni simulacijom u skladu su sa eksperimentalno određenim položajima. Pri tome, kvantitativna odstupanja su minimalna, i to je, verovatno, posledica nesavršenosti modela BALUN-a, kao i grešaka merenja bikonusne antene.

U daljem radu na ovom problemu, biće potrebno proveriti uticaj površine zemlje (otvoreno merno mesto) i Faradejevog kaveza na izmerene nivoe napona na priključku bikonusne antene.

LITERATURA

- [1] www.toc.vs.rs
- [2] Elektromagnetske smetnje, ZAHEVI, SORS 1029/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, Beograd, 1989.
- [3] Elektromagnetske smetnje, MERENJA, SORS 1762/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, Beograd, 1989.
- [4] MIL-STD 461E, US Department of Defense, 1999.
- [5] Instruction Manual for Biconical Antenna Model no. 94455-1 (rev B), Eaton Corporation; Electronic Instrumentation Division, Los Angeles, CA, USA.
- [6] N. V. Munić, A. M. Kovačević, A. R. Đorđević: Modelovanje Faradejevog kaveza za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, Zbornik radova IX Konferencije TELFOR 2011, str. 965-968, Beograd, Srbija, 2011.
- [7] N. V. Munić, M. M. Nikolić, A. M. Kovačević, A. R. Đorđević: Poboľšano modelovanje Faradejevog kaveza za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, Zbornik radova XX Telekomunikacionog foruma, TELFOR 2012, 20-22. novembar, 2012, Beograd, Srbija, str. 1115-1118.
- [8] <http://www.wipl-d.com>
- [9] www.caledonian-cables.co.uk/Coaxia_Cable/M17_RG/RG303.html
- [10] Microwave Office 8.00, Applied Wave Research (2008) Preuzeto sa www.awrcorp.com

ABSTRACT

Electromagnetic interferences measurements of device under test in frequency range between 30 MHz do 200 MHz are carried out in Technical Test Center, with biconical antenna. The measurement's site, with reflection has the influences on the results of the measurement. In order to improve these test and consideration of the influences, we modelled a complete biconical antenna. We got the final model, through the phase comparing results of simulations and experiments. The subject of this paper is display of the simulation models and results of simulations and experiments.

The Model of Biconical Antenna for Electromagnetic Interferences Measurements of Device Under Test

Nenad Munić, Aleksandar Kovačević and Veljko Nikolić