

ODREĐIVANJE PARAMETARA ANTENE I PRILAGODENJE PREOSTALOM DELU KOLA**DETERMINATION OF ANTENNA PARAMETERS AND ADJUSTMENT TO THE REMAINING PART OF THE CIRCUIT**Dražen Stojšin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazano je merenje karakteristika antene i određivanje njenih parametara da bi se obezbedilo prilagođenje sa balun kolom i preostalim delom kola. Kao primer, posmatran je uređaj sa ZigBee primopredajnikom, koji radi na frekvenciji od 2,45 GHz. Parametri antene su izmereni pomoću pomoću vektorskog analizatora mreže (VNA), a zatim podešeni korišćenjem balun kola. Elementi balun kola su određeni korišćenjem simulacionog programa SimSmith. Nakon usklađivanja balun kola razmotreni su rezultati merenja indikatora snage primljenog signala (RSSI).

Ključne reči: Antena, frekventni opseg antene, S-parametri, Smith dijagram, RSSI merenja.

Abstract – This paper presents the measurement of antenna characteristics and the determination of its parameters to ensure compatibility with the balun circuit and the remaining part of the circuit. As an example, a device with a ZigBee transceiver, which operates at a frequency of 2,45 GHz, was analyzed. The antenna parameters were measured using a vector network analyzer (VNA) and then adjusted using a balun circuit. The elements of the balun circuit were determined using the SimSmith simulation program. After adjusting the balun circuit, the results of the received signal strength indicator (RSSI) measurement were considered.

Keywords: Antena, frequency range, S-parameters (scattering parameters), Smith chart, RSSI measurements.

1. UVOD

Usled ekspanzije tehnologija interneta stvari i razvoja pametnih uređaja, pojavila se potreba za razvijanjem bežičnih tehnologija male potrošnje koja se mogu integrisati u minijaturna kućišta. ZigBee je bežična tehnologija razvijena kao otvoreni globalni standard koji treba da odgovori na zahteve niske cene i male potrošnje energije bežičnih M2M mreža [1]. Bazirana je na IEEE 802.15.4 standardu personalnih računarskih mreža (PAN – Personal Area Network), a radi u različitim opsezima, najčešće na 2,4 GHz, ali i na 784 MHz, 868 MHz ili 914 MHz [2]. Standard predstavlja radio protokol namenjen jeftinim uređajima koji se napajaju pomoću baterija.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bila dr Mirjana Damjanović, red. prof.

Primena je najčešće u bežičnoj kontroli i praćenju, npr. u medicini, IoT, u pametnim mrežama (*smart energy/smart grid*), upravljanju osvetljenjem, sistemima automatizacije u zgradama, praćenju stanja u rezervoarima, medicinski uređaji itd.

Da bi se postigle što manje dimenzije uređaja, antena mora da bude što minijaturnija. Projektuje se na štampanoj ploči uređaja, da bi se izbeglo korišćenje eksterne komercijalne antene.

U ovom radu je prikazano projektovanje antene za primenu u ZigBee uređaju. Antena je upoređena sa komercijalno dostupnom antenom [3]. Izvršena je modifikacija antene i prilagodnog kola sa ciljem dobijanja maksimalne efikasnosti antene. Posmatrani su sledeći parametri antene: frekventni opseg, gubici, slabljenje signala i karakteristična impedansa antene [4].

2. OPIS ANTENE PROJEKTOVANE NA ŠTAMPANOJ PLOČI

Antena je aktivni ili pasivni elektromagnetski uređaj ili deo koji u sklopu s nekim elektroničkim uređajima pretvara elektromagnetsku energiju, vezanu uz vodove ili talasovode, u prostorni elektromagnetski talas ili obratno. Dobro projektovana antena obezbeđuje optimalni domet signala. Svaka antena ima dva važna parametra: talasnu dužinu i napajanje.

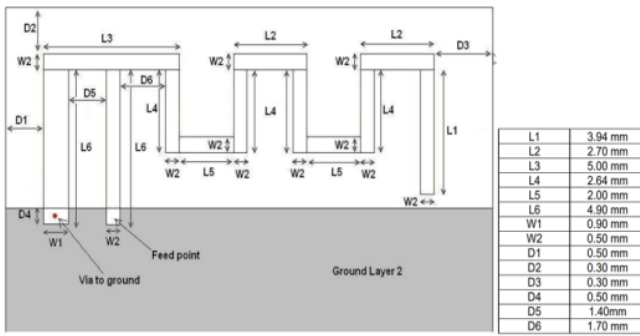
Za aplikacije na 2,4 GHz, većina antena na štampanim pločama [5] može se svrstati u nekoliko tipova: žičana antena, antena na štampanoj ploči i čip antena.

Idealna antena, ukoliko je usklađena sa ostatkom kola, zračiće celokupnu energiju bez refleksije.

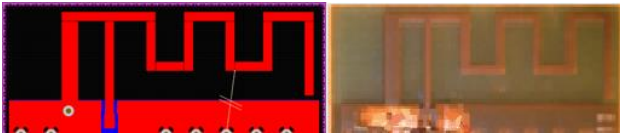
Parametar koji pokazuje koliko je dobro prilagođena antena prenosnom vodu je povratni gubitak (*Return loss*), $RL = 10\log(P_{ref}/P_{inc})$, koji predstavlja odnos snage upadnog P_{inc} i reflektovanog signala P_{ref} . S_{11} parametar ima negativnu vrednost u odnosu na povratne gubitke, $S_{11} = -RL$. U većini slučajeva ukoliko su povratni gubici veći od 10 dB (odnosno, ako je $S_{11} \leq -10$ dB) smatra se da se radi o dobroj anteni [6].

Projektovana antena, koja je izrađena na štampanoj ploči (PCB), treba da radi na frekvenciji od $f = 2,45$ GHz, pa je njena talasna dužina $\lambda = v/f = 0,12$ m, gde je brzina prostiranja talas $v = 3 \cdot 10^8$ m/s, a potrebna dužina mikrostrip antene je $\lambda/4 = 30,61$ mm.

Male promene dimenzija antene mogu imati veliki uticaj na njene performanse. Kao referentna antena za postizanje optimalnih performansi koristila se antena prikazana na slici 1 [7].



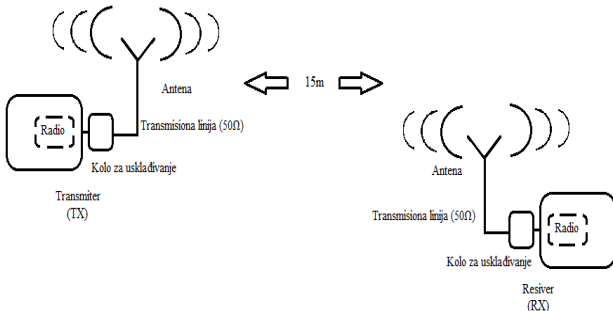
Slika 1. Dimenzije referentne antene [7]



Slika 2. Prikaz dizajna antene i izrađene štampane ploče

Izbor geometrije antene ima uticaj na zračenje antene, njen frekvencijski opseg, karakterističnu impedansu i domet. Postoji mogućnost da se usled promene geometrije parametri mogu veoma teško uskladiti ili da ih je u nekim slučajevima skoro nemoguće uskladiti sa ostatkom kola. Na slici 2 je prikazan dizajn antene kao i njen izgled nakon izrade štampane ploče.

Bežični prenos signala sa malim dometom između dva uređaja koji imaju antenu za bežični prenos ilustrativno je prikazan na slici 3.



Slika 3. Ilustrativni prikaz uobičajenog sistema bežičnog prenosa signala sa malim dometom

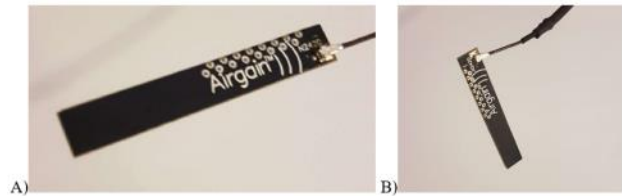
3. MERENJE PARAMETARA ANTENE

Uređaj korišćen prilikom merenja električnih karakteristika antene je vektorski analizator mreže, Rohde & Schwarz RS ZVA 50 [8]. Da bi se merne tačke priključile na VNA, napravljen je adapterski kabl, koji je izrađen od RG316 kabela sa priključenim V.FL kablom (broj proizvoda: V.FL-2LPG-062N2D-A-(35)) [9]. Merenje je vršeno u frekvencijskom opsegu od 1,95 GHz do 2,95 GHz.

3.1. MERENJE PARAMETARA AIRGAIN N2420 ANTENE

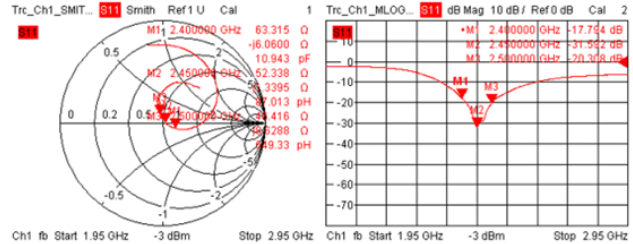
Kao prvi korak, izvršeno je merenje komercijalno dostupne antene AIRGAIN N2420 (slika 4), koja radi na frekvenciji od 2,4 GHz. Upoređene su njene karakteristike (slika 5), sa kataloškim podacima [3].

Pri merenju parametara antene je potrebno obratiti pažnju na položaj sonde. Preporuka proizvođača je da se pristupni kabl postavi kao na slici 4a). Ukoliko se kabl postavi pod drugim uglom, može doći do greške prilikom merenja parametara antene.



(a) (b)

Slika 4. Postavka sonde za merenje parametara Airgain N2420 antene[3]: (a) ispravan položaj, (b) sonda priključena pod drugim uglom (loše)

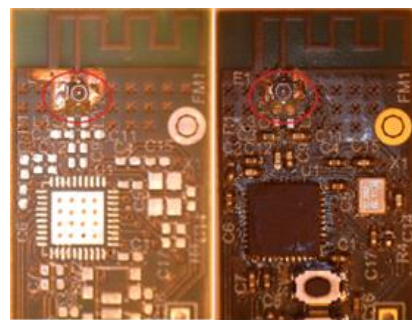


Slika 5. Prikaz merenja referentne antene N2420

Na slici 5 prikazan je Smitov dijagram (Smith) za referentnu antenu, na kojem su označene merne tačke sa karakterističnim impedansama i frekvencijama, M1 (63.315-j6.060 Ω) na 2,40 GHz, M2 (52.338-j5.3395 Ω) na 2,45 GHz, M3 (48.416+j8.6 Ω) na 2,50 GHz. Tačka M2 ima karakterističnu impedansu veoma blisku 50 Ω i nalazi se na traženoj frekvenciji od 2,45 GHz. Sve tri tačke su dobro grupisane. Parametar S_{11} u tački M2 ima vrednost -30 dB. To nam pokazuje da se radi o dobro projektovanoj anteni za traženi frekvencijski opseg.

4. MERENJE PARAMETARA PROJEKTOVANE ANTENE (P119 R002)

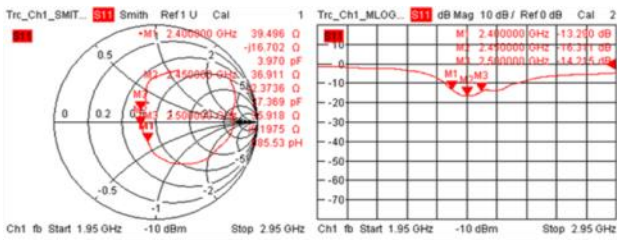
Da bi se izvršilo merenje sa što manjim uticajem okolnih komponenata na projektovanu antenu, najpre je urađeno merenje na štampanoj ploči bez dodatnih komponenti (slika 6a), a zatim i merenje nakon njihovog postavljanja (slika 6b).



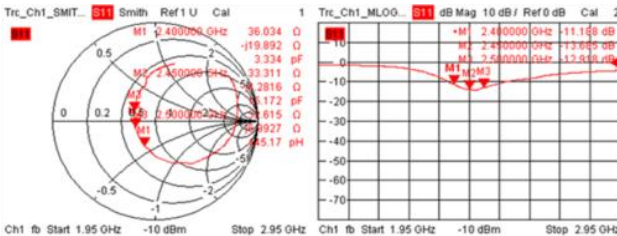
(a) (b)

Slika 6. Prikaz štampane ploče (a) bez postavljenih komponenti i (b) sa komponentama

Na slikama 7 i 8 prikazani su rezultati merenja za antenu na štampanoj ploči bez i sa zalemljenim komponentama, respektivno. U oba slučaja se može primetiti da su tačke M1, M2 i M3 grupisane, odnosno, u blizini jedna druge. Nakon sklapanja štampane ploče vrednost parametra S_{11} ostaje ispod -10 dB. Parametri u posmatranim tačkama su nešto veći, ali ne utiču na zračenje antene na željenoj impedansi od $Z_0=50 \Omega$.



Slika 7. Rezultati merenja za antenu na štampanoj ploči bez zalemljenih komponentata (slika 6a)



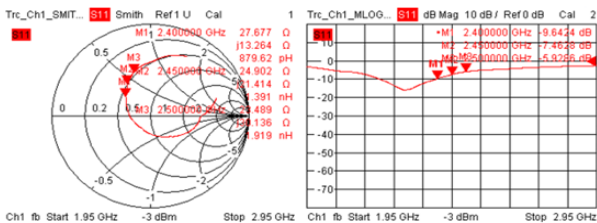
Slika 8. Rezultati merenja za antenu na štampanoj ploči sa zalemljenim komponentatama (slika 6b)

4.1 KOMPLETNO KOLO SA PROJEKTOVANOM ANTENOM UPAKOVANO U PLASTIČNO KUĆIŠTE

Nakon dodavanja plastičnog kućišta (slika 9) ponovljeno je merenje karakteristika projektovane antene. Da bi se merenje moglo obaviti, na plastičnom kućištu je izbušen mali otvor za prolaz adaptera mernog kabla. U ovom slučaju, antena nema usklađenu impedansu (približno 50 Ω) za posmatrane tačke M1, M2 i M3. Parametar S_{11} u tački M1 ima vrednost od -10dB, dok za je za preostale dve tačke M2 i M3 njegova vrednost iznad -10 dB, kao što se može videti na slici 10. Zbog toga je bio potreban redizajn antene.



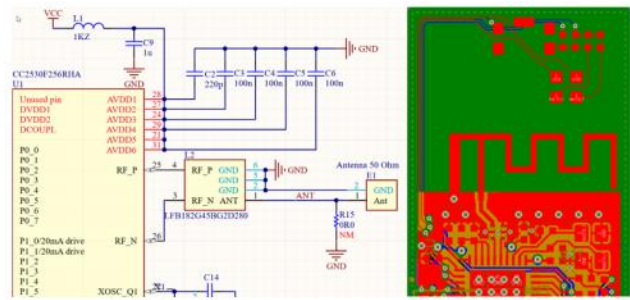
Slika 9. Kompletno kolo sa projektovanom antenom i merni kabl V.FL-2LPG-062N2D-A-(35)



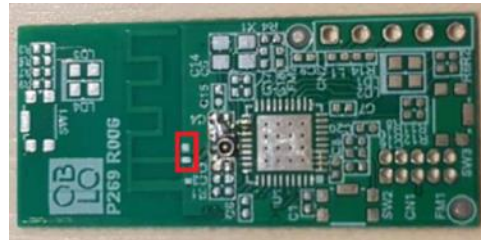
Slika 10. Rezultati merenja za kompletno kolo sa projektovanom antenom

5. REDIZAJN ANTENE (P269 R006)

Da bi poboljšali karakteristike antene, dodat je bakarni sloj na štampanoj ploči tj. sloj sa masom (GND), kao što se može videti na slici 11. Ostavljeno je jedno slobodno mesto (*place holder*) za komponentu, koja će biti dodata da se podese parametri antene na štampanoj ploči P269 R006 (slika 12).



Slika 11. Deo šeme uređaja i redizajn štampane ploče



Slika 12. Prikaz praznog mesta ostavljenog za dodavanje korekcionne komponente na štampanoj ploči

Da bi se uradilo merenje, potrebno je predvideti pogodno mesto za postavljanje konektora za merenje parametara antene na štampanoj ploči. Mesto je tako izabrano da bude što bliže pristupnoj tački (*feed point*) antene, kao što je prikazano na slici 13. Nakon redizajna uređaja ponovljeno je merenje parametara antene.



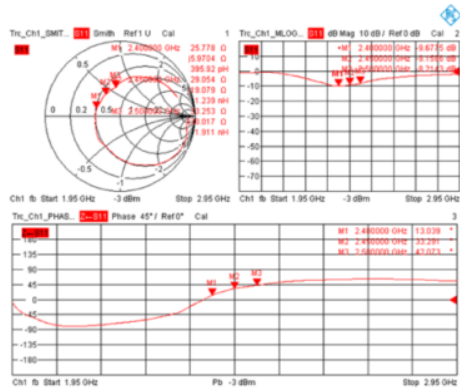
(a)

(b)

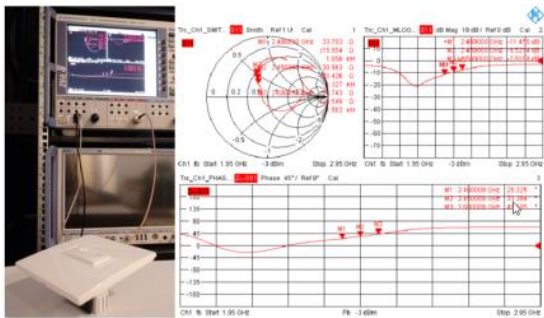
Slika 13. Prikaz štampane ploče P269 R006 (a) bez postavljenih komponenti i (b) sa komponentama

6. MERENJE PARAMETARA REDIZAJNIRANE ANTENE (P269 R006)

Izmerene karakteristike antene na štampanoj ploči P269 R006 pokazuju da se tačke M1 (25,778 + j·5,97 Ω), M2 (29,054 + j·19,079 Ω) i M3 (33,253 + j·30,017 Ω) nalaze u odgovarajućem opsegu i da su grupisane, kao što se može videti na slici 14. Parametar S_{11} u svim tačkama ima vrednost blisku, nešto više od -10 dB. Pošto su merne tačke grupisane, može se zaključiti da je karakteristiku takve antene jednostavno popraviti. Nakon toga, uređaj sa dodatim napajanjem je oklopljen i izvršeno je novo merenje (slika 15). Deo sa napajanjem je potrebno zalemiti na svim lemnim mestima za štampanu ploču da ne bi došlo do odstupanja u merenju. Postavljanjem konektora bliže pristupnoj tački antene dobijamo tačnije rezultate merenja. Treba napomenuti da je na projektovanoj ploči ostavljeno mesto za dodavanje korekcionne komponente, za slučaj da je potrebno popraviti karakteristike antene.



Slika 14. Rezultati merenja redizajnirane štampane ploče P269 R006 bez dodatih komponenta



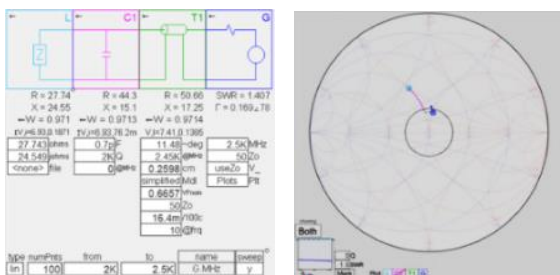
Slika 15. Rezultati merenja za redizajniranu štampanu ploču sa komponentama postavljenim u kućište, bez dodatne komponente za korigovanje parametara antene

Redizajnirana antena ima znatno bolje karakteristike od prve verzije. Markeri su skoro spojeni u jednoj tački bez obzira da li se antena nalazi u kućištu (slika 15), što znači da je takvoj anteni znatno lakše korigovati karakteristike. Čak i bez dodatne korekcionog komponente, kada se uređaj nalazi u kućištu, tačka M2 pokazuje vrednost S_{11} parametra nižu od -10 dB.

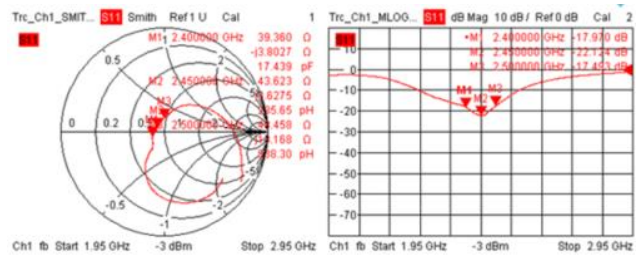
Za poboljšanje karakteristika uređaja, korišćen je programski alat SimSmith [10]. Njime je određena korekciona komponenta (slika 16), kondenzator $C_1 = 0,7$ pF, koji daje najbolje rezultate (slika 17).

Tačka M2 pokazuje vrednost S_{11} parametra nižu od -20 dB. Izmerena vrednost RSSI parametra na razdaljini od 15 m ima opseg od -73.5 dBm do -83 dBm, što je dovoljno dobro.

Domet antene je do 80 m, na toj razdaljini je приметно slabljenje signala ali uređaj još uvek radi. Zaključujemo da ovako projektovana antena odgovara zahtevima Zigbee uređaja.



Slika 16. Podešavanja parametara balun kola u SimSmith programskom alatu



Slika 17. Rezultati merenja kompletnog uređaja, nakon dodavanja korekcionog kondenzatora $C_1 = 0,7$ pF

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se predstavi projektovanje antene, merenje njenih parametara i podešavanje karakteristika. Prikazane su dve antene. Prva projektovana antena, P119 R002, ima parametar $S_{11} = -15$ dB, što je odgovarajuće, međutim, nakon oklapanja njene karakteristike nisu bile zadovoljavajuće, $S_{11} = -9$ dB. Urađen je redizajn antene i dodavanje korekcionog kola koje je određeno pomoću simulatora SimSmith. Antena P269 R006 sa korekcionim kolom pokazuje vrednost za parametar $S_{11} = -20$ dB, čak i nakon dodavanja kućišta. Može se uočiti podudaranje merenih parametara sa proračunima koja su vršena pomoću softverskog alata na računaru. Tačke M1, M2 i M3 su bolje grupisane, poboljšanje je domet antene. Bolje karakteristike antene bi se mogle postići dodavanjem korekcionog kola sa dva ili više kondenzatora, podešavanjem debljine štampane ploče (stackup), kao i podešavanjem impedanse antene što bliže 50Ω .

8. LITERATURA

- [1] Connectivity Standard Alliance: "Zigbee", <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>, pristupljeno: 1.12.2023.
- [2] Standard „IEE Std 802.15.4-2003“, ieeexplore.ieee.org/document/1237559, pristupljeno: 1.12.2023.
- [3] Airgain Inc. „Embedded Antenna model N2024“, www.arcantenna.com, pristupljeno 1.12.2023.
- [4] Agilent Technologies: „Antenna Test Selection Guide“, 2012.
- [5] Texas Instruments: „Antenna Selection Quick Guide“, www.ti.com/lit/pdf/swra351, pristupljeno 1.12.2023.
- [6] A. Đugova, J. Radić, M. Videnović-Mišić, L. Nađ: „Metoda za određivanje karakteristika širokopojasnog nisko-šumnog pojačavača realizovanog u CMOS tehnologiji“, FTN Novi Sad, tehničko rešenje, www.ftn.uns.ac.rs/n4670087, pristupljeno: 1.12.2023.
- [7] A. Andersen: „Application Note AN043“, Texas Instruments, AN043, pristupljeno: 1.12.2023.
- [8] Hirose Electric: „Ultra-Small Surface Mount Coaxial Connectors“, www.mouser.com, 1.12.2023.
- [9] Uputstvo „Vector Network Analyzer RS ZVA50“, www.testequipmenthq.com, pristupljeno: 1.12.2023.
- [10] Program „SimSmith“, www.ae6ty.com pristupljeno: 1.12.2023.

Kratka biografija:

Dražen Stojšin rođen 1988. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – na studijskoj grupi Primenjena elektronika odbranio je 2024. godine.

Kontakt: stojsin.drazen@gmail.com