

## PROJEKTOVANJE ŠTAMPANIH PLOČA ZA RADIO PREDAJNIKE MALE SNAGE

Miljana Sokolović, Dragiša Milovanović, *Elektronski fakultet u Nišu*  
**Nagrada za najbolji studentski rad na Komisiji**

**Sadržaj** - Pri projektovanju RF kola, jedan od najvažnijih pod sistema predajnog uskopojasnog sistema male snage predstavlja antena. Ako se uzme u obzir zahtev za malim dimenzijama i niskom cenom, dolazi se do zaključka da je mala štampana loop antena smeštena na istoj štampanoj ploči gde i radio predajni modul veoma praktično rešenje. Da bi projektant dobio najbolje rezultate, on mora stalno imati na umu interakciju antene i predajnog kola. U ovom radu iznet je niz predloga za efikasno projektovanje štampanih ploča i antena RF predajnika malih snaga.

### 1. UVOD

Uparedo sa napretkom nauke i tehnike kod savremenog čoveka se razvila potreba da mu sve bude na dohvat ruke. Ovo se naročito odnosi na elektronske uređaje, odnosno na sredstva za komunikaciju. Za takve sklopove nije bitno samo da su pokretni to jest bežični, već i da budu malih dimenzija, male potrošnje, kao i da na njih ne utiču bitno promene iz okruženja. Izuzetna brojnost i raznovrsnost takvih uređaja dovodi do podizanja frekvencija na kojima oni rade. Tako se došlo do toga da su najčešće korišćene frekvencije za takve uređaje iz RF opsega frekvencija. Međutim, sa porastom frekvencije rastu i poteškoće u očuvanju performansi takvih sistema. Sa porastom frekvencije paraziti efekti i drugi spoljašnji uticaji značajno degradiraju performanse uređaja.

Sa druge strane, mobilni uređaji treba da budu dovoljno mali i kompaktni. Na njih ne treba da utiču znatno promene iz okolnog sveta (na primer uticaj ruke odnosno tela ili oblik i tip kućišta, kao i materijal od koga je ono napravljeno). Što jednostavnije i što tačnije podešavanje frekvencije takođe treba da se ima na umu pri projektovanju takvih uređaja.

U narednim odeljcima biće prvo objašnjen princip rada jednog predajnog kola koje na svom ulazu dobija digitalni signal koji se kasnije obrađuje i kojim se zatim pobuđuje jedna kompaktna štampana loop antena. Zatim će biti izložen proračun dimenzija štampane loop antene kako bi se rezonantna učestanost antene našla unutar željenog propusnog osega. Nadalje će biti objašnjen postupak projektovanja topologije takvog jednog modula korišćenjem alata za projektovanje štampanih ploča PCAD. Pri tom će biti izložene i neke bitne napomene koje treba imati u vidu pri projektovanju takvih modula, a koje za cilj imaju sledeće:

- što bolje zračene antene, pri čemu treba izbeći upotrebu eksterne antene,
- što bolje prilagođenje antene na predajno kolo,
- što manje parazitarne efekte koji potiču od same pločice,
- što manji uticaj okruženja.

Na samom kraju biće prikazani rezultati merenja izvršeni na realizovanom kolu i biće date neke zaključne ocene.

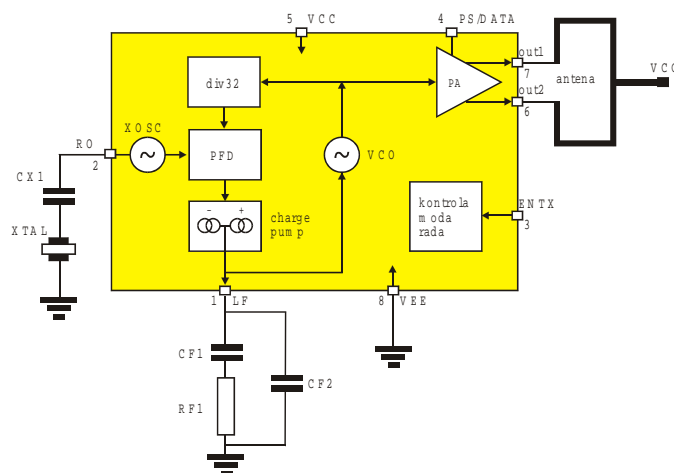
### 2. PREDAJNO KOLO ZA POBUDU ANTENE

Kolo koje će nadalje biti opisano, koristi se u sistemima kao što su :

- alarmni i sigurnosni sistemi

- sistemi za centralno zaključavanje automobila
- telemetrijski sistemi male snage
- opšti sistemi za predaju-emitovanje podataka u digitalnom obliku
- opšti sistemi za predaju-emitovanje analognih audio signala
- kola za generisanje signala lokalnog oscilatora
- sistemi za bežični prenos podataka
- daljinski upravljači
- protivpožarni sistemi

Takvo kolo koristi gotove integrisane predajnike (transmitere) [1]. Blok šema jednog takvog integrisanog kola data je na slici 1. Ovo integrisano kolo ima zadatak da primljeni digitalni signal uobliči i amplitudski moduliše (ASK) tako da se dobije oblik signala pogodan za pobuđivanje antene. Predajna integrisana kola postoje u dve verzije: sa simetričnim i sa nesimetričnim izlazom. Ovde će biti korišćeni integrisani predajnici sa simetričnim izlazom, kako bi se skrenula pažnja na loš uticaj nesimetrije na antenu i celo kolo, a koji se javlja pri projektovanju tj. pri razmeštanju komponenta i trasiranju veza.



Sl. 1: Blok šema predajnog integrisanog kola

Radi potpunije slike, biće date neke osnovne karakteristike ovog integrisanog kola [2].

Na slici 1, prikazan je predajnik koji se sastoji iz potpuno integrisanog naponski kontrolisanog oscilatora (VCO), delitelja frekvencije ( $N=32$ ), detektora faze (PFD) i charge pump kola. Eksterna petlja filtra određuje dinamičko ponašanje PLL petlje i potiskuje sporedne harmonike nosioca.

Izlaz VCO-a pobuđuje pojačavač snage (PA). Snaga  $P_o$  RF signala se može podesiti u šest različitih vrednosti počevši od  $P_o=-15\text{dBm}$ , pa do  $+1\text{dBm}$ . Podešavanje se ostvaruje promenom vrednosti otpornika  $R_{F1}$  ili promenom napona  $V_{PS}$  na pinu PS/DATA. Simetrični izlaz koji je sa otvorenim kolektorom (OUT1, OUT2) može se koristiti da bi direktno pobuđivao loop antenu. Da bi se postigla maksimalna

moгуća izlazna snaga, simetrični izlaz treba da bude prilagođen na potrošač od oko  $1k\Omega$ . Integrisano kolo stabilno radi u opsegu napajanja od 2,2V do 5,5V.

Ovo kolo može obavljati ASK modulaciju na taj način što se podatak direktno dovodi na pin PS. On uključuje odnosno isključuje PA, i tako dovodi ASK signal do izlaza.

Mnoge aplikacije zahtevaju stabilan RF izvor. Zbog toga se ovo kolo može koristiti i bez modulacije kao jednostavan PLL stabilisan generator kontinualnog signala.

Ako je potrebno da kolo obavlja i FM modulaciju, potreban je eksterni varistor. On jednostavno deluje kao pulling otpornik koji je redno vezan s kristalom. Onda analogni modulacioni signal, koji prolazni kroz serijski otpornik, direktno moduliše signal na pinu XOSC.

Logika za kontrolu načina rada dopušta dva različita radna režima. Pin za kontrolu načina rada je interno pull down otpornikom vezan na logičku nulu. Ukoliko se na ovaj pin ništa ne dovodi, celo kolo je neaktivno.

### 3. PRORAČUN ANTENE

Razmotrimo sada proračun antene koja se vezuje za izlazpojačavača. Njene dimenzije su određene frekvencijom na kojoj ceo uređaj treba da radi [3]. Pošto je celo integrisano kolo napravljeno da daje najbolje rezultate pri radu unutar opsega frekvencija od 310MHz do 480MHz, odnosno od 800MHz do 930MHz, onda se i pri projektovanju antene ovo mora uzeti u obzir.

Antena je pravougaonog oblika sa dve pristupne tačke. Debljina bakarne trake je ista kao i debljina sloja linija tj. veza na štampanoj pločici. To znači da se izrađuje na isti način kao što se izrađuju i linije na štampanoj pločici. To pak znači da za njenu proizvodnju ne treba trošiti ni dodatno vreme ni dodatni novac. Potrebno je samo malo više (što je opet zanemarivo malo) materijala to jest bakra i epoksidnog stakla.

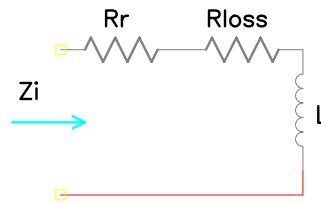
Na slici 2, prikazan je izgled antene, i označene su dimenzije od interesa.



Sl. 2: Izgled štampane loop antene

Površina antene izračunava se kao:  $A = l_a \times l_b$ . Od izuzetnog je značaja da se pri projektovanju antene vodi računa o tome da je:  $l_a, l_b \gg 2a$ .

Impedansa male štampane loop antene može se dobiti korišćenjem odgovarajućeg ekvivalentnog kola. Pošto je sama antena u stvari jedna bakarna petlja, to se antena može ekvivalentno predstaviti kao redna veza otpornosti zračenja, otpornosti gubitaka u bakru i induktivnosti petlje. Ekvivalentno kolo prikazano je na slici 3.



Sl. 3: Ekvivalentna električna šema štampane loop antene

Sa slike 3 može se odrediti ekvivalentna impedansa antene. Ona se određuje iz izraza:

$$Z_i = R_r + R_{loss} + j\omega L \quad (1)$$

$R_r$  predstavlja otpornost zračenja antene,  $R_{loss}$  označava gubitke u bakru, dok  $L$  predstavlja induktivnost strukture. Otpornost zračenja antene izračunava se kao [3]:

$$R_r = 20(\beta^2 A)^2, \text{ gde je } \beta = 2\pi/\lambda \text{ i } A = l_a \times l_b. \quad (2)$$

Otpornost gubitaka izračunava se kao:

$$R_{loss} = \frac{1}{2\pi}(l_a + l_b)R_s, \text{ gde je } R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu_0}{\sigma}}, \quad (3)$$

a  $\sigma$  provodljivost bakra.

Induktivnost strukture se može izračunati na sledeći način:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left[ l_b \ln \left\{ \frac{2A}{a(l_b + l_c)} \right\} + l_a \ln \left\{ \frac{2A}{a(l_a + l_c)} \right\} + 2\{a + l_c - (l_a + l_b)\} \right] \quad (4)$$

$$\text{gde je } l_c = \sqrt{l_a^2 + l_b^2}$$

Stepen korisnog dejstva antene predstavlja odnos snage signala kojim se antena pobuđuje i snage koju antena izrači u okolni prostor. Za ovakvu antenu on se računa kao:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_{loss}}. \quad (5)$$

Dobitak (gejn) antene predstavlja meru zračenja neke antene u poređenju sa nekom referentnom antenom kao što je dipol, i računa se kao:

$$G_L = G_D \cdot \eta \cdot \gamma. \quad (6)$$

Ovde  $G_D$  označava gejn referentnog polutalasnog dipola,  $\eta$  je stepen korisnog dejstva, a  $\gamma$  faktor prilagođenja antene na izlaz integrisanog kola. Kao i sve kompaktne antene, tako i za ovu važi da ima vrlo mali gejn. Na osnovu izračunate ulazne admitanse antene, može se odrediti njena rezonantna frekvencija. Paralelno ulaznim priključcima antene, vezuje se kondenzator koji će zajedno sa induktivnošću antenske strukture, omogućiti ostvarivanje rezonance.

Proračunom se za dimezije antena dobijaju sledeće vrednosti:

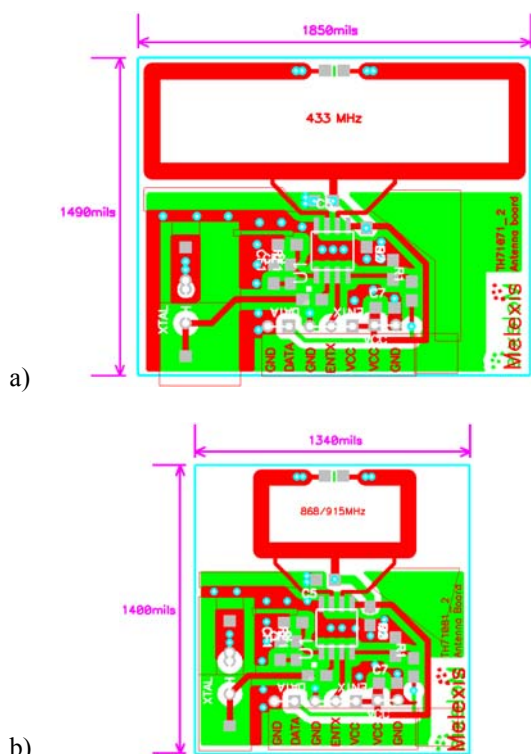
za radnu frekvenciju od 866MHz  $16mm \times 10mm$  sa procepom od  $5,1mm$  i

za radnu frekvenciju od 433,6MHz  $44mm \times 12mm$  sa procepom od  $7,6mm$ .

Pri proračunu je podrazumevano da je širinu bakarne trake,  $2a = 2mm$ , a njena debljina, standardnih  $0,034mm$ .

#### 4. PROJEKTOVANJA ŠTAMPANIH PLOČICA KORIŠĆENJEM PCAD ALATA

Prethodno opisano integrisano kolo kao i antena predstavljaju najvažnije delove predajne pločice. Njih je sad potrebno pažljivo povezati međusobno i sa ostalim komponentama. Korišćenjem PCAD alata [4], ovaj korak projektovanja čini se vrlo jednostavnim. PCAD sadrži mnogo alata. Najvažniji za ovaj korak su editor za unos električnih šema-Schematic i editor za projektovanje same topologije štamanih pločica-PCB Layout. Projektovanje dvoslojnih štamanih pločica odvija se u nekoliko faza. Prvo je



Sl. 4: Topologija štampanog antenskog predajnog kola: a) za frekvenciju 433MHz; b) za frekvenciju 866MHz

neophodno uneti električnu šemu celog kola u editor Schematic. Zatim se prelazi na PCB Layout gde je kao i kod svakog drugog računarskog projektovanja potrebno podesiti radnu površinu. Tu se pored ostalog podešavaju i boje pozadine, slojevi, biblioteke elemenata, dimenzije linija, stopica, međuslojnih prelaza i same pločice. Posle toga se iz Schematic-a u PCB Layout eksportuje net lista celog kola. Pri tome se svaki simbol iz Schematic-a u PCB Layout-u automatski zamenjuje svojim otiskom to jest svojim stopicama. Za ovu fazu projektovanja nisu bitne vrednosti elemenata kola, već samo njihovi otisci odnosno dimenzije stopica, kućišta i nožica. Sve elemente na pločici sad je potrebno razmestiti. Sledeća operacija je trasiranje veza među komponentama. Trasiranje se može uraditi na dva načina. Ili automatski ili ručno. Kako je kod ovakvih pločica vrlo važno smanjiti dužine svih linija, i kako na samoj pločici nema mnogo komponenata, onda je mnogo pogodnije ovaj korak raditi ručno, a ne automatski. Pošto se sama antena radi isto kao i sve ostale veze na pločici, to se ona u ovom koraku unosi u celo kolo. Kada su komponente raspoređene i povezane, potrebno je "naliti" bakarne slojeve sa gornje i donje strane pločice. Ovi slojevi obezbeđuju povezivanje na masu. Razmeštaj, trasiranje veza i nalivanje bakarnih slojeva

treba raditi tako da se ispoštuju neka vrlo važna pravila projektovanja. Neka od ovih pravila, biće kasnije nabrojana. Na slici 4 prikazane su topologije projektovanih štamanih pločica i to za dve različite frekvencije tj. antene, zajedno sa odgovarajućim dimenzijama.

Da bi projektovanje sistema bilo uspešno dovedeno do kraja, potrebno je još verifikovati celi projekat. Tek nakon ovog koraka može se reći da li je kolo dobro ili loše projektovano. Verifikacija se radi u dve faze.

1. Provera pravila projektovanja. Konkretna projektantska rešenja proveravaju se sa stanovišta geometrijskih ograničenja.
2. Poređenje net liste. U toku poređenja net liste se na osnovu ekstrahovane net liste samog layout-a i one eksportovane iz Schematic-a vrši poređenje i dolazi do zaključka da li su svi potrebni elementi i veze kola prisutni na konačnoj pločici.

Poslednju fazu projektovanja predstavlja generisanje fajlova za upravljanje mašinama za izradu pločica [5]. Potrebno je za svaku pločicu generisati fajl za upravljanje preciznih bušilica kojima sa dobijaju svi potrebni otvori (pinovi, međuslojni prelazi itd.) to jest takozvana *Drill* datoteka. Druga datoteka koja je potrebno generisati služi za upravljanje mašinama za izradu svih slojeva na pločici, takozvana *N/C* datoteka.

#### 5. SPECIFIČNOSTI PROJEKTOVANJA ŠTAMPANIH RF KOLA SA ANTENAMA

Da bi se postigle što bolje karakteristike RF predajnih antenskih uređaja, važno je ispoštovati neka pravila. Ova pravila ne moraju biti striktno poštovana ukoliko se radi o nižim radnim frekvencijama sistema. Međutim, sa povećanjem frekvencija dolaze do izražaja mnogi parazitetni efekti koji značajno menjaju celokupno ponašanje kola.

Zahtevi koje ovde treba ispoštovati mogu se svrstati u nekoliko grupa. Prvu grupu čine specifičnosti formiranja slojeva za povezivanje na masu. U drugu grupu spadaju specifičnosti rasporeda komponenti i linija. Treću predstavljaju specifičnosti linija napajanja. Poslednju, ali ne i manje važnu grupu zahteva čine poboljšanja karakteristika antena.

Što se tiče formiranja slojeva za povezivanje na masu, treba ispoštovati da ovaj sloj ne sme da ima mnogo prekida sa donje strane pločice. Stoga treba izbegavati trasiranje linija sa donje strane pločice. Ako je to neophodno, treba ih načiniti što je moguće kraćim. Ovo zbog toga što je jaka veza sa masom vrlo važna na visokim frekvencijama. Pošto i na gornjem sloju postoje slojevi koji su povezani na masu, i pošto na pločici može da postoji samo jedna masa, onda je potrebno, gde god je to moguće, ugraditi međuslojni prelaz. Za neke grupe elemenata opet je važno izolovati veze sa masom radi smanjenja uticaja njihovih signala na signale drugih grupa elemenata. To znači da će njihovi slojevi za povezivanje na masu na gornjem sloju pločice biti izolovani od ostalih na gornjem sloju pločice. Što se tiče samog izgleda ovih slojeva, treba izbegavati da oni imaju šiljkaste strukture. Ovakve strukture služe kao mesta za akumuliranje nosilaca naelektrisanja, pa je zato najbolje odsecati ih ili ih bar zaobliti.

Kod razmeštanja komponenta i linija, treba paziti da linije budu što kraće, ali ne i previše jer se tad javljaju parazitetni efekti koje svojom međusobnom blizinom stvaraju

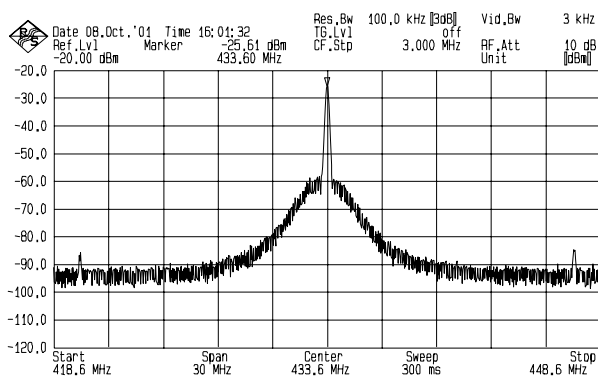
virtuelne komponente. Linije kroz koje se očekuje veća struja, treba da budu srazmerno šire. Linije kroz koje teku digitalni signali, treba da budu što dalje od onih kroz koje teku analogni signali. Ovo isto važi za linije kroz koje teku ulazni i izlazni signali.

Važno je da linije napajanja budu što šire kako bi se u svim tačkama duž linije održavao isti potencijal. Takođe je bitno da na samoj pločici ove linije ne naprave zatvoreno kolo tj. petlju. Napajanje je potrebno dovoditi do više tačaka u kolu, pa ovo treba raditi korišćenjem zvezdaste ili bus topologije.

Što se same antene tiče, nju u kolu treba postaviti na gornjoj strani pločice tako da bude što je dalje moguće od sloja mase. Slojevi mase su načinjeni od metala (bakra), pa se oni u odnosu na antenu ponašaju kao reflektori. U blizini antene, takođe treba izbegavati trasiranje linija kao i ispisivanje teksta. Tekst na pločici se radi na isti način i od istog materijala kao i linije veza. Da se ne bi javljale nesimetrije u frekvencijskom spektru, antena i ostatak kola treba da poseduju određen stepen simetrije. Ovo se naročito odnosi na slojeve za povezivanje na masu. Postoje razne varijante pobuđivanja antene koje omogućuju da antena još bolje zrači.

## 6. REZULTATI MERENJA

Nakon dobijene gotove pločice i nakon ugradnje to jest lemljenja svih potrebnih komponenata, može se pristupiti merenjima. Ispitivanje karakteristika ovih pločica rađeno je na analizatoru spektra. Kao rezultat merenja za antenu sa slike 4a dobijen je spektar prikazan na slici 5. Ovde je predstavljen rezultat merenja samo na predajnoj pločici koja radi na 433MHz. Prikazana je frekvencijska zavisnost izlazne snage predajnog kola. Sličan rezultat, dobijen je i na pločici čija je radna frekvencija 866MHz.



Sl. 5: Frekvencijski spektar kola dobijen merenjima izvršenim na analizatoru spektra

## 7. IZBOR KUĆIŠTA

Ništa manje važan uticaj na rad celog antenskog predajnog sistema ima kućište kao i okruženje u kome se uređaj koristi. Pri izboru kućišta treba stalno imati na umu da svaka metalna površina ometa zračenje antene. Metalne površine predstavljaju reflektore za emitovane

elektromagnetne talase sa antene. Prema tome, ako je ipak neophodno imati neke metalne delove kućišta, onda njihove dimenzije treba da budu što manje i ti delovi treba da budu što udaljeniji od same pločice sa antenom.

Treba reći da zračenje antene može dosta da zavisi i od okurženja u kome se ona koristi. I u toku merenja treba paziti da pri postojanju nekih spoljašnjih uticaja, oni budu uvek jednaki, ako ih prethodno nije bilo moguće izbeći. Tu npr. spadaju neki drugi merni uređaji, pa i osoblje koje merenja vrši.

## 8. ZAKLJUČAK

U procesu projektovanja štampanih predajnih RF kola, antenu treba shvatiti kao element sistema koji je kritičan po njegove performanse. Na prvom mestu su tu efikasnost antene i niska cena. Ovde je između ostalog iznet niz praktičnih predloga za postizanje boljeg i efikasnijeg projekta antenskih predajnih modula. Prikazani su rezultati praktičnog rada. Projektovane antene koriste se u daljinskim upravljačima, sistemima za daljinsko zaključavanje i drugim uređajima koje proizvodi firma Melexis.

## LITERATURA

- [1] -, "Small loop antennas" Nord IC VLSI ASA, Application note, Norway, February 2000.
- [2] www.melexis.com
- [3] Kent Smith "Antennas for low power application", RF Monolithics, Dallas, December 2000.
- [4] -, "PCAD 2000 specialized design tools for PCB professionals; PCB Design", ACCEL Technologies, Inc,
- [5] M. Flatt, "Printed circuit boards basics; an introduction to the PCB industry", published by IPC, Manhattan, January 1997.

**Abstract** – For RF designers developing low-power radio devices for short-range applications, antenna design has become an important issue for the total radio system design. Having in mind the demand for small size and low cost in the development of such radio modules, a small-tuned loop antenna on the same printed circuit board as the radio module is a good and practical solution. In order to achieve good results, designer has to keep in mind how the antenna and the transmission module work. Some suggestions for efficient design of printed circuit boards and antennas for low-power RF radio transmitters have been proposed in this paper.

## DESIGN OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR LOW-POWER RADIO TRANSMITTERS

Miljana Sokolović, Dragiša Milovanović