

# Simulacija RF 3D induktora projektovanog za LTCC tehnologiju u Agilent ADS programu

Dejan Antić, Goran Radosavljević, Andrea Marić, Goran Stojanović

**Sadržaj** — Na tržištu mikroelektronskih komponenti poslednjih godina javila se povećana potreba za induktorima malih dimenzija, dobrih performansi i niske cene. Da bi se na jednostavniji i brži način udovoljilo ovim oprečnim zahtevima, u sve većoj meri se pribegava upotrebi različitih programskih alata namenjenih modelovanju komponenti. U današnje vreme, proces proizvodnje je gotovo nezamisliv bez prethodnog računarskog projektovanja i simuliranja komponente. Cilj ovog rada je da opiše i prikaže postupak dizajna i simulacije RF 3D induktora projektovanog za LTCC tehnologiju. Induktor je projektovan i simuliran korišćenjem Agilent ADS2005A programa. Takođe, izvršeno je poređenje rezultata simulacije iste strukture dobijenih pomoću Ansoft HFSS programa.

**Ključne reči** — 3D induktor, ADS, LTCC tehnologija.

## I. UVOD

Koncept digitalne obrade podataka i signala je uneo velike promene u naše društvo. Sa njegovom pojavom je usledio i razvoj telekomunikacione opreme i mnogobrojnih elektronskih uređaja. Gotovo da nema oblasti ljudske delatnosti u kojoj mikroelektronika i računari nisu našli svoje mesto, počev od dečijih igraćaka preko kućnih aparata, industrijskih mašina, pa sve do vojnih primena i svemirskih programa. Ova široka zastupljenost odlučujuće je uticala na razvoj projektovanja i izrade integrisanih kola i komponenti, koje moraju da ispune sve strožije zahteve za minijaturizacijom, boljim performansama i nižom cenom. Kontradiktorni uslovi stavili su na velika iskušenja projektante širom sveta da pomire te naizgled nespojive zahteve. Kao dodatna otežavajuća okolnost jeste i zahtev tržišta da se nova, unapređena tehnologija proizvede što brže, a svakako pre konkurencije.

Usled skupe opreme za izradu integrisanih kola i komponenti, u prošlosti je vladao monopol u ovoj grani

Ovaj rad je urađen uz finansijsku podršku Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije, u okviru projekta broj TR-006116B.

D. Antić, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: +381-61-1479842, e-mail: [anticdejan@mail.com](mailto:anticdejan@mail.com)).

G. Radosavljević, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: +381 21 485 2543, e-mail: [rgoran@uns.ns.ac.yu](mailto:rgoran@uns.ns.ac.yu)).

A. Marić, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: +381 21 485 2543, e-mail: [amaric@uns.ns.ac.yu](mailto:amaric@uns.ns.ac.yu)).

G. Stojanović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [sgoran@uns.ns.ac.yu](mailto:sgoran@uns.ns.ac.yu)).

industrije. Međutim, danas se situacija promenila zbog pojave velikog broja široko dostupnih simulacionih alata. Više nije potrebno da se pravi veliki broj test uzoraka kako bi se dobili optimalni parametri komponenti i kola. U procesu projektovanja se danas najpre okreće korišćenju programskih paketa za projektovanje i simulaciju, a tek onda se pristupa izradi komponente sa već određenim optimalnim karakteristikama.

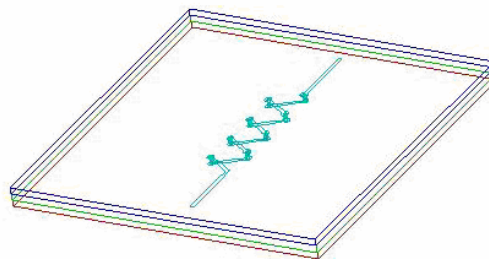
Danas postoji veliki broj kompanija koje se bave proizvodnjom i razvojem programskih paketa namenjenih projektovanju elektronskih komponenti i kola. Jedna od njih, koja zauzima važno mesto u ovoj grani industrije, je Agilent Technologies. Ova kompanija je pre nekoliko godina razvila profesionalni programski paket ADS (*Advance Design System*), namenjen prvenstveno za projektovanje visoko frekventnih komponenti i kola.

Za potrebe ovog rada korišćena je verzija ADS2005A [1]. ADS2005A predstavlja veoma moćan softver namenjen projektovanju i simulaciji komponenti i kola. On omogućava dizajn, simulaciju i optimizaciju komponenti i kola, jer su u njemu obuhvaćane različite mogućnosti za simulaciju u vremenskom i frekventnom domenu, kao i simulacije elektromagnetskog polja itd.

Cilj ovog rada je da se prikažu osnovni koraci potrebni za projektovanje u ADS2005A okruženju, na primeru 3D induktora projektovanog za LTCC tehnologiju i za RF frekventni opseg [2], [3]. Pored toga, prikazani su rezultati dobijeni simulacijom pomoću ADS2005A i upoređeni sa simulacionim rezultatima koji su dobijeni pomoću elektromagnetnog simulatora Ansoft HFSS [4].

## II. PROJEKTOVANJE I SIMULACIJA KOMPONENTI KORIŠĆENJEM ADS PROGRAMA

Postupak projektovanja i simulacije biće objašnjen na primeru RF 3D induktora projektovanog za LTCC tehnologiju čiji je izgled prikazan na slici 1.



Sli. 1. Izgled 3D induktora u Agilent ADS2005A programu.

Projektovanje i simulacija komponenti korišćenjem ADS2005A programa [5] sastoji se iz sledećih koraka:

- projektovanje *layout*-a
- definisanje portova
- kreiranje *mesh*-a (mreže)
- simulacija.

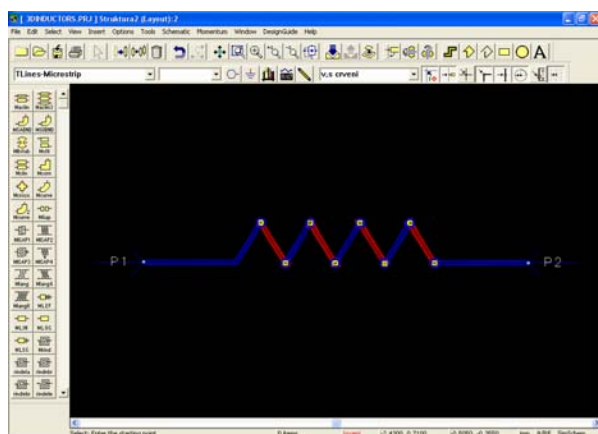
LTCC tehnologija se može definisati kao postupak laminacije više keramičkih traka, pri relativno niskoj temperaturi (850°C), na koje se, u obliku paste, nanose provodni, dielektrični ili otporni materijali [6] - [8].

#### A. Projektovanje *layout*-a

Projektovanje *layout*-a se može uraditi na jedan od dva načina:

- projektovanje delova direktno u *Layout* prozoru
- generisanje *layout*-a iz projektovane šeme u *Schematic* prozoru.

Projektovanje komponente urađeno je direktno u *Layout* prozoru. Na Sl.2 je prikazan *Layout* prozor i isprojektovani *layout* 3D induktora.



Sl. 2. *Layout* prozor

*Layout* prozor daje mogućnost izvršenje svih procesa potrebnih za uspešno kreiranje i simulaciju komponente. Na raspolaganju su razni oblici, kao i gotove komponente. Prvi korak prilikom projektovanja komponente je definisanje sloja supstrata.

Koraci u definisanju supstrata uključuju:

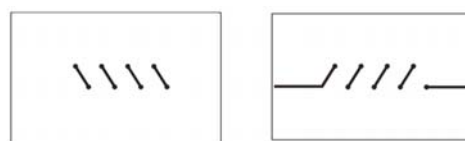
- definisanje slojeva supstrata
- pozicioniranje provodnih slojeva na i u sloju supstrata.

Definicija supstrata opisuje medij svakog sloja posebno i omogućava zadavanje osobina, kao što je broj slojeva u supstratu, dielektrična konstanta i veličina svakog sloja u kolu.

Prilikom projektovanja pasivnih komponenti, a samim tim i predloženog 3D induktora, mora se napomenuti da se struktura mora sastojati od minimalno tri sloja supstrata (GND, *Alumina* i *FreeSpace*). GND predstavlja zatvorenu graničnu površ, postavljenu sa donje strane strukture i povezanu sa masom. Sloj *FreeSpace* predstavlja otvorenu graničnu površ koja označava da je čitava struktura koja se želi projektovati okružena vazduhom (vakuumom), što u stvari i jeste realna situacija kada se struktura i fizički napravi. GND i *FreeSpace* sloj se ne vide prilikom

prikazivanja strukture u 3D prostoru. *Alumina* sloj predstavlja sloj na kome se fizički nalazi komponenta koja se projektuje i za taj sloj supstrata se definišu karakteristični parametri, kao što debljina supstrata i relativna permitivnost.

Za 3D induktor sa Sl.1 potrebno je projektovati tri sloja. Slojevi su od dielektričnog materijala, relativne permitivnosti  $\epsilon_r=8$  i debljine 188 $\mu\text{m}$ . Prvo je potrebno definisati prvi dielektrični sloj na koji se želi naneti provodni sloj i nakon toga se projektuje provodni sloj. Pri projektovanju provodnog sloja korišćen je oblik *path* (putanja) širine 100 $\mu\text{m}$  i debljine 10 $\mu\text{m}$ . Izgled projektovane provodne linije na prvom dielektričnom supstratu prikazan je na Sl. 3a.



(a) donji provodni sloj (b) gornji provodni sloj

Sl. 3. Izgled provodnih linija induktora.

Sledeći korak je definisanje novog sloja supstrata (drugi sloj), istih karakteristika kao i kod prvog, kroz koji se definišu vertikalne provodne veze (*vie*) koje služe za povezivanje provodnih linija na prvom i drugom dielektričnom sloju. Takođe, mora se definisati i novi provodni sloj koji služi za pravljenje provodnih veza između dielektričnih slojeva i izvršiti njegovo pozicioniranje u odnosu na prvi provodni sloj. Nakon toga, definiše se novi provodni sloj (gornji sloj, Sl.3b) koji se projektuje na drugom dielektričnom sloju i vrši se njegovo pozicioniranje u odnosu na *vie* i prvi provodni sloj. Nakon toga se definiše novi dielektrični sloj (treći sloj dielektrika), istih karakteristika kao i prethodna dva dielektrična sloja, i time je završeno crtanje *layout*-a predložene 3D induktorske strukture.

#### B. Definisavanje portova

Definisavanje portova u Agilent ADS2005A programu se izvodi u dva koraka. Prvo se portovi dodaju komponenti kada je ona nacrtana, a potom se zadaje i tip porta. Port se može dodati na: pinu komponente, na ivici komponente (najčešće na sredini) ili na površini komponente. Za prikazani primer portovi su postavljeni na ivici. Postoji pet tipova portova koje je moguće definisati. To su: *Single*, *Internal*, *Diferential*, *Coplanar*, *Common Mode* i *Ground Reference*. Različiti tipovi omogućavaju podešavanje portova prema tipu i funkciji komponente. Generalno, treba izabrati tip porta koji se najbolje uklapa pri upotrebi aplikacije *layout*. Na ovom primeru definisani su portovi tipa *Single*. U cilju uspešne simulacije, isprojektovana komponenta mora imati najmanje jedan port.

#### C. Kreiranje *mesh*-a

*Mesh* predstavlja vrstu mreže sastavljenu od trouglova i pravougaonika, pri čemu se svaki od njih tretira kao jedna ćelija. Oblik ćelija zavisi od geometrije kola i od parametra koje je definisao korisnik (proizvoljno). Nakon proračuna, *mesh* se pridružuje kolu u cilju izračunavanja

struje svake ćelije. Kasnije se pomoću tih parametara izračunavaju  $s$ -parametri kola ili komponente.

Kreiranje meša se sastoji iz dva dela:

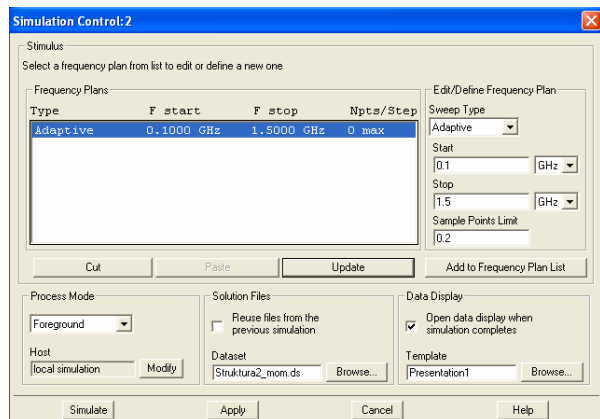
- definisaje parametara  $mesh$ -a
- proračunavanje parametara  $mesh$ -a.

$Mesh$  je moguće proračunati i pre simulacije, ukoliko se želi videti da li je mreža dovoljno gusto raspodeljena za datu strukturu. U suprotnom  $mesh$  će biti izračunat kao deo procesa simulacije. U ovom radu, iskorišćeno je automatsko kreiranje  $mesh$ -a sa podrazumevanim parametrima.

Ukupan broj ćelija na koje je izdijeljena struktura je 163 oblika pravougaonika, 741 trougla i 65 vie.

#### D. Simulacija

Simulacioni proces kombinuje  $Green$ -ove funkcije, koje su izračunate za zadati supstrat, i podatke o  $mesh$ -u koji su izračunati za kolo prilikom rešavanja struja kola. Izračunavanje  $s$ -parametara kola se vrši na osnovu proračuna struja. Na Sl. 4 je prikazan prozor simulacije u kome se vrše sva podešavanja simulacije.



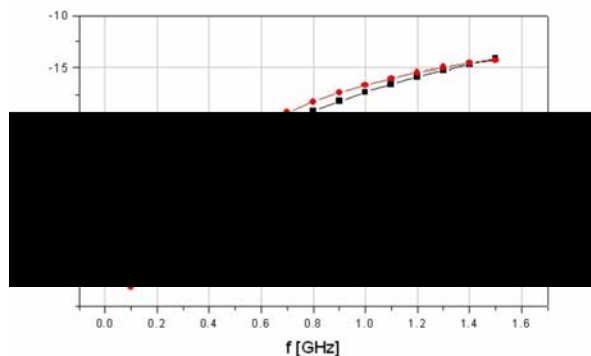
Sl. 4. Prozor simulacije

Za slučaj 3D induktora prikazanog u ovom radu, frekventni opseg obuhvata učestanosti od 0.1 do 1.5 GHz, sa korakom od 0.2 GHz. Program je unapred definisan da automatski prikaže rezultate simulacije i sačuva ih u obliku <ime\_projekta>.a\_ds.

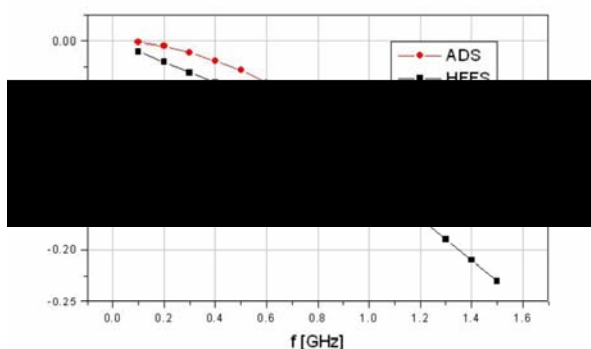
### III. REZULTATI SIMULACIJE 3D INDUKTORA

Na Sl. 5. i Sl. 6. redom su prikazane zavisnosti  $s_{11}$  i  $s_{21}$  parametara u odnosu na frekvenciju, dobijenih pomoću Agilent ADS2005A i Ansoft HFSS programa. Sa Sl. 5 se vidi da oba programa daju približno iste vrednosti  $s_{11}$  parametra na frekventnom opsegu od interesa, dok za  $s_{21}$  parametre postoje mala odstupanja za dva korišćena simulatora, Sl.6, ali je ponašanje (trend opadanja) isto.

Momentum MW 6.0, simulator koji je sastavni deo ADS2005A programskog paketa, prikazuje samo  $s$ -parametre kao rezultate simulacije. Međutim, pored  $s$ -parametara za opisivanje induktorskih struktura potrebne su i informacije o vrednostima induktivnosti ( $L$ ) i faktor dobrote ( $Q$  faktor).



Sl. 5. Zavisnost  $s_{11}$  parametara od frekvencije.



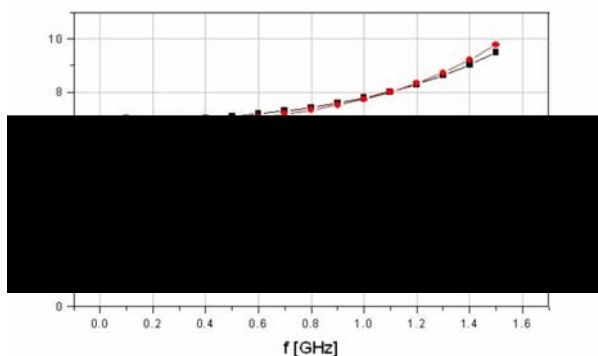
Sl. 6. Zavisnost  $s_{21}$  parametara od frekvencije.

Za izračunavanje induktivnosti i  $Q$  faktora korišćene su jednačine definisane formulama (1) i (2).

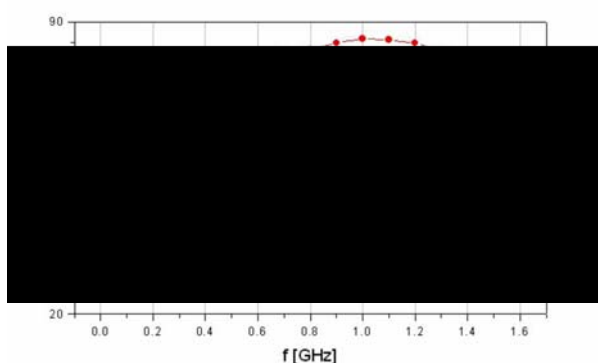
$$L = \frac{\text{Im}(Y_{11}^{-1})}{2 \cdot \pi \cdot \text{Frekv.}} \quad (1)$$

$$Q = -\frac{\text{Im}(Y_{11})}{\text{Re}(Y_{11})} \quad (2)$$

Kao što se vidi iz navedenih formula za izračunavanje induktivnosti i  $Q$  faktora potrebno je poznavati zavisnost  $y$ -parametara od frekvencije. Zbog toga je potrebno izvršiti konverziju  $s$ -parametara u  $y$ -parametre, a zatim izvršiti izračunavanje  $L$  i  $Q$  pomoću  $y$ -parametara. Nakon transformacije parametara i korišćenjem formula (1) i (2) dobijene su zavisnosti induktivnosti i  $Q$ -faktora od frekvencije, prikazane na Sl.7 i Sl.8, respektivno.



Sl. 7. Zavisnost induktivnosti od frekvencije.



Sl. 8. Zavisnost  $Q$ -faktora od frekvencije.

Sa Sl. 7 se vidi da je vrednost induktivnosti 3D induktora dobijena pomoću dva različita programa skoro identična. Njena vrednost na centralnoj učestanosti od 1 GHz iznosi 7.4 nH.

Na osnovu grafika prikazanih na Sl.8 se vidi da su dobijene krive istog oblika, ali različitim vrednosti  $Q$  faktora. Maksimalna vrednost  $Q$  faktora za oba slučaja se nalazi na učestanosti od 1GHz. Na toj učestanosti, rezultati dobijeni simulacijom u ADS programu daju vrednost faktora dobrote 85,9 dok su rezultati dobijeni simulacijom u HFSS programu dali faktor dobrote 72,2.

Proces izrade i karakterizacije (merjenja) komponente prikazane u ovom radu je u toku. Nakon toga će biti moguće proceniti pomoću kojeg softverskog paketa se dobijaju veličine približnije eksperimentalnim vrednostima  $Q$ -faktora. To će dati uvid u pravi izbor programa koji će biti korišćen u daljem projektovanju struktura slične geometrije i namene.

#### IV. ZAKLJUČAK

Agilent ADS2005A predstavlja veoma moćan program namenjen projektovanju i simuliranju kola i komponenti. Postupak simuliranja u vremenskom i frekventnom domenu, kao i simulacija elektromagnetnog polja pružaju mogućnost dobre optimizacije kola i komponenti. Vreme

simulacije je približno jednako u poređenju sa Ansoft HFSS programom i za prikazano strukturu 3D induktora iznosilo je oko 5 minuta.

Trodimenzionalni izgled strukture moguće je videti tek nakon simulacije, što u slučajevima složenijih višeslojnih komponenti može stvoriti zabunu. Rezultati simulacije prikazuju samo  $s$ -parametre i to može predstavljati problem u slučajevima kada su kao krajni rezultati potrebne neke druge veličine (induktivnost,  $Q$  faktor, otpornost itd.), jer se mora vršiti transformacija parametara, što iziskuje dodatno vreme.

#### ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se prof. Dr. Walter Smetani sa Instituta za senzorske i aktuatorske sisteme, Univerziteta u Beču, Austria, koji je omogućio fabrikaciju komponente predstavljene u ovom radu u LTCC tehnologiji.

#### LITERATURA

- [1] Agilent Technologies Inc. ADS (Advance Design System).
- [2] G. Radosavljević, A. Marić, G. Stojanović, Lj. Živanov, "Proces izrade induktorskih struktura u LTCC tehnologiji," INFOTEH-Jahorina, vol. 6, Ref. E-VI-1, pp. 541-545, Mart 2007.
- [3] G. Radosavljević, A. Marić, G. Stojanović, Lj. Živanov, W. Smetana, M. Unger, H. Homolka, "The fabrication process of RF inductor structures in LTCC technology," The 30th International Semiconductor Conference CAS 2007, Sinaia, Rumunija, 15-17 October, 2007, to be published.
- [4] Ansoft Inc. HFSS (High Frequency Structure Simulator). Pittsburg: Ansoft Corporation, 2002.
- [5] Manual for ADS2005A, "Momentum," August, 2005.
- [6] L.J. Golonka, "New application of LTCC technology," 28th Int. Spring Seminar on Electronics Technology, pp. 148-152, 2005.
- [7] L.J. Golonka, "Technology and applications of Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) based sensors and microsystems," Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, vol. 54, no. 2, pp. 221-231, 2006.
- [8] LTCC Design Guide, Formosa Teletek Corporation, 2004.

#### ABSTRACT

Lately, market for micro-electronic components has seen a growing demand for small size, low cost and good performance inductors. These utterly contradicting requirements call for a greater application of software tools in component design. As production process is hard to imagine without prior modelling and simulation, this paper will demonstrate the process of modelling and simulation of LTCC RF 3D inductor. Modelling and simulation of this structure has been done by applying ADS2005 software tool. For comparison purposes, Ansoft HFSS software has been applied for obtaining results of the same type.

#### SIMULATION OF RF 3D INDUCTOR DESIGNED FOR LTCC TECHNOLOGY USING ADS SOFTWARE TOOL

Dejan Antić, Goran Radosavljević, Andrea Marić, Goran Stojanović