

VASA RADONIĆ¹
GORAN RADOSAVLJEVIĆ¹
NELU BLAŽ¹
LJILJANA ŽIVANOV¹
WALTER SMETANA²

¹Fakultet tehničkih nauka,
Novi Sad, Srbija
²Institute of Sensor and Actuator
Systems, Vienna University of
Technology, Vienna, Austria

NAUČNI RAD

UDK 621.38:621.315:537.3:66

DOI: 10.2298/HEMIND0903209R

KARAKTERIZACIJA DIELEKTRIČNIH TRAKA ZA LTCC TEHNOLOGIJU PRIMENOM KAPACITIVNE METODE U OPSEGU UČESTANOSTI OD 1 kHz DO 1 MHz*

U ovom radu prikazana je kapacitivna metoda za karakterizaciju LTCC traka u opsegu od 1 do 1000 kHz korišćenjem HP4277A LCZ metra. Objašnjen je princip rada i izvršeno merenje test uzoraka. Prikazana je izrada komponenata u LTCC tehnologiji i uzroci koji mogu dovesti do promene karakterističnih parametara podloge prilikom izrade. Ukazano je na značaj poznavanja zavisnosti permitivnosti od učestanosti pri projektovanju i simulaciji elektronskih komponenti i kola u LTCC tehnologiji. Izvršeno je merenje kompleksne permitivnosti, tangensa ugla gubitaka i Q-faktora na osnovu izvedenih formula za uzorke LTCC traka. Razvijen je poseban korisnički program koji omogućava automatsku kontrolu merenja, proračun željenih veličina i obradu rezultata.

Poznavanje električne permitivnosti materijala i njene zavisnosti od učestanosti, temperature i/ili električnog polja su veoma važni kako za fundamentalna tako i za primenjena istraživanja. U literaturi postoji veliki broj radova posvećen različitim mernim metodama za karakterizaciju kompaktnih čvrstih, tečnih ili praškastih materijala u različitim opsezima učestanosti, [1–13]. Za merenje na niskim učestanostima metoda merenja kapacitivnosti pločastog kondenzatora predstavlja optimalno rešenje [1–3], dok se za RF i mikrotalasne učestanosti preporučuju metode bazirane na korišćenju talasovoda ili koaksijanih držača uzroka [4–8]. Izbor merne metode zavisi od karakteristika samog materijala: njegovog agregatnog stanja, mogućnosti kompresovanja, obrade, i sl. Pojedine merne metode zahtevaju specijalnu konstrukciju uzoraka. Na osnovu poznavanja dielektrične permitivnosti ispitivanog materijala moguće je odrediti i niz drugih njegovih osobina. U biologiji merenje dielektrične permitivnosti koristi se za ispitivanje bio-uzoraka biljaka [5,9,10], u medicini dielektrična permitivnost se dovodi u vezu sa inficiranošću tkiva ćelijama raka čime je moguće odrediti nivo potrebnog zračenja pacijenta ili u vezu sa promenama na koži [11], u arheologiji za određivanje starosti kulturnog nasleđa pri konzervaciji [12] i sl. Poznavanje dielektričnih osobina izrazito je važno pri projektovanju elektronskih komponenti i kola. Karakteristike pasivnih elemenata kao što su antene, kondenzatori, filtri, senzori i sl. u velikoj meri zavise od parametara podloge i njihove promene sa temperaturom, učestanošću, vlažnošću i sl. Promena osobina materijala važna je pri projektovanju elektronskih kola i komponenti jer većina simulacionih alata ne modeluje ove međuzavisnosti.

Za određivanje relativne permitivnosti LTCC traka u ovom radu biće korišćeno merenje HP LCZ metrom

4277A, koji je polu-automatizovan visokoperformansni instrument namenjen za određivanje induktivnosti, kapacitivnosti, tangensa ugla gubitaka, Q-faktora, konduktanse, otpornosti, apsolutne impedanse i faze. Projektovan je da radi na unapred definisanoj frekvenciji u opsegu učestanosti od 1 do 1000 kHz. Instrument poseduje test priključak za uzorak, koji se ispituje i proizvodi izlazni signal proporcionalan sa merenom impedansom. Drugi mereni parametri kao što su: otpornost, induktivnost, kapacitivnost i/ili Q-faktor se proračunavaju na osnovu vrednosti merene komponente. U radu je predstavljena eksperimentalna tehnika za merenje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC (eng. Low Temperature Co-fired Ceramics) traka bazirana na kapacitivnom metodu. Detaljno je objašnjen način izrade komponenata u LTCC tehnologiji. Posebna pažnja posvećena je uzrocima koji mogu dovesti do promene parametara podloge u procesu izrade. Objašnjen je princip rada korišćene metode i izvršeno merenje test uzoraka. Kao test uzorci korišćene su LTCC trake proizvođača Heraeus (oznake CT700, CT707 i CT800) i proizvođača Ceramtec (oznake GC). Izvršeno je merenje permitivnosti na osnovu izvedenih formula za uzorke, a dobijeni rezultati su detaljno obrazloženi. Kako bi se pojednostavila obrada rezultata merenja razvijen je i poseban korisnički program. On omogućava proračun željenih veličina, grafičko prikazivanje rezultata u funkciji učestanosti, kao i automatsko snimanje podataka u nekom od standardnih tabelarnih formata.

EKSPERIMENTALNI DEO

Proces izrade kola u LTCC tehnologiji

LTCC tehnologija se može definisati kao postupak laminacije više keramičkih traka, pri relativno niskoj temperaturi. Svoju primenu našla je u proizvodnji višeslojnih mikroelektronskih komponenti i kola, koja su realizovana pomoću pojedinačnih keramičkih traka, na koje se u obliku paste, nanose provodni, dielektrični ili otporni materijali [16]. Na taj način se dobija ušteda na dimenzijama komponente, smanjuje se površina koju one

*Rad saopšten na skupu „Sedmi seminar mladih istraživača“, Beograd, 22–24. decembar 2008.

Autor za prepisku: V. Radonić, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad.

E-pošta: vasarad@uns.ns.ac.yu

Rad primljen: 22. decembar 2008.

Rad prihvaćen: 29. januar 2009.

zauzimaju na pločici, a time i njihova cena. Vreme potrebno za proizvodnju većeg broja komponenata je smanjeno njihovim višeslojnim integriranjem, u okviru jednog procesa proizvodnje. Prednost LTCC tehnologije ogleda se i u mogućnosti pojedinačnog ispitivanja slojeva, čime je u slučaju greške ili neispravnosti moguća njegova zamena, pre spajanja sa ostalim slojevima. Na taj način se izbegava ponovna proizvodnja cele komponente. Zbog relativno niske temperature na kojoj se slojevi spajaju, u LTCC tehnologiji mogu se koristiti i standardni debeli filmovi. Debeli film ostavlja mogućnost da se na njega, pored mreže provodnika, postavljaju i pojedinačne elektronske komponente. Laminacija slojeva je u opsegu temperature od 850 do 1000 °C. Za realizaciju provodnih slojeva u ovom temperaturnom opsegu pri izradi elektronskih kola koriste se dobri provodni materijali (srebro i zlato). Oblasti u kojima je LTCC tehnologija našla svoju primenu obuhvataju rad na visokim učestanostima, mikro- i mili-talase, rad u zahtevnim okruženjima, modulima za bežičnu komunikaciju, RF pasivnim komponentama (induktori, transformatori i sl.), rezonatorima, filtrima, diplekserima, antenama, senzorima, upravljačkima uređajima u avionskoj navigaciji, medicinskim implantima, i sl [18–23].

Proces izrade struktura u LTCC tehnologiji sastoji se iz nekoliko faza: pripremne, faze projektovanja maski za sečenje, faze projektovanja maski za nanošenje provodnih pasti, faze sečenja traka, faze nanošenja provodnih pasti, faze dodatnog čišćenja svakog sloja (radi otklanjanja nečistoća), faze slaganja slojeva traka, laminacije, presovanja slojeva i pečenja.

Za izradu komponenti potrebno je projektovati dva tipa maski. Prvi tip predstavljaju maske koje se koriste za kanale veza i sečenje traka (eng. masks for cutting), a drugi tip su maske koje se koriste za nanošenje provodnih pasti (eng. masks for films). Maske se projektuju u nekom od standardnih CAD programa. Projektovanje maski za kanale veza i sečenje vrši se pojedinačno za svaki sloj. Treba imati u vidu da prilikom pečenja materijal pretrpi određeno skupljanje, koje je definisano karakteristikama podloge. Zbog toga, projektovane dimenzije moraju biti veće od željenih za veličinu vrednosti skupljanja. Sečenje traka vrši se pomoću RSM Power-Line 100D NdYAG laserskog sistema. Prilikom rada sa laserom potrebno je podesiti optimalne parametre sečenja. U slučaju da jačina laserskog snopa i brzina step motora nije optimalna moguća je pojava velike devijacije ivica i otvora u slojevima. Optimalni parametri se razlikuju za različite tipove materijala. Empirijski, nakon testiranja određenog broja uzoraka materijala, dobijeni su optimalni parametri sečenja za korišćene materijale, tabela 1.

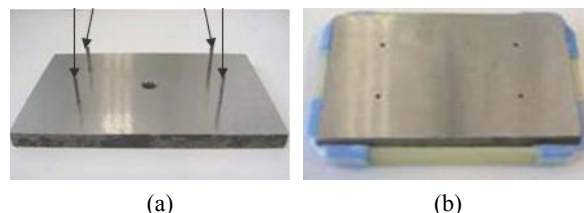
Nanošenje provodnih pasti izvodi se postupkom sitoštampe. Kao provodna pasta korišćena je standardna srebrna Heraeus TC 7305 pasta, koja se nanosi na trake pre postupka pečenja. Pre samog postupka sitoštampe potrebno je napraviti i odgovarajuće maske za sitoštamp-

pu, koje se prave fotopostupkom. Prethodno projektovane maske za sitoštampu prvo se štampaju na foliju i nakon toga se fotopostupkom prenose na fotopapir. Nakon izrade fotomaske izvodi se postupak sitoštampe (eng. screen-printing). Greška u postupku sito štampe određena je veličinom sita i brzinom štampe, a ogleda se u neravnomernoj debljini provodnog sloja.

Tabela 1. Optimalni parametri sečenja za Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC trake
Table 1. Optimal cutting parameters for Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC tapes

Materijal	Heraeus CT 700/707/800	Ceramtec GC
Broj sečenja	2	2
Struja diode, A	29	29
f , Hz	10000	7000
Brzina, mm/s	9	15

Pošto se struktura sastoji od više slojeva, trake se slažu u kalupe. Zbog toga je na trakama potrebno projektovati i referentne otvore. Referentni otvori služe za precizno pozicioniranje traka. Slaganje traka vrši se pomoću kalupa sa pinovima. Na slici 1a prikazan je primer donje ploče kalupa sa četiri referentna pina za precizno pozicioniranje traka. Posle postupka slaganja traka na donju ploču kalupa, trake se poklapaju sa gornjom pločom, a kalup se dodatno osigurava od eventualnih malih pomeraja pomoću graničnika, slika 1b.



Slika 1. Slaganje traka: a) donja ploča kalupa sa referentnim pinovima; b) kalup za slaganje.

Figure 1. Assort of tape: a) the lower sheet of mold with referent pins; b) mold for sorting.

Presovanje slojeva vrši se pomoću izostatičke prese. Presovanje izostatičkom presom se zasniva na principu presovanja pod pritiskom koji se pušta u komoru, u kojoj se nalazi voda zagrejana na određenu temperaturu. Struktura koja je prethodno postavljena u kalup, stavlja se u komoru. Pošto se u komori nalazi voda struktura se mora dodatno zaštititi, jer bi eventualni kontakt sa vodom doveo do uništenja čitave strukture i postupak laminacije ne bi bio moguć. Pritisak za pojedine podloge definisan je od strane proizvođača. Visok pritisak može dovesti do rastezanja ili razlivanja slojeva kroz definisane otvore. Empirijski su dobijeni optimalni parametri presovanja za korišćene materijale i prikazani su u tabeli 2.

Nakon postupka presovanja strukture, vrši se pečenje. Za postupak pečenja koristi se peč sa pokretnom

trakom (eng. belt furnace) sa šest temperaturnih zona. Struktura se postavlja na pomoćnu pločicu, a nakon toga na pokretnu traku. Radi pravilne raspodele temperature u peći u odnosu na strukturu, potrebno je ispred i iza strukture postaviti najmanje tri prazne pločice. Optimalni parametri pečenja za korišćene materijale prikazani su u tabeli 3. Prilikom pečenja Ceramtec traka, strukturu je potrebno prekriti dodatnom ESL trakom kako ne bi došlo do pucanja čitave strukture. Posle pečenja dodatna ESL traka puca, a struktura ostaje neoštećena. Strukture realizovane pomoću Heraeus traka su otpornije na temperaturu pa dodatno prekrivanje strukture nije potrebno.

Tabela 2. Optimalni parametri presovanja za Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC trake
Table 2. Optimal pressure parameters for Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC tapes

Materijal	Heraeus CT 700/707/800	Ceramtec GC
Temperatura, °C	75	75
Pritisak, bar	70	50
$t_{\text{laminacije}} / \text{min}$	5	5

Primenom opisanog postupka izrađuju se sva kola u LTCC tehnologiji. Uzorci traka korišćeni u ovom radu napravljeni su od jednog ili dva sloja traka, tako da ukupna debljina bude oko 300 μm sa metalizacijom od srebra sa obe strane debljine 8 μm . Realna debljina posle skupljanja, dobijena je merenjem nakon procesa pečenja. U tabeli 4 prikazani su karakteristični parametri korišćenih komercijalnih traka pre procesa obrade dobijeni od strane proizvođača [14,15]. Treba napomenuti da se trake različitih proizvođača različito se ponašaju tokom procesa pečenja, pa je za očekivati da se to odrazi i na njihove električne karakteristike. Analizirane trake razlikuju se po svom hemijskom sastavu i polaznoj gustini pa se zbog toga različito ponašaju i tokom izlaganja pri-

tisku i temperaturi (dolazi do promene gustine i njihovog skupljanja). Proizvođači ne specificiraju iste karakteristične parametre za sve analizirane trake tako da vrednosti pojedinih parametara za različite trake nisu definisani. Nakon procesa pečenja svi uzorci su laserski isečeni na diskove prečnika 7mm.

Kapacitivna metoda za karakterizaciju LTCC traka

U frekventnom domenu kompleksna permitivnost nekog linearnog materijala može se definisati relacijom između vektora električnog pomeraja, \vec{D} , i vektora električnog polja, \vec{E} , kao $\vec{D} = \vec{\epsilon}\vec{E}$. Električno polje $\vec{E} = Ee^{j\omega t}$ u dielektričnom materijalu prouzrokuju stuju pomeraja $j\omega\epsilon_0\vec{\epsilon}\vec{E}$ i omsku struju (zagrevanja) $\sigma\vec{E}$. Struja $\sigma\vec{E}$ se može definisati kao $j\omega\epsilon_0(-j\epsilon''\vec{E})$, pa je ukupna struja $j\omega\epsilon_0\vec{\epsilon}Ee^{j\omega t}$, gde je $\vec{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon''$ kompleksna permitivnost, a specifična provodnost $\sigma = \omega\epsilon_0\epsilon''$. Opisivanje karakteristika materijala kao što su dielektrici, metali, poluprovodnici se najčešće vrši pomoću kompleksne permitivnosti. Ovaj parametar je izrazito važan na visokim učestanostima kad su imaginarni i realni deo samerljivi. Kompleksna permitivnost izotropnih materijala generalno se može napisati u obliku:

$$\vec{\epsilon} = \epsilon_0\epsilon_r'(1 - j \tan \delta) \quad (1)$$

gde je $\tan \delta$ ukupan tangens ugla gubitaka definisan relacijom:

$$\tan \delta = \tan \delta_d + \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon_r'} = \frac{1}{Q} \quad (2)$$

gde su: ϵ_r' relativna kompleksna permitivnost, ω učestanost, σ provodnost, a $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} [F/m]$.

Tangens ugla gubitaka, $\tan \delta_d$, predstavlja gubitke koji uključuju sve gubitke koji mogu nastati u dielektriku izuzev gubitke usled provodnosti. Dielektrični gubici svakog materijala predstavljaju kvantitativnu disi-

Tabela 3. Optimalni parametri pečenja za Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC trake
Table 3. Optimal heating parameters for Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC tapes

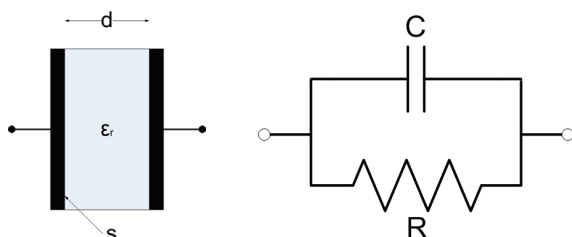
Materijal	Temperature zone, °C						Brzina, mm/min
	1	2	3	4	5	6	
Heraeus CT700/707/800	350	580	880	880	876	873	≈ 340
Ceramtec GC	350	580	843	900	900	851	≈ 725

Tabela 4. Karakteristični parametri korišćenih traka
Table 4. Characteristic parameters for used tapes

Traka	CT700	CT707	CT800	CG
$\epsilon_r, @f$	7.5-7.9, @1MHz	6.39, @2.5GHz	7.68	7.9, @1MHz
$\tan \delta @f$	0.0021, @1MHz	0.00456, @2.5GHz	0.0039	0.0002, @1MHz
Debljina sloja, μm	130-150	110-200	150-200	120-300
Skupljanje (x(y)/z, %)	14.4/14.9	nd	nd	21(21.4)/18
Materijal	Al ₂ O ₃ 96%	nd	nd	Alumina+anorthite
Gustina pre pečenja, g/cm ³	1.65	nd	nd	1.78
Gustina nakon pečenja, g/cm ³	3.2	nd	nd	2.92

paciju električne energije nastalu zbog različitih fizičkih procesa. Kada merimo gubitke u dielektriku na određenoj učestanosti ne možemo razdvojiti različite mehanizme gubitaka. Zbog toga je moguće izmeriti samo ukupne gubitke.

Za određivanje permitivnosti u ovom radu koristi se kapacitivna metoda gde se uzorak nepoznate permitivnosti postavlja između dve paralelne ploče, slika 2a. Metoda na bazi paralelnih ploča se najčešće koristi kao držač za merenje dielektričnih disk ili kvadratnih uzoraka u opsegu učestanosti od 10^2 – 10^9 Hz, ali se preporučuje za učestanosti do 100 MHz. Koriste se elektrode malog prečnika sa malim rastojanjem između ploča kako bi se postiglo uniformno električno polje. U nekim radovima autori ovu metodu koriste i za veće uzorke [4], ali u tom slučaju se mora uračunati i rasipna kapacitivnost. Kompleksna kapacitivnost, iz koje se dobija dielektrična konstanta može se dobiti na nekoliko načina. Kao prvo, može se meriti promena kapacitivnosti i provodnosti držača sa i bez uzorka. Na ovaj način rasipna kapacitivnost je direktno uračunata u jednačinu. Međutim, mana ovakvog načina je neidealno naleganje uzorka i ploča, tj. postojanje vazdušnog procepa između elektroda i uzorka. Pojava procepa između elektroda u slučaju merenja LTCC traka je eliminisana u procesu fabrikacije uzoraka.



Slika 2. Metod merenja kapacitivnosti pločastog kondenzatora; a) kondenzator sa test uzorkom; b) ekvivalentna šema.
Figure 2. The method for capacitance measure of the parallel plate capacitor; a) capacitor with test sample; b) equivalent circuit.

Zbog mogućnosti LCZ metra da direktno meri kapacitivnost i Q-faktor za proračun karakterističnih parametara podloge, tj. određivanje gubitak koristi se jednačina (2). Kapacitivnost između paralelnih ploča kondenzatora, prikazanog na slici 2a, površine S i rastojanja d definiše se kao:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r' \frac{S}{d} \quad (3)$$

tako da je jednačina za realni deo relativne kompleksne permitivnosti:

$$\epsilon_r' = \frac{C}{\epsilon_0 \frac{S}{d}} \quad (4)$$

a za imaginarni deo:

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r' \tan \delta \quad (5)$$

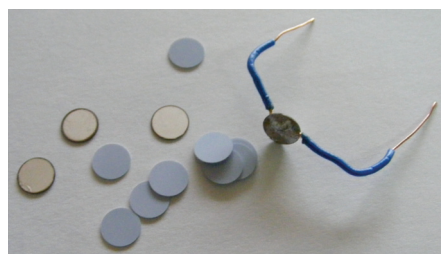
Kako se merni sistem može predstaviti preko ekvivalentnog kola prikazanog na slici 2b, kao paralelna veza kapacitivnosti i otpornosti, tada je parazitna otpornost:

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{d}{S} = \frac{1}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r''} \frac{d}{S} \quad (6)$$

Koristeći ove jednačine moguće je odrediti kapacitivnost, relativnu dielektričnu konstantu, specifičnu električnu provodnost i tangens ugla gubitaka testiranih materijala.

REZULTATI I DISKUSIJA

Merenja uzoraka karakterističnih traka Heraeus CT700, CT707, CT800 i Ceramtec GC izvršena su za test uzorke sa jednim ili dva sloja metalizacije od srebra sa obe strane. Fizički faktori kao što su uticaj temperature, vlažnosti i uticaj spoljnjeg magnetskog polja nisu uzeti u razmatranje. Sva merenja su vršena u laboratorijskim uslovima na temperaturi od 25 °C pri konstantnoj vlažnosti vazduha. Izmerene debljine dielektričnog sloja za korišćene Heraeus CT700, CT707, CT800 trake posle procesa pečenja redom su 254, 274 i 230 μm , a za Ceramtec GC 264 μm . Izgled realizovanih test uzoraka i realizovanih kondenzatora prikazani su na slici 3, a priključenje i postupak merenja na slici 4.



Slika 3. Test uzorci LTCC traka sa realizovanim kondenzatorom.
Figure 3. Test samples of LTCC tapes with realized capacitor.

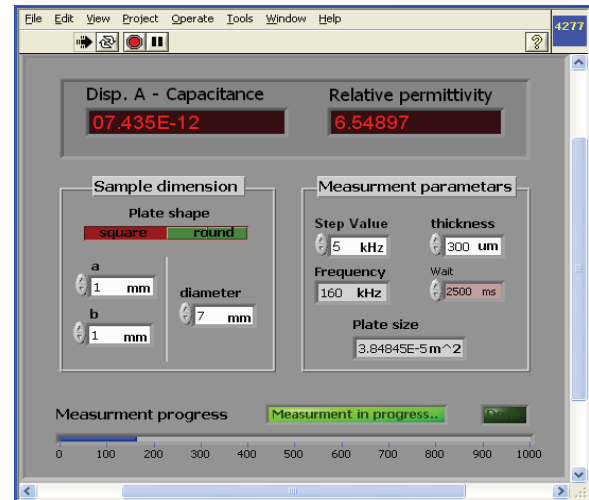


Slika 4. Izgled merne opreme sa test uzorkom.
Figure 4. Configuration of measured system with test sample.

Za automatizaciju procesa merenja i automatsku obradu podataka realizovan je poseban softverski alat koji automatski generiše prethodno definisane učestanosti i sa instrumenta očitava merene vrednosti. Takođe

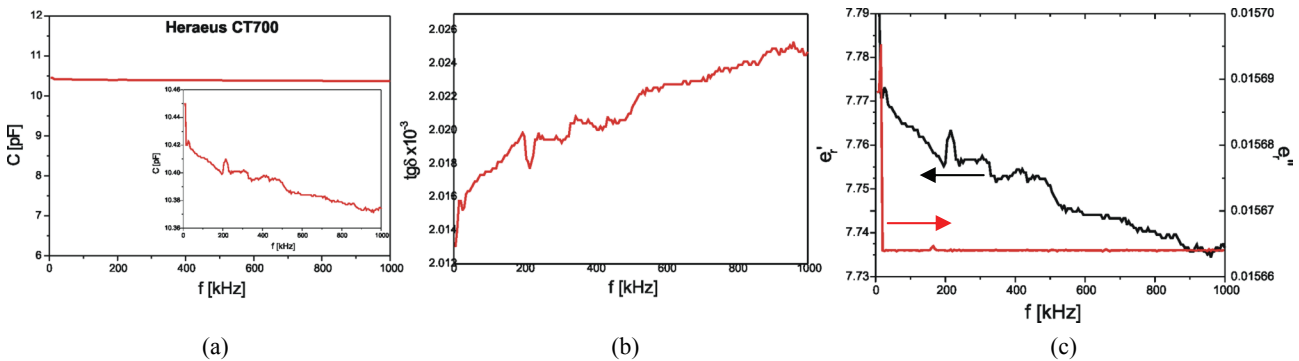
program automatski konvertuje izmerene vrednosti u željene, koristeći jednačine (2)–(5) koje su rezultat ovog merenja. Na slici 5 prikazan je razvijen programski alat u kojem je moguće zadati sve karakteristične parametre uzorka, učestanosti u kojima će se vršiti merenje kao i izbor parametara koji će biti prikazani. Nakon pokretanja programa izmerene vrednosti na definisanim učestanostima se automatski zapisuju u fajl. Posle procesa merenja proračunavaju se zadate vrednosti i vrši se grafički prikaz rezultata merenja. Koristeći razvijen softverski alat izvršeno je merenje test uzoraka Heraeus CT700, CT707 i CT800 i Ceramtec GC u opsegu učestanosti od 1 do 1000 kHz sa korakom od 5 kHz. Dobijeni rezultati merenja u vidu merene kapacitivnosti, tangensa ugla gubitaka i realnog i imaginarnog dela kompleksne permitivnosti za pojedine uzorke prikazani redom su na slikama 6–9.

Karakterizacijom traka dobijeni su karakteristični parametri sa malim varijacijama u merenim vrednostima kapacitivnosti sa promenom učestanosti i tangensa ugla gubitaka. Sa porastom učestanosti vrednost kapacitivnosti opada, a tangens ugla gubitaka raste. U procentima ta promena ne iznosi više od 2%. Vrednost tangensa ugla gubitaka ispitivanih traka poklapa se sa vrednošću specificiranim od strane proizvođača. Proračunate vred-



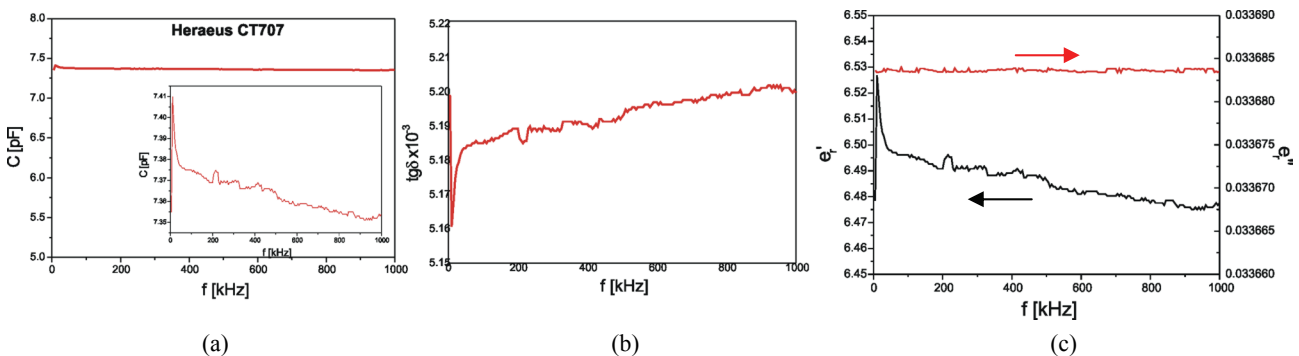
Slika 5. Softverski alat za automatsku obradu rezultata.
Figure 5. Software tool for automatic data processing.

nosti realnog i imaginarnog dela kompleksne permitivnosti takođe se u određenoj meri slažu sa vrednostima dobijenim od strane proizvođača za trake pre procesa pečenja. Na niskim učestanostima reda nekoliko kHz uočava se veća promena kompleksne permitivnosti. Za te vrednosti učestanosti određena je i serijska otpornost



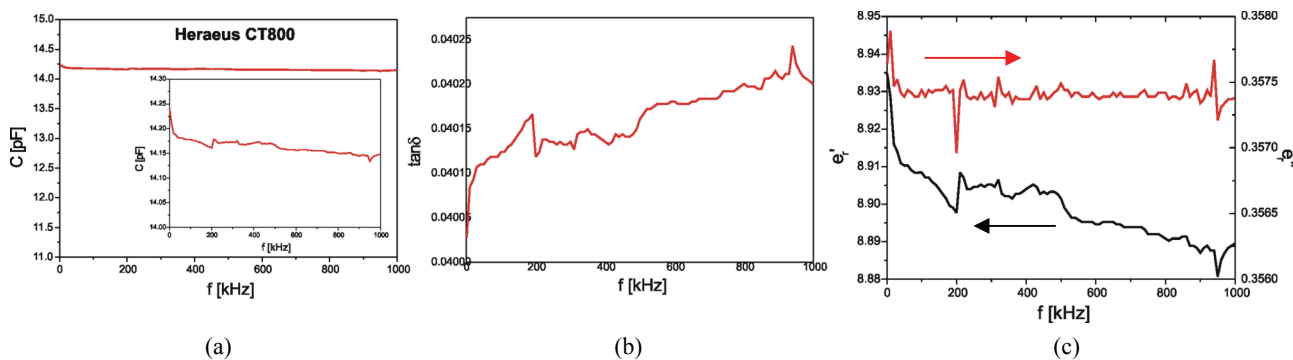
Slika 6. Vrednosti karakterističnih parametara Heraeus LTCC trake oznake CT700: a) merena kapacitivnost; b) tangens ugla gubitaka; c) kompleksna permitivnost.

Figure 6. The values of characteristic parameters for Heraeus LTCC tape label CT700: a) measured capacitance, b) measured $\tan \delta$; c) complex permittivity.



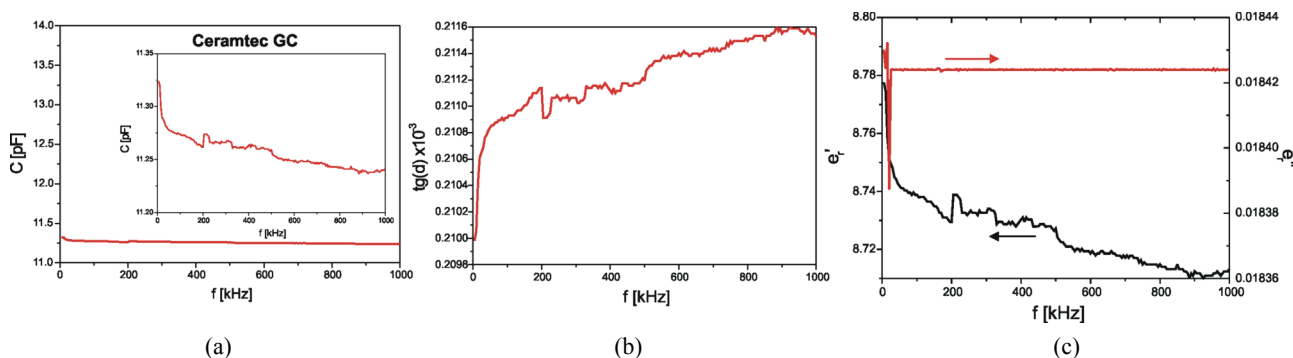
Slika 7. Vrednosti karakterističnih parametara Heraeus LTCC trake oznake CT707: a) merena kapacitivnost; b) tangens ugla gubitaka; c) kompleksna permitivnost.

Figure 7. The values of characteristic parameters for Heraeus LTCC tape label CT707: a) measured capacitance, b) measured $\tan \delta$; c) complex permittivity.



Slika 8. Vrednosti karakterističnih parametara Heraeus LTCC trake oznake CT800: a) merena kapacitivnost; b) tangens ugla gubitaka; c) kompleksna permitivnost.

Figure 8. The values of characteristic parameters for Heraeus LTCC tape label CT800: a) measured capacitance, b) measured $\tan \delta$; c) complex permittivity.



Slika 9. Vrednosti karakterističnih parametara Ceramtec LTCC trake oznake GC: a) merena kapacitivnost; b) tangens ugla gubitaka; c) kompleksna permitivnost.

Figure 9. The values of characteristic parameters for Ceramtec LTCC tape label CG: a) measured capacitance, b) measured $\tan \delta$; c) complex permittivity.

R definisana jednačinom (6). Ustanovljeno je da je za učestanosti ispod 50 kHz vrednost te otpornosti oko 100 M Ω što je granica koju dozvoljava korišćeni instrument u konfiguraciji ekvivalentne šeme prikazane na slici 2b, tako da u ovom opsegu učestanosti dobijeni rezultati nisu najpouzdaniji.

U poređenju sa karakterističnim parametrima preporučanim od strane proizvođača u nekim slučajevima dobijena je veća vrednost permitivnosti. Tokom procesa sinterovanja materijala menja se gustina kao i mikrostruktura komercijalnih traka. Usled promene u gustini materijala, menjaju se i njegove električne karakteristike, što za posledicu ima povećanje permitivnosti.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je kapacitivna metoda za karakterizaciju LTCC traka u opsegu od 1 kHz do 1 MHz. Prikazana je izrada komponenata u LTCC tehnologiji i uzroci koji mogu dovesti do promene karakterističnih parametara podloge. Objasnjeno je princip rada i izvršeno merenje test uzoraka. Razvijen je poseban korisnički program koji omogućava automatsku kontrolu merenja, proračun željenih veličina i obradu rezultata. Izmerena je kompleksna permitivnost, tangens ugla gubitaka i ka-

pacitivnost na osnovu izvedenih formula. Dobijeno je dobro slaganje izmerenih vrednosti sa vrednostima preporučenim od strane proizvođača sa tolerancijom koja nastaje kao posledica promene gustine i skupljanja traka nakon postupka presovanja i pečenja, što za posledicu ima povećanje permitivnosti.

Zahvalnost

Istraživanja i rezultati predstavljeni u ovom radu su delom finansirani od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru projekta pod brojem 11023.

LITERATURA

- [1] W.B. Westphal, Dielectric measuring techniques, in Dielectric Materials and Applications, A.R. von Hippel, (ed.) New York, Wiley, 1954, pp.63–122.
- [2] H.E. Bussey, Measurement of RF properties of materials. A survey, Proc. IEEE **55** (1967) 1046–1053.
- [3] A.M. Nicolson, G.F. Ross, Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques, IEEE Trans. Instrum. Meas. **19** (1970) 377–382.
- [4] M.A. Stuchly S.S. Stuchly, Coaxial line reflection method for measuring dielectric properties of biological

- substances at radio and microwave frequencies – a review, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **29** (1980) 176–183.
- [5] J. Baker-Javris, M.D. Janezić, C.A. Jones, Shielded open-circuit sample holder for dielectric measurement of solid and liquid, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **47** (1998) 338–344.
- [6] H.E. Bussey, E. Howard, Dielectric measurements in a shielded open circuit coaxial line, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **29** (1980) 120–124.
- [7] G. Panariello, L. Verolino G. Vitolo, Efficient and accurate full-wave analysis of the open-end coaxial cable, *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.* **49** (2001) 1304–1309.
- [8] N.N. Al-Moayed, M.N. Afsar, U.A. Khan, S. McCooey M. Obol, Nano ferrites microwave complex permeability and permittivity measurement by T/R techniques in waveguide, *IEEE Trans. Magn.* **44** (2008) 1768–1772.
- [9] M.F. Iskander and S.S. Stuchly, Fringing field effect in the lumped-capacitance method for permittivity measurement, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **27** (1978) 107–109.
- [10] M.F. Iskander, S.S. Stuchly, A time-domain techniques for measurement of the dielectric properties of biological substances, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **21** (1972) 425–429.
- [11] H. Hwang, J. Yim, J.W. Cho, C. Cheon, Y. Kwon, 110 GHz Broadband measurement of permittivity on human epidermis using coaxial probe, in: *Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International*, vol. 12003, pp. 399–402.
- [12] R. Olmi, M. Bini, A. Igesti, C. Riminesi, Non-destructive permittivity measurement of solid materials, *Meas. Sci. Technol.* **11** (2001) 1623–1629.
- [13] Y. Wang, M. N. Afsar, Measurement of complex permittivity of liquid using waveguide techniques, *IEICE Tran. Electron.* **88** (2005) 1412–1419.
- [14] www.heraeus.com
- [15] www.ceramtec.de
- [16] *LTCC Design Guide*, Formosa Teletek Corporation, 2004.
- [17] G. Radosavljević, Lj. Živanov, L. Nađ, A. Marić, W. Smetana, M. Unger, Performance improvement of a resonant pressure sensor by means of a model based design optimisation, *IEEE Sensor 2008, Lecce, Italy*, 2008, pp. 1008-1011, 26–29.
- [18] M. Unger, W. Smetana, G. Radosavljević, Lj. Živanov, L. Nađ, A. Marić, A wireless readout temperature sensor realized in LTCC-technology, *IMAPS-CPMT IEEE, Pułtusk, Poland*, 21-24 September, 2008.
- [19] G. Radosavljević, A. Marić, G. Stojanović, Lj. Živanov, W. Smetana, M. Unger, H. Homolka, Application of the LTCC technology for the fabrication of the RF 3D inductor, *Romanian J. Information Sci. Technol.* **11** (2008) 193–202.
- [20] W. Smetana, B. Balluch, G. Stangl, E. Gaubitzer, M. Edetsberger, G. Köhler, A multi-sensor biological monitoring module built up in LTCC-technology, *Microelectron. Eng.* **84** (2007) 1240–1243.
- [21] M. Fonseca, M. Allen, J. Kroh, J. White, Flexible wireless passive pressure sensor for biomedical applications, *IEEE International MEMS '99 Twelfth IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, 1999, pp.511–516.
- [22] C. Tang, H. Hsu, I-C. Liu, Design of a compact dual-band bandpass filter with LTCC technology, *Microwave Opt. Tech. Lett.* **50** (2007) 462–465.
- [23] K. Kageyama, K. Saito, H. Murase, H. Utaki, Yamamoto, Tunable active filters having multilayer structure using LTCC, *IEEE Trans. Microwave Theory Techniq.* **49** (2001) 2421–2424.

SUMMARY**CHARACTERIZATION OF DIELECTRIC TAPES FOR LTCC TECHNOLOGY USING CAPACITIVE METHOD IN THE FREQUENCY RANGE BETWEEN 1 kHz AND 1 MHz**Vasa Radonić¹, Goran Radosavljević¹, Nelu Blaž¹, Ljiljana Živanov¹, Walter Smetana²¹Faculty of technical science, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia²Institute of Sensor and Actuator Systems, Vienna University of Technology, Gusshausstrasse 27–29, Vienna, Austria

(Scientific paper)

In this paper, a capacitive method for characterization of LTCC tapes in the frequency range between 1kHz and 1MHz using HP 4277A LCZ meter is presented. The principle of operation using a parallel plate capacitor and equivalent circuit as a parallel connection of capacitance and a resistor is explained and characterization of test samples is measured. The fabrication process in LTCC technology and the causes that can produce the changing of characteristic parameters of substrates in fabrication are explained in detail. We indicated the importance of knowing permittivity in the function of frequency during projecting and simulating electronic components and circuits in LTCC technology. Measurements of complex permittivity, loss tangent, Q-factor based on the proposed formulas are made for LTCC tapes samples. Small variation of measured capacitance and loss tangent is obtained, approximately about 2% in whole frequency range. The value of loss tangent is approximately the same as the value specified by manufacturers. The calculated parameters for complex permittivity have bigger values than those recommended by manufacturers before firing. In the process of sintering, sheet density and microstructure of commercial tapes are changed for all used materials, causing changes of electric characteristics, especially permittivity. In the low frequency range, below 50 kHz, there is a higher variation of characteristic parameters. In this range, the parallel resistance of the equivalent circuit is on the top level of the instruments limit and these results are not reliable. A specific user-friendly program is developed which enables automatic control of measurement, recalculation of important values and processing of results.

Ključne reči: LTCC trake • Kapacitivna metoda • Permitivnost
Key words: LTCC Tapes • Capacitive method • Permittivity