

Мерна метода:

Метода за одређивање комплексне пермитивности диелектричних LTCC материјала у фреквенцијском опсегу од 100 Hz до 40 MHz

Руководилац пројекта: проф. др Владимир Срдих

Одговорно лице: Нелу Блаж

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Љиљана Живанов,
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад;

Горан Радосављевић,

Институт за сензорске и актуаторске системе, Беч, Аустрија

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ИИИ - 45021

Година: 2015.

Примена: 2015.

Кратак опис

Познавање пермитивности диелектричних материјала је веома важно приликом дизајнирања и одабира материјала за израду електронских компоненти. Пасивне компоненте се производе у различитим технологијама за рад на различитим фреквенцијама, па је потребно одредити пермитивност диелектричних материјала у широком фреквентном опсегу у случају када за комерцијално доступне диелектричне материјале произвођач није дао одговарајуће податке, као и у случају када се да се ради о новом диелектричном материјалу. Постоје различите методе за одређивање пермитивности. Најчешће коришћена метода за одређивање пермитивности материјала јесте капацитивна метода.

За одређивање комплексне пермеабилности у фреквенцијском опсегу од 100 MHz до 40 MHz је коришћена капацитивна мерна метода која укључује мерење употребом ализатора импедансе HP4194A, програмског алата развијеног посебно за ову примену и адекватно припремљених диелектричних ЛТЦЦ узорак. Мерни узорци за одређивање комплексне пермитивности материјала морају бити у облику диска са нанесеним проводним електродама. Узорци могу бити кружног или четвртастог облика, али у оба случаја дебљина узорка односно растојање између електрода мора бити много мање у односу на величину пречника односно дужину странице на коју је нанесен проводни слој електроде.

Техничке карактеристике:

Мерни систем, који се састоји од анализатора импедансе HP4194A, програмског алата развијеног посебно за ову примену и посебно припремљених диелектричних ЛТЦЦ узорак. Развијени програмски алат омогућавају брзо и прецизно мерење капацитивности и Q фактора и уписивање измерених вредности у текстуални фајл ради лакшег прорачунавања комплексне пермитивности.

Техничке могућности:

Приказани мерни систем омогућава одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТЦЦ узорак на основу измерене капацитивности и Q фактора. Мерења је могуће спровести како на собној тако и на повишеној температури, у оквиру фреквентног опсега од 100 Hz до 40 MHz. Поред одређивања пермитивности LTCC материјала могуће је и одређивање пермитивности материјала који се примењују у другим технологијама израде уз припрему одговарајућих мерних узорак.

Реализатори:

ФТН, Нови Сад

Корисници:

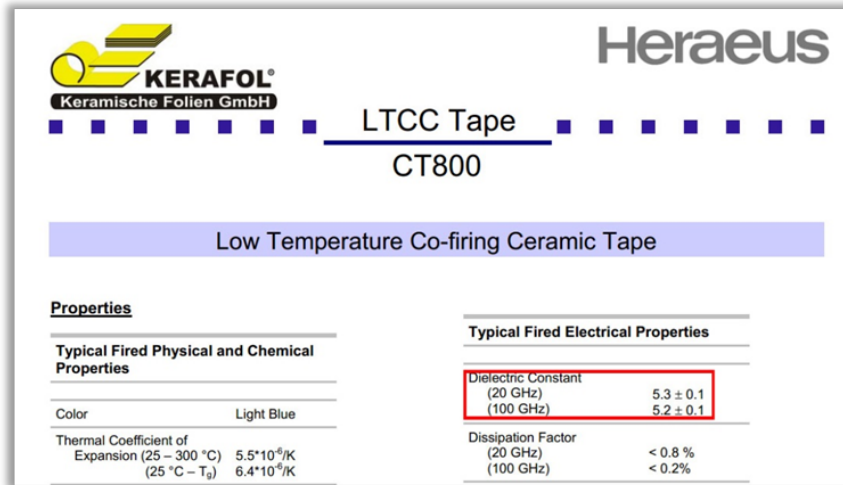
Факултет техничких наука, Нови Сад, Институт за сензорске и актуаторске системе, Беч, Аустрија, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд; ИРИТЕЛ А.Д., Београд.

Подтип решења:

M85 - Нова мерна метода.

Увод

За комерцијално доступне LTCC диелектричне материјале (траке) произвођачи дају веома мало података о електричним карактеристикама њихових производа. Један од примера јесте и део техничке карактеристике материјала CT800 произвођача Kerafol (Heraeus), слика 1.



Properties	
Typical Fired Physical and Chemical Properties	
Color	Light Blue
Thermal Coefficient of Expansion (25 – 300 °C)	5.5*10 ⁻⁶ /K
(25 °C – T _g)	6.4*10 ⁻⁶ /K

Typical Fired Electrical Properties	
Dielectric Constant (20 GHz)	5.3 ± 0.1
(100 GHz)	5.2 ± 0.1
Dissipation Factor (20 GHz)	< 0.8 %
(100 GHz)	< 0.2%

Слика 1. Технички подаци за комерцијално доступну диелектричну LTCC траку CT800.

Пасивне компоненте које се производе у LTCC технологији предвиђене за рад на различитим фреквенцијама. Стога су подаци које произвођач даје недовољни па је потребно одредити пермитивност диелектричних LTCC трака у широком фреквентном опсегу, као и у случају да се ради о новом диелектричном материјалу.

Теоријски модел

Као што је у уводном разматрању наглашено пермитивност диелектричних материјала није константна вредност већ се може мењати у зависности од фреквенције примењеног поља, температуре, влаге као и низа других параметара. Пермитивност као функција од фреквенције има комплексне вредности.

У фреквентном домену комплексна пермитивност неког линеарног материјала се дефинише релацијом између вектора електричног помераја $\vec{D}$ и вектора електричног поља $\vec{E}$ као

$$\vec{D} = \tilde{\epsilon} \vec{E} \quad (1)$$

Вектор електричног поља $\vec{E}$ је дефинисан као:

$$\vec{E} = E e^{j\omega t}. \quad (2)$$

Комплексна пермитивност и дата је са:

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon'', \quad (3)$$

Израз (3) се може написати и у следећем облику

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \tilde{\varepsilon}_r = \varepsilon_0 (\varepsilon'_r - j \varepsilon''_r). \quad (4)$$

У једначини (4) ε_r представља релативну комплексну пермитивност, а ε_0 диелектричну пермитивност вакуума која има вредност $8,854 \times 10^{-12}$ F/m.

Описивање карактеристика материјала као што су диелектрици, метали, полупроводници се најчешће врши помоћу комплексне пермитивности. Ова физичка величина је изразито важна на високим учестаностима кад су имагинарни и реални део самерљиви. Комплексна пермитивност изотропних материјала генерално се може написати сређивањем једначине (4) и у следећем облику

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \varepsilon'_r \left(1 - j \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} \right) = \varepsilon_0 \varepsilon'_r (1 - j \operatorname{tg} \delta), \quad (5)$$

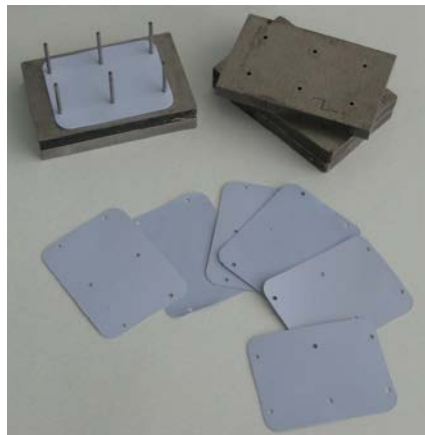
где је $\operatorname{tg} \delta$ укупан тангенс губитака у диелектрику који је дефинисан следећом релацијом

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q}. \quad (6)$$

Тангенс угла губитака, $\operatorname{tg} \delta$, представља губитке који укључују све губитке који могу настати у диелектрику. Диелектрични губици материјала представљају квантитативну дисипацију електричне енергије насталу због различитих физичких процеса. Када меримо губитке у диелектрику на одређеној учестаности не можемо раздвојити различите механизме губитака. Због тога је могуће измерити само укупне губитке.

Фабрикација диелектричних мерних узорака

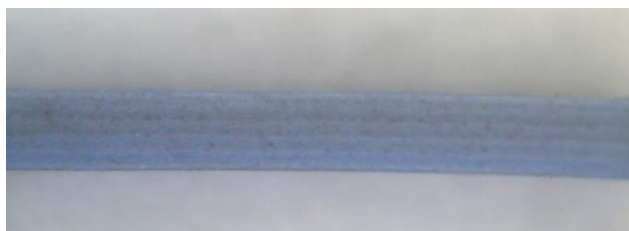
Узорци за одређивање пермитивности диелектричних ЛТЦЦ трака израђени су следећим поступком. Маске за сечење ЛТЦЦ трака ласерским системом се пројектују у неком од CAD (*Computer Aided Design*) програмских пакета (као нпр. *AutoCAD* или *DraftSight*). Приликом пројектовања треба обратити пажњу и на проценат скупљања ЛТЦЦ материјала приликом печења (ово је податак који обезбеђује произвођач ЛТЦЦ трака) као и на резолуцију ласерског снопа система који се користи за сечење и за исти однос процента треба увећати димензије маске за сечење на ласеру. Користећи ласерски систем (NdYAG ласер, *Rofin RSM PowerLine 100D*) од диелектричне траке су исечени правоугаони листови са кружним отворима за референтне изводе на калупу (пинове), слика 2.



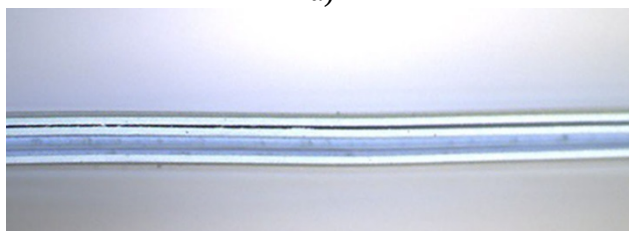
Слика 2. Калуп са референтним изводима (горе) и исечене диелектричне траке (доле).

Калуп мора имати референтне изводе пошто процес израде у ЛТЦЦ технологији подразумева слагање листова ЛТЦЦ трака један на други па је улога извода да омогуће прецизно позиционирање листова један на други и да их задржи прецизно наслагане приликом ламинације.

Пре ламинације калуп са наслаганим тракама за ламинацију потребно је загревати на температури од 75 °C у трајању од 20 минута. Процес ламинације се врши у униаксијалној преси. Пре постављања калупа са наслаганим ЛТЦЦ тракама у униаксијалну пресу она се мора загрејати односно плоче које врше притисак на калуп морају достићи радну температуру од 75 °C. У међувремену док се преса загрева потребно је још унети преко корисничке конзоле и притисак којим се врши ламинација као и време трајања притиска на калуп. Ове параметре даје произвођач и они варирају у зависности од произвођача и од врсте примењене траке (нпр. параметри за ЛТЦЦ траку Ceramtec GS су: притисак од 130 kg/cm³ се примењује у трајању од 3 минута).



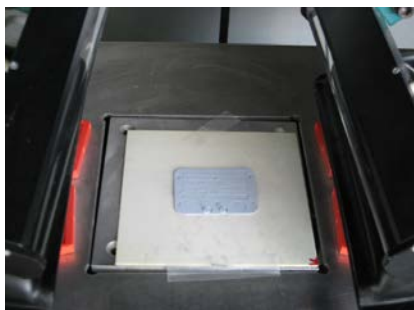
а)



б)

Слика 3. Добро а) и лоше б) ламиниран ЛТЦЦ узорак.

Након завршетка циклуса деловања притиска на калуп, калуп се вади из униаксијалне пресе и следи провера успешности ламинације. Провера се врши визуелно, помоћу микроскопа, на бочним странама ламинираних слојева. Добро ламинирана структура не сме имати ваздушних зазора између појединачних слојева ЛТЦЦ трака већ траке морају добро пријањати једна на другу како не би дошло до деформација или до одвајања појединих слојева у поступку синтеровања, слика 3. Поступак који је специфичан за израду узорка за карактеризацију материјала јесте поновно сечење ласером већ ламинираних трака. Ово се ради због чињенице да је много лакше исећи непечене ламиниране ЛТЦЦ траке од готових печених ЛТЦЦ плоча. Изглед исечених узорка након ламинације дат је на слици 4.



Слика 4. Узорци за карактеризацију диелектричних ЛТЦЦ трака исечени након ламинације.

Након успешне ламинације (и сечења у случају диелектричних узорак) следи последњи поступак у процесу израде ЛТЦЦ узорка (или компоненте) а то је печење. За овај поступак користи се пећ са покретном траком. Време и профил печења узорка (или компоненте) зависи пре свега од материјала који се користи за његову израду и креће се од пар сати до неколико дана.

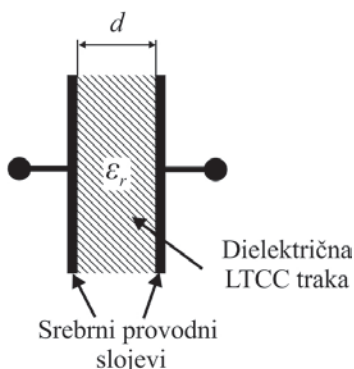
Коришћена пећ има шест температурних зона тако да пре постављања компоненте у пећ потребно је подесити температуре у свих шест зона и сачекати да се свака зона угреје на задату температуру. Када све зоне достигну радну температуру на покретну траку постављају се керамичке плоче на које се поставља заштитна SegamTес А-трака, потом се на А-траку постављају узорци који се покривају са још једним слојем А-траке. Узорци се штите са А-траком од директног утицаја топлоте да не би дошло до деформација. Додатно, ради правилније расподеле топлоте око узорка постављају се испред и иза керамичке плочице са узорком још по три празне керамичке плочице. Изглед печених (фабрикованих) узорка дат је на слици 5.



Слика 5. Фабриковани узорци за одређивање пермитивности ЛТЦЦ материјала.

Мерна метода и експериментални резултати

За одређивање пермитивности у овом истраживању користи се капацитивна метода где се узорак неокarakterисане ЛТЦЦ траке поставља између две паралелне плоче, слика 6. Метода на бази мерења капацитивности кондензатора са паралелним плочама се најчешће користи у опсегу учестаности од 10^{-2} до 10^9 Hz, али се препоручује за учестаности до 100 MHz. Користе се електроде малог пречника ако су узорци кружног облика или мале површине ако су узорци квадратног облика са малим растојањем између плоча како би се постигло униформно електрично поље.



Слика 6. Model test kondenzatora.

Капацитивност из које се посредно прорачунава пермитивност може се добити на неколико начина. Као прво, може се мерити промена капацитивности и проводности држача са и без узорка. На овај начин расипна капацитивност је директно урачуната у једначину. Међутим, мана

оваквог начина је неидеално налагање узорка и електрода кондензатора, тј. постојање ваздушног процепа између електрода и узорка.

Како би се избегло појављивање расипне капацитивности због горе наведених разлога за димензије узорка узето је да је пречник диска 7 mm а дебљина у зависности од ЛТЦЦ траке између 50 i 280 μm док се електроде кондензатора наносе у виду двокомпонентне проводне пасте.

Због могућности анализатора импедансе HP 4194A да директно мери капацитивност и Q-фактор за прорачун карактеристичних параметара подлоге, тј. за одређивање губитака користи се једначина (6). Капацитивност између паралелних плоча кондензатора, површине S и растојања d дефинише се као

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon'_r \frac{S}{d}, \quad (7)$$

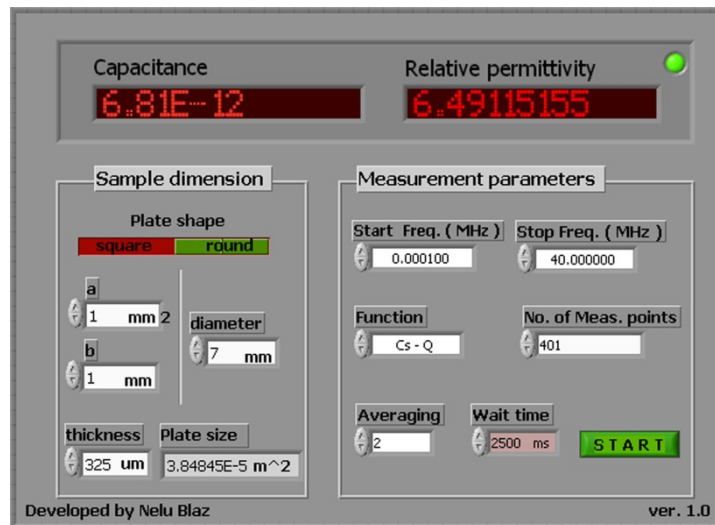
тако да се реални део релативне комплексне пермитивности може приказати као:

$$\varepsilon'_r = \frac{C}{\varepsilon_0 \frac{S}{d}}, \quad (8)$$

док се имагинарни део релативне комплексне пермитивности може представити уз помоћ следеће једначине

$$\varepsilon''_r = \varepsilon'_r \tan \delta = \frac{\varepsilon'_r}{Q}. \quad (9)$$

Користећи ове једначине могуће је одредити релативну пермитивност и тангенс угла губитака тестираних материјала.



Slika 7. Софтверски алат за аутоматско управљање мерним инструментом HP4194A и прерачунавање комплексне пермитивности на основу измерених резултата.

За аутоматизацију процеса мерења и аутоматску обраду података реализован је посебан софтверски алат у програмском пакету *LabView* којим се аутоматски управља радом инструмента и читавају мерене вредности. Такође, програм аутоматски прорачунава реални део комплексне пермитивности на основу једначине (8). На слици 7. приказано је корисничко окружење развијеног програмског алата у којем је могуће задати све карактеристичне параметре

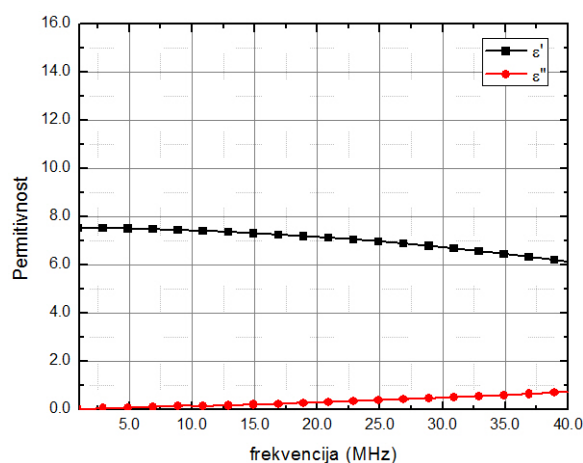
узорка, границе учестаности у којима ће се вршити мерење као и избор параметара који ће бити приказани. Након покретања програма измерене и прорачунате вредности у дефинисаном фреквентном опсегу се аутоматски записују у фајл. Мерна поставка за одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТЦЦ материјала приказана је на слици 8.



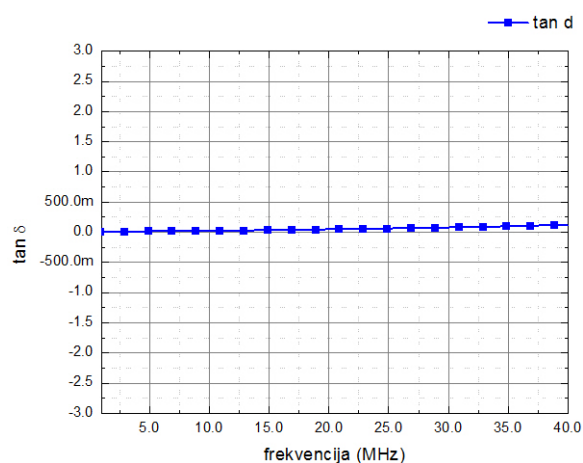
Слика 8. Мерна поставка за одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТЦЦ трака.

Користећи развијен софтверски алат за управљање анализатором импедансе извршено је мерење тест узорака Kerafol (Heraeus) CT800, ESL 41020 и Ceramtec GC у опсегу учестаности од 100 Hz до 40 MHz. Уврштавањем измерених величина C и Q у једначине (8) и (9) добијају се вредности за реални и имагинарни део комплексне пермитивности као и угао губитака.

На сликама 9, 10 и 11 приказане су карактеристике за комплексну пермитивност и угао губитака и то за CT800, ESL 41020 и Ceramtec GC, респективно.

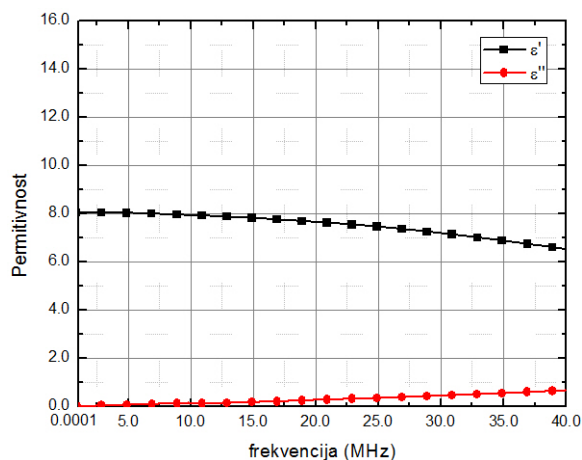


a)

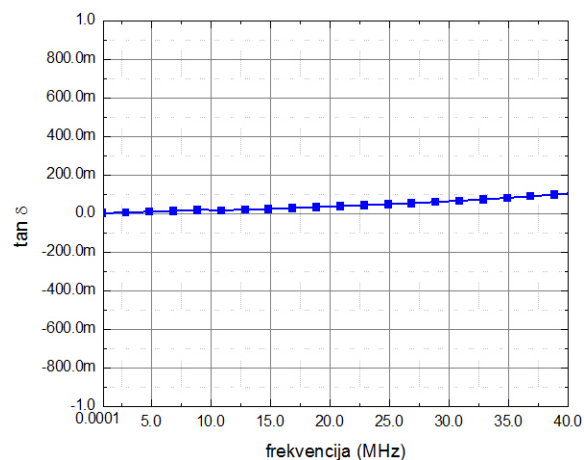


b)

Слика 9. Комплексна пермитивност а) и тангенс угла губитака б) за диелектричну ЛТЦЦ траку Kerafol (Heraeus) CT800.

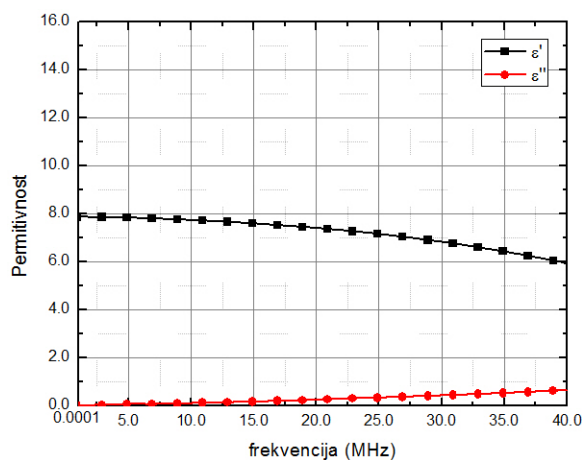


a)

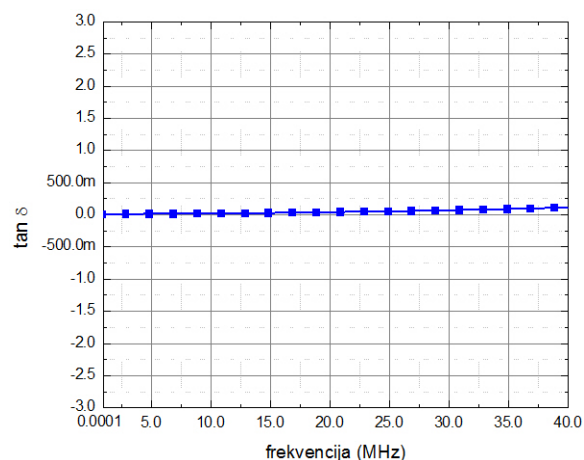


b)

Слика 10. Комплексна пермитивност а) и тангенс угла губитака б) за диелектричну ЛТЦЦ траку ESL 41020.



a)



b)

Слика 11. Комплексна пермитивност а) и тангенс угла губитака б) за диелектричну ЛТЦЦ траку CeramTec GC.

На основу резултата приказаних на сликама 9, 10 и 11 може се видети да се најмања вредност за диелектричну константу добија за Kerafol (Heraeus) CT800 диелектричну траку, док се највећа вредност добија за ESL 41020 диелектричну траку. Такође, може се приметити да Ceramtec GC материјал показује највећу промену вредности пермитивности са променом фреквенције, док највећи пораст тангенса угла губитака са порастом фреквенције има материјал ESL 41020.

Могућности представљене мерне методе

У овом техничком решењу је приказана метода за одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТЦЦ материјала. Новина се огледа у карактеризацији комерцијално доступних диелектричних ЛТЦЦ материјала помоћу анализатора импедансе, развијеног програмског алата за аутоматизацију мерења и посебно припремљених ЛТЦЦ узорака. Овакав начин

карактеризације је омогућен преко развијеног теоријског модел који је имплементиран у развијени програмски алат. Овај програмски алат омогућава брзо и прецизно мерење и преузимање резултата потребних за прорачун комплексне пермитивности у целокупном фреквенцијском опсегу инструмента од 100 kHz до 40 MHz. Од излазних података програмски алат даје измерене вредности капацитивности и Q фактора у зависности од промене фреквенције у табеларном облику. Поред измерених параметара програмски алат приказује и вредности реалног дела пермитивности за тренутну измерену вредност капацитивности у оквиру корисничког окружења за шта је потребно да се унесу димензије мереног узорка.

Мерни узорци за одређивање комплексне пермитивности материјала морају бити у облику диска са нанесеним проводним електродама. Узорци могу бити кружног или четвртастог облика, али у оба случаја дебљина узорка односно растојање између електрода мора бити много мање у односу на величину пречника односно дужину стране на коју је нанесен проводни слој електроде како би поље између плоча било што униформније.

Приказана метода карактеризације је тестирана на комерцијално доступним LTCC материјалима компаније Kerafol (Heraeus) - CT800, компаније ElectroSience laboratory - ESL 41020 и компаније Ceramtec - Ceramtec GC. За ова три, до сада неокарактерисана материјала (у фреквентном опсегу од 100 kHz до 40 MHz), одређена је комплексна пермитивност предложеном методом на собној температури. Добијени резултати су у сагласности са оквирним вредностима које су произвођачи навели у техничкој документацији диелектричних ЛТЦЦ материјала.

Нова метода за одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТЦЦ материјала у фреквенцијском опсегу од 100 Hz до 40 MHz развијена на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. ИИИ-45021 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

Штампано –2015.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndeap@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМИ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 1. редовној седници одржаној дана 01.10.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 12.2.6: У циљу верификације новог техничког решења предлажу се рецензенти:

- Др Мирослав Лазић, ИРИТЕЛ Београд
- Др Мирољуб Луковић, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд

МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОМПЛЕКСНЕ ПЕРМИТИВНОСТИ ДИЕЛЕКТРИЧНИХ LTCC МАТЕРИЈАЛА У ФРЕКВЕНЦИЈСКОМ ОПСЕГУ ОД 100 НЗ ДО 40 МНЗ

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Вале Дорословачки

RECENZIJIA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Prototip:

Metoda za određivanje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC materijala u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 40 MHz

Broj projekta: III - 45021

Rukovodilac projekta: prof. dr Vladimir Srdić

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Andrea Marić, Ljiljana Živanov,

Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad;

Goran Radosavljević,

Institut za senzorske i aktuatorске sisteme (ISAS), Beč, Austrija

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja III - 45021

Godina: 2015

Primena: 01.11.2015.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija, Institut za multidisciplinarna istraživanja, Beograd; IRITEL A.D., Beograd.

Podtip rešenja: M85 - Nova merna metoda.

Obrazloženje

U ovom tehničkom rešenju je prikazana metoda za određivanje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC materijala. Novina se ogleda u karakterizaciji komercijalno dostupnih dielektričnih LTCC materijala pomoću analizatora impedanse, razvijenog programskog alata za automatizaciju merenja i posebno pripremljenih LTCC uzoraka.

Merna metoda uključuje analizator impedanse HP4194A sa odgovarajućim držačem uzoraka, razvijenog programskog alata i dielektričnih uzoraka sa metalnim elektrodama. Merna metoda se zasniva na merenju kapacitivnosti odnosno Q faktora pločastog kondenzatora te se stoga na dielektričnim uzorcima za ovu metodu moraju naneti provodni slojevi.

Na osnovu prikazanog teorijskog modela i izvedenih jednačina razvijen je programski alat koji omogućava brzo i precizno merenje i preuzimanje rezultata potrebnih za proračun kompleksne permitivnosti u celokupnom frekvencijskom opsegu instrumenta od 100 Hz do 40 MHz. Od izlaznih podataka programski alat daje izmerene vrednosti kapacitivnosti i Q faktora u zavisnosti od promene frekvencije u tabelarnom obliku.

Metoda koja je prikazana u ovom tehničkom rešenju demonstrirana je na dielektričnim uzorcima izrađenim u LTCC tehnologiji i dobijeni rezultati su pokazali dobro slaganje sa podacima koje je dao proizvođač LTCC traka. Prikazana merna metoda je primenljiva za određivanje kompleksne primitivnosti i na drugim dielektričnim uzorcima pod uslovom da je na njih moguće naneti provodne slojeve kako bi se realizovao pločasti kondenzator.

Nova metoda za određivanje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC materijala u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 40 MHz razvijena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. III-45021 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

U Beogradu,

21.10.2015.

Recenzent:


Dr Miroslav Lazić
IRITEL A.D, Beograd

RECENZIJA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Merna metoda:

Metoda za određivanje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC materijala u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 40 MHz

Broj projekta: III - 45021

Rukovodilac projekta: prof. dr Vladimir Srdić

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Andrea Marić, Ljiljana Živanov,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad;
Goran Radosavljević,
Institut za senzorske i aktuatorске sisteme (ISAS), Beč, Austrija

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja III - 45021

Godina: 2015

Primena: 01.11.2015.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija, Institut za multidisciplinarna istraživanja, Beograd; IRITEЛ A.D., Beograd.

Podtip rešenja: M85 - Nova merna metoda.

Образложение

Problem koji se tehničkim rešenjem rešava je sledeći: Razvijena je i optimizovana metoda za određivanje kompleksne permitivnosti u širokom frekventnom opsegu (100 kHz - 40 MHz). Metoda uključuje sistem koji se sastoji iz mernog instrumenta, odgovarajućeg programskog alata i prethodno, posebno pripremljenih uzoraka. Ovakav način karakterizacije je omogućen je preko razvijenog teorijskog modela koji je implementiran u razvijeni programski alat. Ograničenje ove metode jeste u činjenici da svi ispitivani uzorci moraju biti sa nanetim provodnim elektrodama na obe površine ispitivanog materijala oblika diska ili kvadratne/pravougaone pločice.

Karakteristike predloženog tehničkog rešenja su sledeće: Merni sistem koji je korišćen za realizaciju ove metode uključuje analizator impedanse HP 4194A, odgovarajućeg držača uzoraka HP 16047A, programskog alata i dielektričnih uzoraka sa nanetim provodnim elektrodama. Kako bi se izbeglo pojavljivanje rasipne kapacitivnosti na uzorku za dimenzije uzorka uzeto je da je prečnik diska 7 mm a debljina u zavisnosti od LTCC trake između 50 i 280 μm dok se elektrode kondenzatora nanose u vidu dvokomponentne provodne paste.

Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja su sledeće: Za automatizaciju procesa merenja i automatsku obradu podataka realizovan je u programskom paketu LabView poseban softverski alat koji automatski upravlja radom instrumenta i očitava merene vrednosti. Izmerene odnosno preračunate vrednosti zapisuju se u odgovarajuću tekstualnu datoteku (CSV format) što omogućava kasniju laku obradu i iscertavanje dobijenih karakteristika u zavisnosti od frekvencije. Primena ove merne metode je demonstrirana na uzorcima izrađenim u LTCC tehnologiji ali je metoda takođe primenljiva i za druge vrste dielektričnih uzoraka.

Nova metoda za određivanje kompleksne permitivnosti dielektričnih LTCC materijala u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 40 MHz razvijena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. III-45021 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

**U Beogradu,
20.10.2015.**

Recenzent:



Dr Miloljub Luković, viši
naučni saradnik

Institut za multidisciplinarna
istraživanja, Beograd



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftnDean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број: _____

Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 5. редовној седници одржаној дана 25.11.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 17. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 17.2.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

17.2.6. Назив техничког решења:

**МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОМПЛЕКСНЕ ПЕРМИТИВНОСТИ
ДИЕЛЕКТРИЧНИХ LTSS МАТЕРИЈАЛА У ФРЕКВЕНЦИЈСКОМ
ОПСЕГУ ОД 100 HZ ДО 40 MHZ**

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др. Раде Дорословачки