

## Spôľahlivosť LTCC s mikropásikovou štruktúrou vo vysokofrekvenčnej oblasti

Hovanec Peter · Elektrotechnika, Strojárstvo

02.07.2014



Tento príspevok je zameraný na testovanie spoľahlivosti LTCC (z angl. Low Temperature Co-fired Ceramic) keramiky vo vysokofrekvenčnej oblasti pomocou teplotných testov spoľahlivosti. Na LTCC keramiku bola natlačená mikropásiková štruktúra (úzkopásmový filter typu pásmová zádrž), použitím štandardného technologického procesu pre spracovanie LTCC. Na vyrobené vzorky boli aplikované testy zrýchleného starnutia a cyklická zmena teplôt podľa jednotlivých noriem. Testy prebiehali v dvoch typoch klimatických komôr: v teplotne šokovej komore a teplotne vlhkostnej komore. Rozptylové parametre vyrobených vzoriek boli merané pomocou vektorového obvodového analyzátora pred testami a po každej sérii testov. Na záver boli namerané výsledky vykreslené do grafov a analyzované.

### 1. Úvod

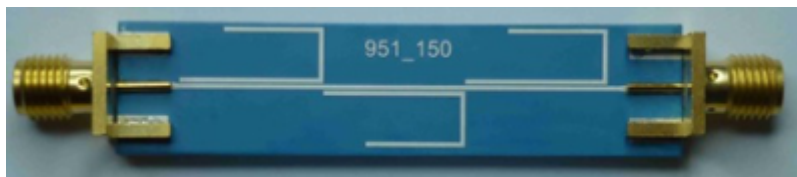
Rýchly rozvoj elektrotechnického a automobilového priemyslu ma za následok zvyšovanie požiadaviek na spoľahlivosť elektronických zariadení. Moderné automobily sú vybavené veľkým množstvom rôznych elektronických zariadení, ktoré využívajú klasické dosky plošných spojov, typu FR-4. Spomínaný rýchly rozvoj spôsobuje, že väčšina integrovaných elektronických zariadení bude medzi sebou alebo s akýmkoľvek iným zariadením komunikovať bezdrôtovo. Bezdrôtová komunikácia bude po vzore už existujúcich technológií prebiehať v oblasti vysokých frekvencií a bude umožňovať okrem klasickej komunikácií aj diagnostiku a kontrolu stavu vozidla na diaľku. Najväčším problémom použitia bezdrôtových zariadení pracujúcich na vysokých frekvenciách v automobiloch je vplyv rôznych rušivých vplyvov, ktorými môžu byť zmeny teploty, vlhkosť, vibrácie atď.

V súčasnej dobe sa čo raz častejšie využívajú keramické substráty (hlavne LTCC) pre tvorbu rôznych senzorov a vysokofrekvenčných zariadení. V budúcnosti je cieľom nahradiť v súčasnosti používané klasické dosky plošných spojov nízkoteplotne vypáľovanou keramikou. LTCC substráty sa začínajú presadzovať vďaka rôznym vlastnostiam ako napríklad tým, že oproti ostatným keramikám sa s ňou pracuje v nevypálenom stave a je možné vytvárať viacvrstvé štruktúry a taktiež vďaka jej výbornej tvárnosti aj 3D štruktúry rôznych tvarov. Hlavnou výhodou oproti doteraz používaným základným doskám plošných spojov typu FR-4 je schopnosť odolávať vysokým teplotám, keďže teplota výpalu je 850°C a taktiež stabilita dielektrických

vlastností substrátu vo vysokofrekvenčnej oblasti [1].

## 2. Mikropásiková štruktúra

Na realizáciu bezdrôtového a vysoko rýchlostného prenosu dát sa používajú širokopásmové antény. Pre potlačenie signálov, ktoré môžu spôsobovať degradáciu signálu, jedná sa hlavne o Wi-Fi signál, sa využívajú filtre typu pásmová zádrž. Sú to najmä úzkopásmové filtre, ktoré sú veľmi dôležité vo väčšine bezdrôtových komunikačných aplikáciách.



Obr. 1 LTCC mikropásiková štruktúra

Existuje viacero možností návrhu úzkopásmových filtrov pomocou mikropásikového vedenia [2]. Všetky rozmery, okrem šírky prenosového vedenia, je možné meniť v prípade potreby vyladenia frekvenčnej charakteristiky konkrétneho filtra, respektíve je možné kompenzovať nepresnosti spôsobené výrobnými procesmi. Šírku prenosového vedenia nie je možné meniť nakoľko, vstup a výstup filtra je impedančne prispôsobený na  $50 \Omega$ , je to kompromis medzi najlepšou možnosťou spracovania výkonu, ktorá sa vykonáva pri  $30 \Omega$  a najnižším útlmom signálu, ktorý je pri  $70 \Omega$ .

## 3. Teplotné testy spoľahlivosti

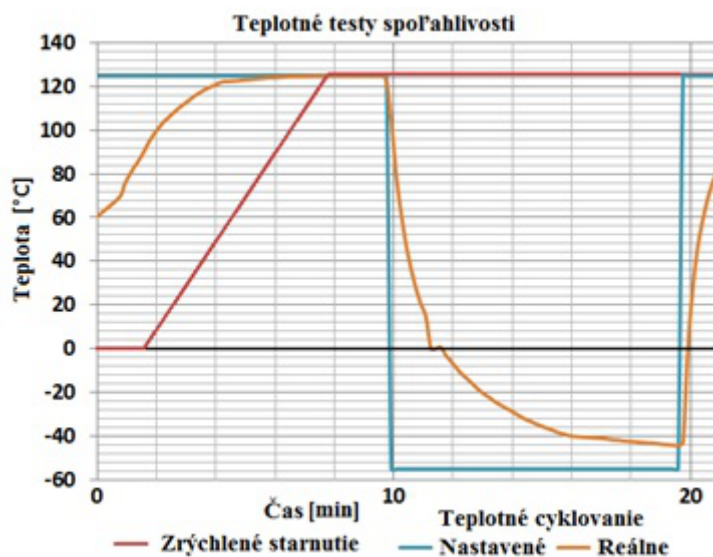
### Zrýchlené starnutie

Test zrýchleného starnutia predstavuje zmenu vlastností danej testovanej štruktúry vplyvom pôsobenia dlhodobej vysokej teplotnej záťaže a môže byť vykonávaný podľa rôznych teplotných tried, v článku bola použitá norma JEDEC JSED22-A103A - trieda A ( $125^\circ\text{C}$ ) [3]. Pri výbere vhodnej testovacej triedy je potrebné brať do úvahy odolnosť materiálu a použitých komponentov voči vysokej teplote. Výber teploty je treba prispôbiť predpokladaným podmienkam, v akých by sa malo dané zariadenie využívať. Dĺžky zotrvania testovaných vzoriek pri vysokej teplote počas jednotlivých krokov: 1. krok 200 hodín (8 dní), 2. krok 400 hodín (16 dní), 3. krok 600 hodín (25 dní).

### Teplotné cyklovanie

Umožňuje testovanie elektronických štruktúr cyklickou zmenou teplôt, kedy rýchlosť zmeny teploty je nastavená dostatočne pomaly, aby sa predišlo vzniku teplotného šoku. Teplotné cyklovanie umožňuje nasimulovať a zistiť prejavy chovania a únavy keramického materiálu oveľa rýchlejšie, ako keby sa pozorovali zmeny vzniknuté v reálnom čase. Pri procese teplotného cyklovania je potrebné zvoliť požadovaný teplotný profil, nastaviť maximálnu, minimálnu teplotu a dobu vystavenia materiálu jednotlivým teplotám, v článku bola použitá norma JEDEC JESD-A104 - trieda B ( $-55^\circ\text{C}$  /  $125^\circ\text{C}$ ) [4]. Jeden teplotný cyklus sa skladá z výdrže 10 minút na maximálnej a minimálnej hodnote. Počet cyklov a celková dĺžka trvania testu pri jednotlivých

krokoch boli: 1. krok 150 cyklov (50 hodín), 2. krok 300 cyklov (100 hodín), 3. krok 600 cyklov (200 hodín), 4. krok 1200 cyklov (400 hodín).



Obr.2 Priebeh teplôt teplotných testov

#### 4. LTCC DuPont 951

DuPont GreenTape 951 je nízkotepelné vypalovaný keramický substrát, vyrábaný vo viacerých hrúbkach. Využíva sa ako dielektrická, tzv. izolačná vrstva pre jednočipové a multičipové moduly, keramické dosky s plošnými spojmi a RF moduly. Vypalovanie keramiky sa realizuje vo vypalovacej peci s vopred nastaveným vypalovacím profilom, vhodným pre daný typ keramiky. Použitie LTCC keramiky je v súčasnosti dosť známe a rozsiahle, ale myšlienka využívať LTCC keramiky ako aktívne dielektrikum aj v oblasti veľmi vysokých frekvencií rádovo desiatky GHz a viac, vďaka stabilným dielektrickým vlastnostiam (relatívna permitivita 7,8 pri 10 GHz a stratový činiteľ 0,014 pri 10 GHz), je niečo nové. Jedným z problémov, ktorý musia pri návrhu riešiť dizajnéri je zmršťovanie keramiky (v smere osi X a Y je to  $12,7 \pm 0,3 \%$ , v smere osi Z je to  $15 \pm 0,5 \%$ ), ktoré môže výrazným spôsobom zmeniť očakávané hodnoty navrhovaným elektronických prvkov aplikovaných v oblasti GHz. LTCC keramika nachádza uplatnenie v rôznych vysokofrekvenčných aplikáciách, ako sú pásmové filtre, radary s integrovanými anténami, vysielacie a prijímacie RF moduly a mnoho ďalších [5].

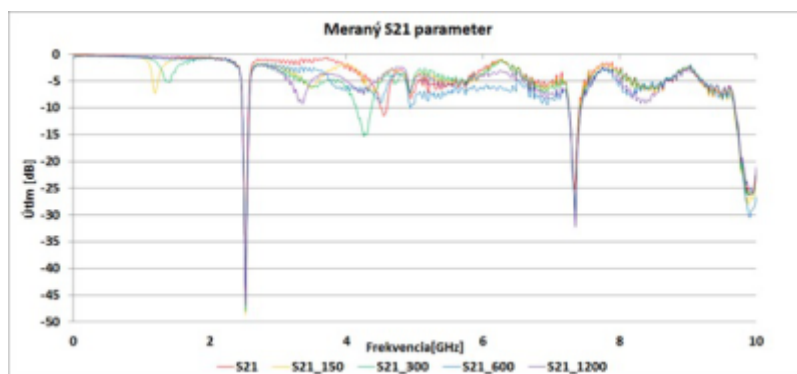
#### 5. Namerané výsledky

Pre meranie rozptylových parametrov bol použitý vektorový obvodový analyzátor s testovacími káblami ukončenými s SMA male konektormi, pričom na každý vyrobený filter boli prispájkované SMA female konektory. Meranie prebiehalo v rozsahu od 0 GHz do 10 GHz.

##### 5.1 Po testoch teplotným cyklovaním a ich analýza

Pôvodné odmerané hodnoty rozptylových parametrov navrhutej a vyrobenej štruktúry mikropásmového filtra s natlačenou internou pastou sú znázornené červenou farbou na Obr. 3. Odmeraná hodnota útlmu signálu úzkopásmového filtra pred aplikáciou testov spoľahlivosti dosahuje úroveň - 44,5 dB a šírka nepriepustného pásma je 162 MHz. Podrobnou analýzou nameraných výsledkov sa zistilo, že začiatkový test

spoľahlivosti teplotného cyklovania teplôt v rozsahu od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $+125^{\circ}\text{C}$  pri 150 cykloch preukázal vznik slabého útlmu signálu ( $-7$  dB) v priepustom pásme pri frekvencii 1,2 GHz. Podobné zmeny nastali aj pri ďalšom meraní so zvýšením počtu cyklov na 300, kde útlm signálu ( $-5,2$  dB) sa prejavil až pri frekvencii 1,4 GHz. Dôsledkom vzniku zmien je nedostatočný proces spájkovania SMA konektorov. Po opakovanom pretavení spájky boli tieto útlmy potlačené. Tieto chyby by bolo možné minimalizovať, ak by na meranie bola použitá testovacia stanica s ihlovými sondami, a teda nebolo by potrebné osadzovať SMA konektory.



Obr. 3 S21 parameter filtra po testoch teplotným cyklovaním

Ďalším sledovaným parametrom bola zmena šírky nepriepustného pásma pri  $-3$  dB pred a po vykonaní teplotných testov spoľahlivosti. Vplyvom pôsobenia teplôt sa menila šírka nepriepustného pásma v rozsahu frekvencií od 2,439 do 2,629 GHz. Nepriepustné pásmo základnej testovacej vzorky sa nachádza v rozsahu medzných frekvencií od 2,439 - 2,601 GHz. Celková nameraná šírka pásma základnej testovacej vzorky predstavuje 162 MHz. Najväčšie rozšírenie nepriepustného pásma v oblasti  $-3$  dB sa dosiahlo pri 600 cykloch, pričom sa šírka pásma zväčšila o 28 MHz na hodnotu 190 MHz, čo v priemere predstavuje zväčšenie o 17,2% oproti základnej šírke pásma. Najmenší rozdiel zmeny šírky pásma nastal pri počte cyklov 150 a 300 pričom šírka pásma sa zväčšila o 5,5% na hodnotu 171 MHz. Na rozdiel pri najväčšom počte cyklov, v našom prípade 1200, nastalo zúženie šírky pásma o 5,2% oproti šírke pásma pri 600 cykloch.

Najmenší dosiahnutý útlm signálu nadobúda hodnotu  $-43,3$  dB dosiahnutý pri 600 cykloch, oproti útlmu pred testami je to pokles o 2,7%. Najväčšia hodnota útlmu  $-48,5$  dB sa dosiahla pri 150 cykloch, čo predstavuje nárast o 4 dB (8,9%) oproti útlmu pred testami. Postupným zvyšovaním cyklov nad 150 sa hodnota maximálneho útlmu nepravidelne znižovala vplyvom starnutia materiálu. Najväčší rozdiel zníženia útlmu bol zaznamenaný pri 600 cykloch, kedy útlm signálu poklesol na  $-43,3$  dB, následným zvýšením počtu cyklov až na 1200 znovu nastalo zvýšenie útlmu signálu na hodnotu  $-46,8$  dB.

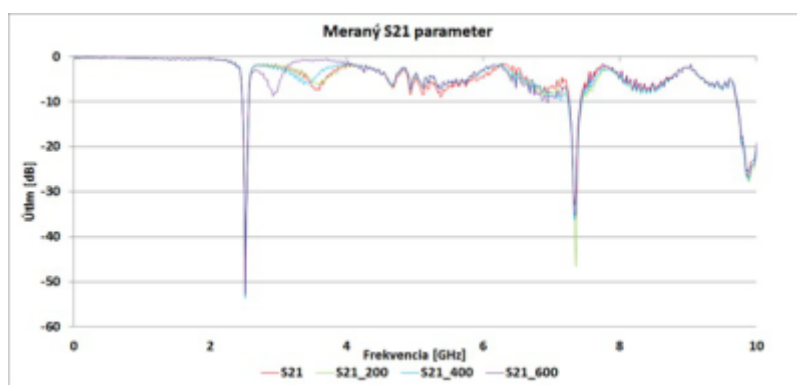
Tab. 1 Vzorka s internou pastou a S21 parameter

Počet cyklov	Rozsah nepriepustného pásma [GHz]	Šírka pásma [MHz]	Útlm signálu [dB]
0	2,439 - 2,601	162	-44,5
150	2,439 - 2,610	171	-48,5

300	2,439 - 2,610	171	-47,9
600	2,439 - 2,629	190	-43,3
1200	2,439 - 2,619	180	-46,8

## 5.2 Po testoch zrýchleným starnutím a ich analýza

Pred začatím testu zrýchleného starnutia sa najprv odmerali rozptylové parametre pre testami, pričom sa sledovala šírka nepriepustného pásma pri -3 dB, ktorá sa pohybovala v rozsahu frekvencií od 2,439 do 2,593 GHz čiže 154 MHz s nameranou hodnotu útlmu signálu -50,4 dB. Spustením testu zrýchleného starnutia s rôznou dobou zotrvania testovacích vzoriek pri vysokej teplote sa preukázali zmeny vlastnosti mikropásikovej štruktúry. Pozorovali sme šírku pásma pri -3 dB, kde sa po 200 až 400 hodinách neprejavili výrazné zmeny šírky nepriepustného pásma oproti pôvodne nameraným hodnotám. Naopak, po ukončení testu po 600 hodinách došlo k náhlemu rozšíreniu nepriepustného pásma o 5% oproti základnej šírke pásma odmeranej pred spustením zrýchleného starnutia. So zmenou šírky pásma došlo aj k degradácii funkčnosti filtra a výraznému zväčšeniu útlmu signálu v priepustnom pásme.



Obr. 4 S21 parameter filtra po testoch zrýchleným starnutím

Vplyvom testu zrýchleného starnutia s postupným zvyšovaním počtu hodín nastali zmeny vlastnosti filtra a nepravidelné zväčšovanie hodnôt útlmu signálu oproti základnému útlmu. Najmenšia nameraná hodnota útlmu signálu bola hneď na začiatku po 200 hodinách, kde dosiahol útlm signálu -53,6 dB, čo predstavuje zväčšenie o 3,2. Naopak, zvýšením počtu hodín na 400 sa zaznamenala hodnota útlmu -52,2 dB a po ďalších 200 hodinách útlm narástol na -52,9 dB. Všetky namerané hodnoty maximálneho útlmu sa pohybovali v oblasti frekvencií 2,51 GHz.

Tab. 2 Vzorka s internou pastou a S21 parameter

Počet hodín	Rozsah nepriepustného pásma [GHz]	Šírka pásma [MHz]	Útlm signálu [dB]
0	2,439 - 2,593	154	-50,4
200	2,439 - 2,593	154	-53,6
400	2,439 - 2,593	154	-52,2
600	2,439 - 2,601	162	-52,9

## 6. Záver

Mikropásiková štruktúra, ktorá predstavuje úzkopásmový filter typu pásmová zádrž, bola vyrobená pomocou hrubovrstvovej technológie a LTCC keramiky od firmy DuPont GreenTape 951. Takto skonštruované filtre boli vystavené teplotným testom spoľahlivosti a merané pred a po každej časti testov. Testy teplotným cyklovaním mali vplyv na zmenu šírky nepriepustného pásma, čo môže mať vplyv na presnosť filtra, kedy sa odfiltrujú aj užitočné informácie. Prvotné testy zrýchleného starnutia šírku nepriepustného pásma neovplyvňovali, šírka sa zmenila až po 600 hodinách testov, keďže sa ďalšie testy nevykonali, bolo by potrebné ich uskutočniť, aby sme mohli daný trend potvrdiť, respektíve poprieť. Oba testy mali vplyv na hodnoty maximálneho útlmu, ktoré mali tendenciu po prvotných testoch klesať a následne po ďalších testoch sa tieto hodnoty blížili k pôvodným hodnotám pred testami. Napriek rôznym zmenám, ku ktorým dochádzalo počas testov je LTCC keramika vhodná na vysokofrekvenčné účely vďaka svojim stabilným dielektrickým vlastnostiam a pre budúcnosť bezdrôtových aplikácií je veľmi perspektívna.

## Podakovanie



Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: \*Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií\*/, /kód ITMS: \*26220220182\*, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“ „Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ“

## Literatúra

1. A. Pietrikova, T. Rovensky, K. Ruman, J. Gamec, „Reliability of various PWB materials in high frequency area“, CDEE 2013 Pilsen, September 2-4, 2013 P. 53-56. ISBN 9788026102106
2. J.-S. Hong, M. J. Lancaster,; „Microstrip Filters for RF/Microwave Applications“, December 2001, ISBN: 9780471388777
3. JEDEC STANDARD, High Temperature Optimum Life, JEDEC JES22-A108
4. JEDEC STANDARD, Temperature Cycling, JESD22-A104D
5. DuPont Microcircuit Materials, 951 Green Tape, Thick Film Composition, Data Sheet

Spoluautormi článku sú Ing. Tibor Rovenský a prof. Ing. Alena Pietriková, CSc., Katedra technológií v elektronike, Technická Univerzita v Košiciach

