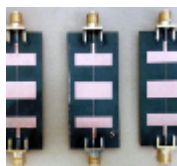


Konštrukcia mikropásikového dolnopriepustného filtra s medznou frekvenciou 2,5 GHz na báze DPS

Kaliňák Stanislav · Strojárstvo

14.07.2014



Článok sa zaoberá návrhom, simuláciou a konštrukciou mikropásikového filtra typu dolný priepust (DP) na báze rôznych dielektrických substrátov od firmy Rogers. Sú prezentované výsledky simulovaných a nameraných prenosových charakteristík (S_{21} a S_{11}) mikropásikového DP filtra. Príspevok demonštruje návrh mikropásikového DP filtra pomocou softvérového nástroja HyperLynx 3D EM Designer®. Článok posudzuje vhodnosť rôznych dielektrických materiálov od firmy Rogers pre výrobu mikropásikového DP filtra pre oblasť vysokých frekvencií (od DC do 13 GHz).

Úvod

Na návrh a syntézu mikropásikových filtrov existuje množstvo zdĺhavých výpočtových procesov. Aby sa návrh zjednodušil a návrhár odbremenil od zdĺhavých matematických výpočtov, vyvíjali sa softvérové nástroje, ktoré by zjednodušovali návrh a syntézu mikropásikových filtrov a umožnili by simulácie pre zistenie predbežných vlastností navrhovaného filtra. Pre návrh DP mikropásikového filtra bol použitý softvérový nástroj HyperLynx 3D EM Designer® od firmy Mentor Graphics.

Mikropásikové filtre sa skladajú z úsekov mikropásikového vedenia s dvomi rozličnými šírkami. Na základe šírky sa na mikropásikovom vedení prejavuje kapacitný alebo indukčný charakter. Keďže mikropásikové filtre sú vlastne kapacity a indukčnosti, je veľmi dôležité v oblasti vysokých frekvencií (od DC do 13 GHz) dbať na výber dielektrického materiálu s vhodnými vlastnosťami (relatívna permitivita, stratový činiteľ) [1]. Pre výrobu mikropásikového DP filtra boli použité materiály na báze hydrokarbónu plneného sklom a keramickými časticami typu Rogers RO4003C a RT/duroid 5880, ktoré majú stabilné dielektrické vlastnosti aj pri vysokých frekvenciách (do 15 GHz) [2].

Prezentovaný filter je príkladom mikropásikového DP filtra pre konkrétny laboratórny UWB senzorový systém. UWB senzorové systémy sú používané v rôznych aplikáciách. Sú dobre známe pre ich použiteľnosť v lokalizačných alebo komunikačných systémoch. Použitie UWB signálu môže poskytovať meranie vzdialenosti s veľkou presnosťou. Dôležitý pri tom je správny návrh a simulácia ako aj výroba kvalitného filtra pre odstránenie nežiadúcich frekvenčných zložiek. Spomínaný UWB senzorový systém

pracuje vo frekvenčnej oblasti od DC do 2 GHz, čo znamená že signál pred vstupom do UWB senzorového systému je nutné filtrovať DP filtrom [3]. Požiadavky na tento filter sú: medzná frekvencia 2,5GHz a minimálny útlm v nepriepustnom pásme -40 dB. Na základe získaných výsledkov bude následne skúmaná možnosť výroby mikropásikového DP filtra s takouto štruktúrou na báze viacvrstvovej keramiky LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic).

1. Materiál substrátu mikropásikového DP filtra

Pri návrhu mikropásikového DP filtra s použitím technológie DPS sme vyberali zo substrátov od firmy ROGERS spomedzi obojstranných DPS, nakoľko je to konštrukčne nutné, aby bolo možné vytvoriť mikropásikové vedenie s požadovanými vlastnosťami DP filtra. Výber laminátov, ktoré sú zvyčajne k dispozícii pre návrhárov, sa výrazne zúži, ako náhle sa prevádzková frekvencia daného zariadenia dostane nad 500 MHz a vyššie [4]. Materiály od firmy ROGERS ponúkajú návrhárom vlastnosti ako je vysoká relatívna permitivita (až do 10,2) a nízky stratový činiteľ $\tan \delta$ (až do 0,0009) aj nad hranicou 500 MHz. Tieto vynikajúce vlastnosti sú spôsobené tým, že substrát zložený zo základu FR-4, a teda skleneného vlákna a epoxidovej živice je navyše plnený ďalšími keramickými zložkami, ktoré vylepšujú vysokofrekvenčné vlastnosti substrátu. Dielektrické substráty od firmy Rogers použité pre simulácie mikropásikového DP filtra sú uvedené v Tab. 1 aj so základnými parametrami.

Tab. 1 Dielektrické substráty od firmy Rogers použité pre simuláciu mikropásikového DP filtra.

Typ substrátu	Rozmery substrátu	Hrúbka medi	Hrúbka dielektrika	ϵ_r	$\tan \delta$
RO4003C	304,8×228,6 mm (12×9 inch)	17,5µm ED	0,02 ± 0,0015inch 0,51 mm	3,38 ± 0,05	0.0027
RT/duroid 5880	228,6×152,4 mm (9×6inch)	17,5µm RL	0,02 ± 0,001inch 0,51 mm	2,20 ± 0,02	0.0009
RT/duroid6010 2LM	127×127 mm (5×5 inch)	17,5µm ED	0,025± 0,001 inch 0,632 mm	10,2 ± 0,25	0.0023
RO3003C	304,8×228,6 mm (12×9 inch)	17,5µm ED	0,02 ± 0,001inch 0,51 mm	3.00 ± 0.04	0.0013

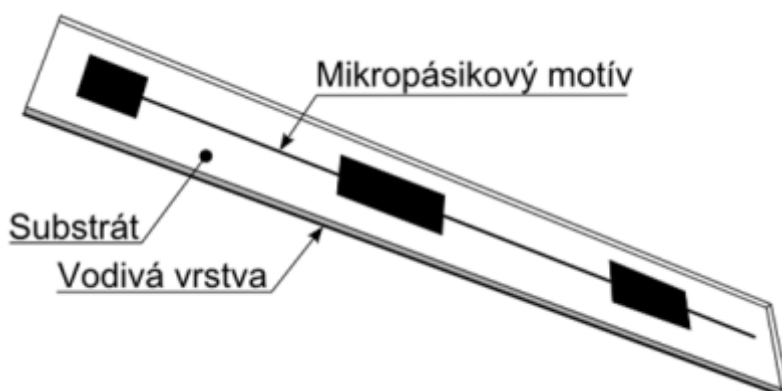
Kvôli korektnému posúdeniu vhodnosti rôznych dielektrických substrátov pre výrobu mikropásikového DP filtra pre oblasť vysokých frekvencií boli vybraté substráty s rovnakou hrúbkou dielektrika a medi. Ako je možné vidieť v Tab.1 jeden z vybraných dielektrických substrátov má inú hrúbku dielektrika (RT/duroid6010 2LM). Tento substrát bol vybratý pre jeho vysokú hodnotu relatívnej permitivity oproti ostatným substrátom. Jeho vysoká relatívna permitivita by mohla viesť k menším rozmerom navrhovaného mikropásikového DP filtra, i keď vyššia hrúbka substrátu spôsobuje presne opačný efekt, čo znamená zväčšenie rozmerov navrhovaného mikropásikového DP filtra. Keďže v porovnaní s ostatnými substrátmi je hrúbka materiálu RT/duroid6010 2LM približne o 0,1mm väčšia, bude sa sledovať jej vplyv na celkovú charakteristiku mikropásikového filtra.

2. Simulácie mikropásikového DP filtra v prostredí HyperLynx 3D EM

Designer

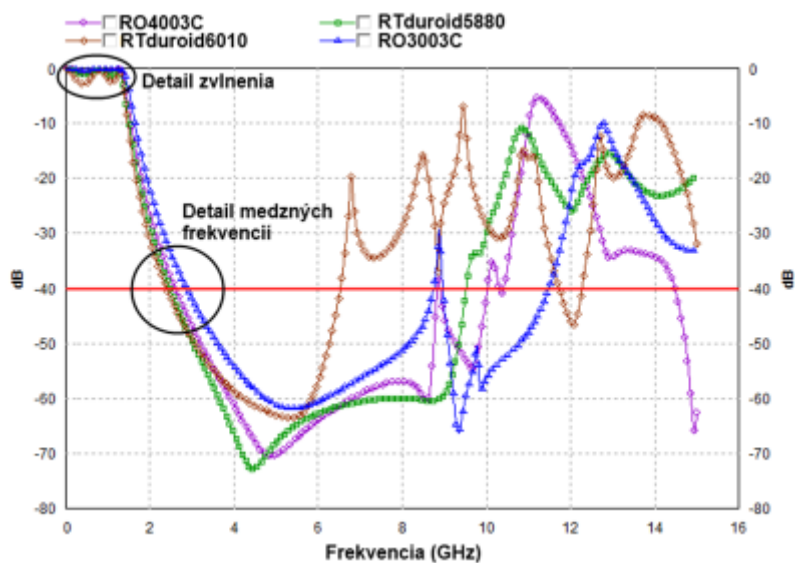
Programový nástroj, ktorý sme používali pre návrh DP filtra, je obsiahnutý v simulačnom softvéri IE3D balíka s názvom FilterSyn. FilterSyn umožňuje návrh mikropásikového DP filtra pomocou dvoch implementácií, a to tzv. Microstrip Stepped-Impedance Low-Pass Filter (DP mikropásikový filter so skokovými zmenami impedancie) a Microstrip Open-Circuited Stub Low-Pass Filter (mikropásikový DP filter s vystupujúcimi pahýľmi). Na základe skúšobných simulácií sme sa rozhodli pre konštrukciu mikropásikového DP filtra so skokovými zmenami impedancie

Obr. 1. Jeho podstatnou výhodou oproti mikropásikovej štruktúre s vystupujúcimi pahýľmi je jednoduchší návrh, odladenie a rozmerovo menší návrh s požadovanými vlastnosťami DP filtra.



Obr. 1 Mikropásikový dolnopriepustný filter so skokovými zmenami impedancie (Microstrip Stepped-Impedance Low-Pass Filter).

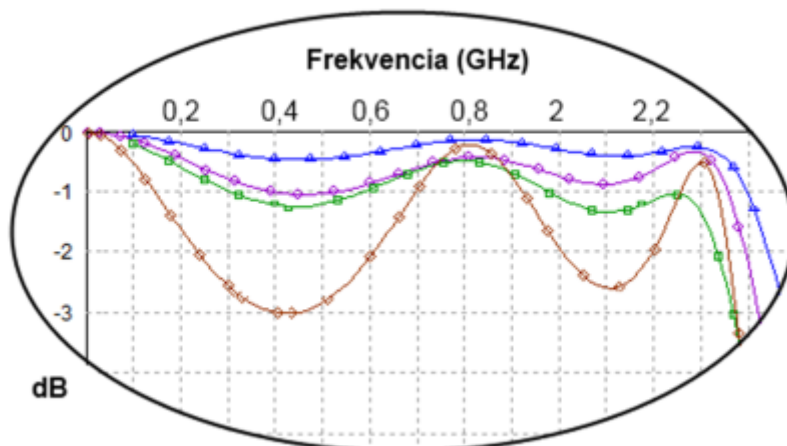
Na Obr. 2 sú znázornené odladené prenosové charakteristiky mikropásikových DP filtrov pre vybrané dielektrické substráty od firmy Rogers (Tab. 1). Pre lepšie porovnanie je na Obr. 2 vyznačená oblasť zvlnenia (Obr. 3) a oblasť medzných frekvencií (Obr. 4).



Obr. 2 Prenosové charakteristiky S_{21} DP filtrov na štyroch substrátoch od firmy ROGERS.

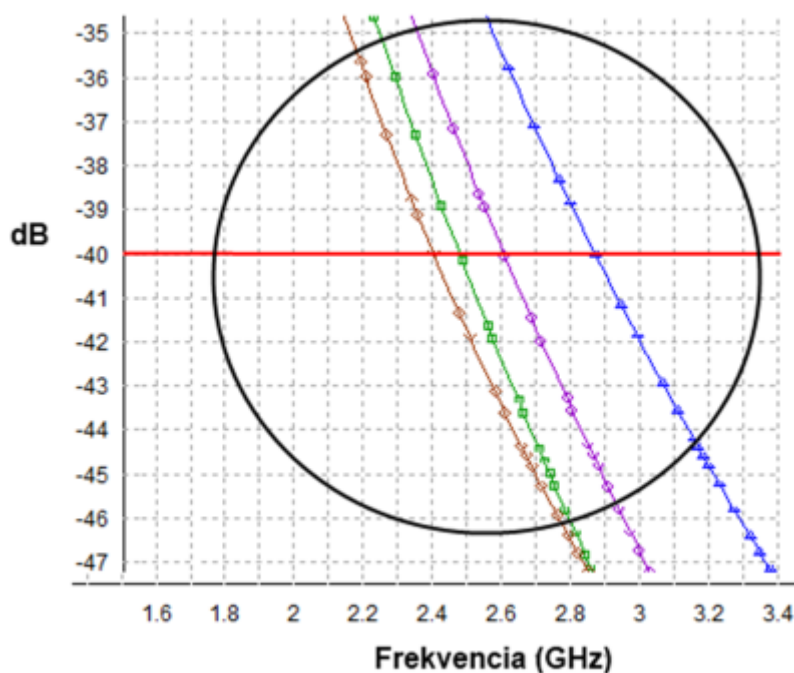
Z prenosových charakteristík S_{21} na Obr. 2 môžeme konštatovať, že najmenšie zvlnenie v priepustnom pásme sa podarilo dosiahnuť na substráte RO3003C. Detail zvlnenia v

priepustnom pásme (od DC do 2 GHz) je zobrazený na Obr. 3. Požiadavku pre útlm -40dB pri medznej frekvencii 2,5GHz spĺňa návrh na substráte RT/duroid5880. Detail prenosových charakteristík pri medznej frekvencii 2,5 GHz je znázornený na Obr. 4. Pri výbere najvhodnejšieho substrátu musíme brať do úvahy aj dosiahnutú šírku frekvenčného pásma v ktorom sa prenosová charakteristika drží pod požadovanou minimálnou úrovňou útlmu -40dB.



Obr. 3 Detail zvlnenia

Z prenosovej charakteristiky na Obr. 2 môžeme konštatovať, že najväčší frekvenčný rozsah (od 2,48GHz po 9,5GHz) pokrytý pod úrovňou -40dB má návrh DP filtra na substráte RT/duroid5880.

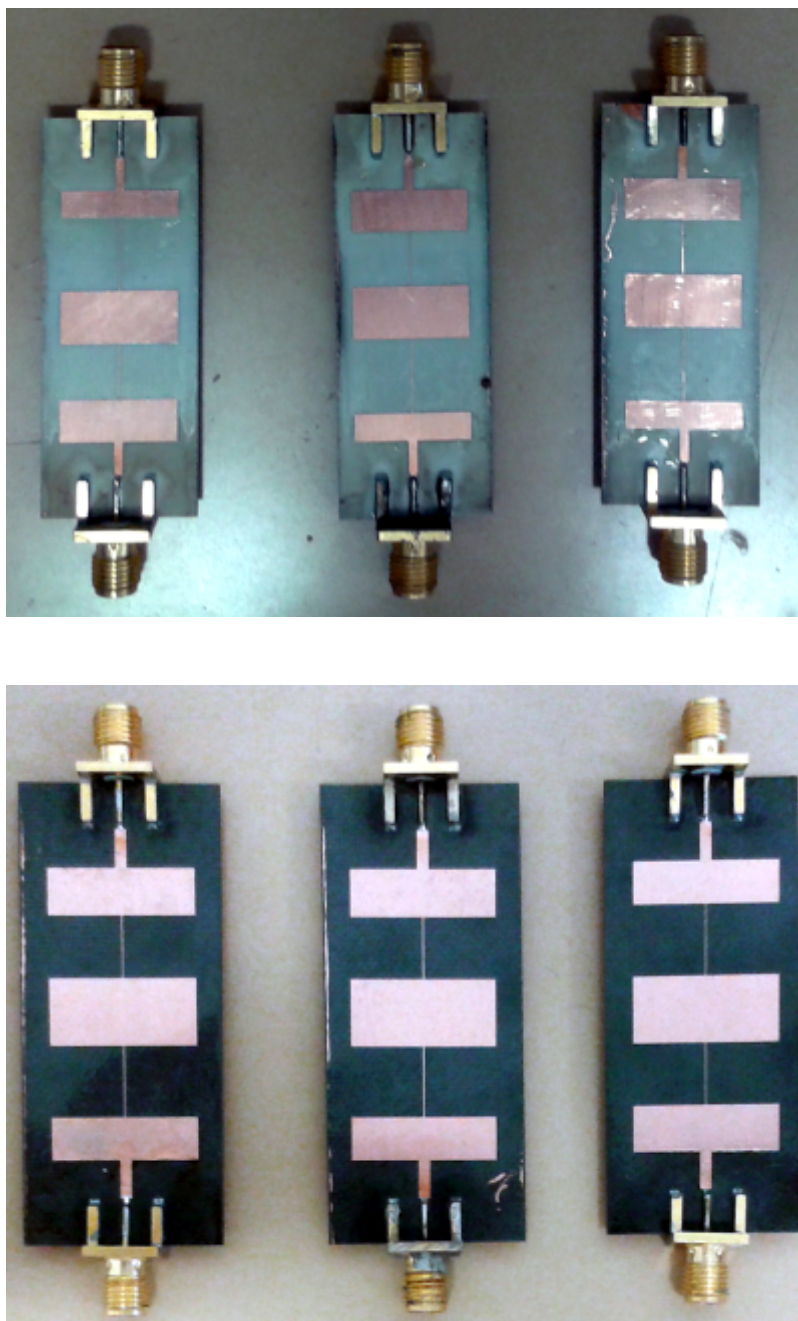


Obr. 4 Detail medzných frekvencií

Na základe prenosových charakteristík uvedených na Obr. 3, 4 a 5, sme sa rozhodli fyzicky realizovať návrhy mikropásikových DP filtrov na substrátoch RO4003C a RT/duroid5880, nakoľko ich zvlnenie v priepustnom pásme je akceptovateľné a medzná frekvencia sa najviac približuje k požadovanej hodnote 2,5 GHz. Vybraté substráty dosiahli najširšie frekvenčné pásmo v ktorom sa prenosová charakteristika drží pod úrovňou -40dB.

3. Realizácia mikropásikového DP filtra

Mikropasikove filtre na dvoch dielektrických substrátoch (RO4003C a RT/duroid5880) boli vyrobené štandardným leptaním v roztoku 40% FeCl_3 (chlorid železitý). Motív mikropásikového DP filtra na medenej vrstve bol realizovaný pomocou fotocitlivého laku (Positiv 20). Po odleptaní boli mikropásikové DP filtre osadené SMA konektormi a pretavené pomocou bezolovnatej spájky (Obr. 5).

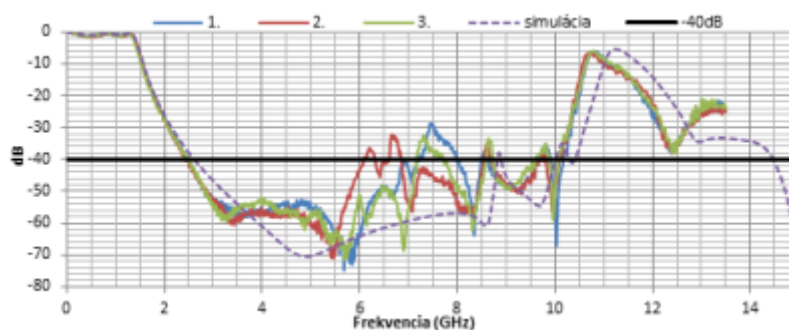


Obr. 5 Finálne mikropásikové DP filtre so skokovými zmenami impedancie na báze dvoch rôznych dielektrických substrátoch: a) substrát RO4003C b) substrát RT/duroid 5880.

K substrátu RT/duroid 5880 je potrebné povedať, že je to veľmi mäkký substrát, čo sa prejavilo najmä pri spájkovaní, kde pri pôsobení tepla substrát výrazne zmäkol. Problémy sa prejavili aj pri meraní prechodových charakteristík, kde sa substrát pod hmotnosťou pripojených meracích vedení deformoval, čo mohlo viesť k ovplyvneniu nameraných prenosových charakteristík.

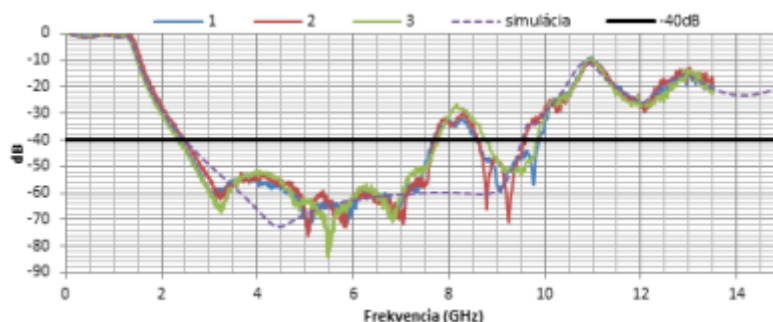
4. Meranie mikropásikových DP filtrov

Porovnanie nameraných a simulovaných prechodových charakteristík (S_{21}) troch mikropásikových DP filtrov na báze dielektrického substrátu RO4003C je zobrazené na Obr. 6.



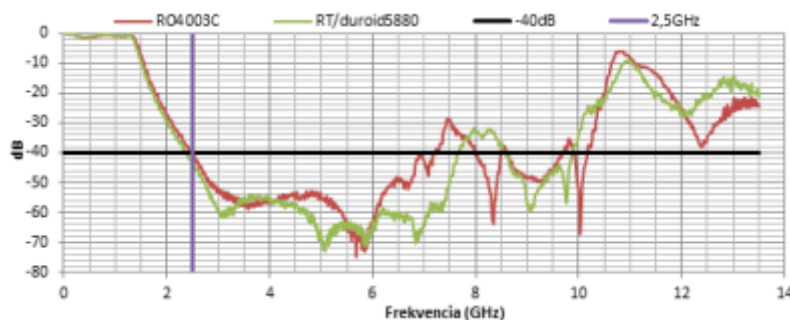
Obr. 6 Porovnanie nameraných a simulovaných prechodových charakteristík (S_{21}) troch mikropásikových DP filtrov na báze dielektrického substrátu RO4003C.

Prenosové charakteristiky odmeraných mikropásikových DP filtrov na dielektrickom substráte RO4003C (Obr.6) vyšli v oblasti medznej frekvencie lepšie ako simulácie, a teda medzná frekvencia je presne na požadovanej hodnote 2,5 GHz. Na druhej strane šírka frekvenčného pásma v ktorej sa útlm drží pod požadovanou hodnotou útlmu -40 dB sa pohybuje v prípade druhého mikropásikového DP filtra (červená charakteristika) od 2,5 GHz do 6 GHz a v prípade tretieho mikropásikového DP filtra (zelená charakteristika) od 2,5 GHz po 7,25 GHz. Porovnanie nameraných a simulovaných prechodových charakteristík (S_{21}) troch mikropásikových DP filtrov na báze dielektrického substrátu RT/duroid 5880 je zobrazené na Obr. 7.



Obr. 7 Porovnanie nameraných a simulovaných prechodových charakteristík (S_{21}) troch mikropásikových DP filtrov na báze dielektrického substrátu RT/duroid 5880.

Prenosové charakteristiky odmeraných mikropásikových DP filtrov na dielektrickom substráte RT/duroid 5880 (Obr. 7) majú prenosovú charakteristiku totožnú so simuláciou až na jeden pik, ktorý sa dostáva nad požadovanú minimálnu úroveň -40 dB. Táto nelinearita mohla vzniknúť poruchami vo vodivej dráhe mikropásikového vedenia, alebo vplyvom podleptania čiar, čím sa mohol navrhovaný mikropásikový DP filter rozladiť. Frekvenčné pásmo pod úrovňou -40 dB v nepriepustnom pásme sa drží od 2,5 GHz do 7,7 GHz. Ak by sme zanedbali pik, ktorý sa vyskytol na frekvencii 8 GHz, bol by mikropásikový DP filter na dielektrickom substráte RT/duroid 5880 použiteľný až do frekvencie 9 GHz. Na Obr. 8 je znázornené porovnanie prechodových charakteristík (S_{21}) najlepších odmeraných mikropásikových DP filtrov na dielektrickom substráte RO4003C a RT/duroid5880.



Obr. 8 Porovnanie najlepších odmeraných prechodových charakteristík (S_{21}) mikropásikových DP filtrov na dielektrickom substráte RO4003C a RT/.

Z prenosových charakteristík na obrázku 8 môžeme konštatovať, že DP filtre realizované na obidvoch substrátoch RO4003C a RT/duroid5880 dosahujú pri medznej frekvencii 2,5 GHz požadovaný útlm -40 dB. Šírka frekvenčného pásma v ktorej dosahujú mikropásikové DP filtre útlm -40dB je u RO4003C 4,6 GHz a u RT/duroid5880 5,3 GHz. Ak zanedbáme pik pri mikropásikovom filtre na substráte RT/duroid5880, ktorý sa vyskytol na frekvencii 8 GHz, zvýši sa jeho šírka pásma až na hodnotu 7,5 GHz.

5. Záver

Na dielektrických materiáloch RO4003C a RT/duroid 5880 bol navrhnutý a simulovaný päť úrovňový mikropásikový DP filter s medznou frekvenciou 2,5 GHz. Boli prezentované simulácie prenosových charakteristík mikropásikových DP filtrov získaných pomocou návrhového softvéru HyperLynx 3D EM Designer od firmy Mentor Graphics. Výrobu filtrov na RO4003C a RT/duroid 5880 sme realizovali fotocestou, pričom sme motív filtra odleptávali v roztoku FeCl_3 . Vyrobené filtre boli odmerané pomocou VNA analyzátoru a ich prenosové charakteristiky boli porovnané so simuláciami. Bolo preukázané, že dielektrický materiál RT/duroid 5880 dosiahol v porovnaní s dielektrickým materiálom RO4003C lepšie výsledky a je vhodnejší pre návrh mikropásikového DP filtra pre frekvenčnú oblasť od DC do 13 GHz.

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. Jia-Sheng Hong, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications," John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2nd edition, New Jersey, 2011, 655.
2. ROGERS RT/duroid 5880: datasheet, dostupné na internete 28.5.2014,

http://psas.pdx.edu/AntennaConstructionLV2/RT-Duroid_5880_Properties.pdf

3. Žiga M., Liptaj M., "Design of the I-Q Demodulator for UWB Applications", SCYR 2012 - 12th Scientific Conference of Young Researchers - FEI TU of Košice, 2012, Košice.
4. Nikholas G. Toledo, "Practical Techniques for Designing Microstrip Tapped Hairpin Resonator Filters on FR4 Laminates", in Communications Engineering Division, Advanced Science and Technology Institute, Diliman Quezon City, Philippines 1101.
5. IE3D User`sManual: Release 14.1, Zeland Software, Inc., Máj 2008

Spoluautormi článku sú Ing. Kornel Ruman, prof. Ing. Alena Pietriková, CSc. z Katedry technológií v elektronike, Fakulty elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach.
