



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00281**

(22) Data de depozit: **01.04.2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28.09.2012** BOPI nr. **9/2012**

(41) Data publicării cererii:  
**28.02.2011** BOPI nr. **2/2011**

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MICROTEHNOLOGIE,  
STR.EROU IANCU NICOLAE NR.32B,  
BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:  
• **SAJIN GHEORGHE IOAN,  
STR.ION BERINDEI NR.11, BL.1-2, SC.C,  
ET.8, AP.89, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,  
RO;**  
• **CRĂCIUNOIU FLOREA,  
STR.BAIA DE ARIEȘ NR.9, BL.10, SC.A,  
ET.6, AP.96, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B,  
RO;**

• **MULLER ANDREI,  
ȘOS.ȘTEFAN CEL MARE NR.60, BL.41,  
SC.B, ET.7, AP.51, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **BUNEA ALINA CRISTINA,  
STR.MARIA GHICULEASA NR.48,  
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 7391288 B1;**  
**CHRISTOPHE CALOZ, TATSUO ITOH,  
ANDRE RENNINGS,  
"CRLH METAMATERIAL LEAKY-WAVE  
AND RESONANT ANTENNAS",  
IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION  
MAGAZINE, VOL.50, NO.5,  
OCTOBER 2008;**  
**US 7446712 B2**

(54) **METODĂ DE VARIERE CONTROLATĂ PRIN POLARIZARE  
MAGNETICĂ A FRECVENȚEI DE FUNCȚIONARE A  
DISPOZITIVELOR DE MICROUNDĂ ȘI UNDE MILIMETRICE**



# RO 126072 B1

1 Inventția se referă la o metodă de variere controlată a frecvenței de funcționare a  
2 dispozitivelor de microunde și unde milimetrice, cu celule cu linii de transmisiune cu  
3 propagare dextrogiră/levogiră (LTPDL), prin aplicarea unui câmp de polarizare magnetică  
având intensitate reglabilă.

5 Liniile de transmisiune cu propagare dextrogiră/levogiră (LTPDL) sunt cunoscute în  
literatura de specialitate internațională sub denumirea de Composite Right/Left-Handed  
7 Transmission Lines (CRLH - TL).

9 Dispozitivele cărora li se aplică prezenta metodă sunt cele de tip planar: stripline (linie  
de transmisiune cu bandă conductoare încastrată într-un substrat dielectric între două planuri  
11 de masă), microstrip (linie de transmisiune cu bandă conductoare depusă pe un substrat  
dielectric plasat pe un plan de masă), CPW (CoPlanar Waveguide - ghid de undă coplanar),  
13 precum și circuitelor planare în care pot fi folosite asemenea dispozitive. Metoda are apli-  
cabilitate în domeniul electronicii frecvențelor foarte înalte (microunde și unde milimetrice),  
15 cu precădere pentru identificarea în domeniul frecvențelor radio (RFID), în domeniul tele-  
comunicațiilor, al electronicii auto, pentru realizarea radarelor anticolidiziune și în orice  
17 aplicație de frecvență foarte înaltă care necesită varierea controlată a frecvenței de lucru a  
dispozitivelor ce compun circuitele aferente respectivei aplicații. Dispozitivele respective pot  
19 fi folosite atât ca elemente separate, cât și ca elemente integrate în circuitele de frecvențe  
foarte înalte.

21 Sunt cunoscute metode pentru varierea frecvenței de lucru a unor dispozitive de  
microunde și unde milimetrice. Toate aceste metode se aplica unor dispozitive de tip RH  
(Right Handed - dextrogire). În toate aceste construcții, varierea frecvenței de lucru, atunci  
23 când este cazul, se efectuează prin mijloace electronice, ceea ce complică realizarea  
dispozitivului și a circuitului în care acesta este utilizat. Unele construcții, de exemplu, prevăd  
25 soluții mecanice de tip MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems - sisteme  
microelectromecanice) cu comutatori și/sau actuatori, dar aceste soluții sunt, până la ora  
27 actuală, necorespunzătoare în ceea ce privește fiabilitatea procesului tehnologic și a  
produsului finit. În plus, toate construcțiile de dispozitive planare de microunde de tipul RH  
29 ocupă, pe substratul care le suportă, o suprafață cu aproximativ 30% mai mare decât  
dispozitivele LTPDL.

31 Problema tehnică pe care o rezolvă prezenta invenție constă în varierea frecvenței  
de lucru a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice, fără a folosi mijloace electronice  
33 sau MEMS-uri, simultan cu reducerea dimensiunilor acestor dispozitive.

35 Metoda de variere controlată, prin polarizare magnetică a frecvenței de funcționare  
a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice, se adresează componentelor cu celule cu  
linii de transmisiune cu propagare dextrogiră/levogiră (LTPDL), realizate în tehnică planară,  
37 pe un substrat feritic, pentru a beneficia de proprietățile remarcabile, la frecvențe foarte  
înalte, ale feritei polarizate magnetic. Metoda constă în parcurgerea următoarelor etape:

- 39 - alegerea substratului feritic și a parametrilor de material specifici;
- proiectarea geometriei structurilor de dispozitive cu celule LTPDL, în vederea  
41 depunerii pe substratul de ferită, considerând polarizarea magnetică nulă;
- calcularea, folosind frecvența inițială de lucru a dispozitivelor și parametrii de  
43 material ai feritei, a curbei de variație a valorii permeabilității efective a substratului de ferită  
la frecvențe foarte înalte și la polarizare magnetică nenulă;
- 45 - deducerea acelei valori a permeabilității efective, care asigură variația de frecvență  
de operare dorită, pentru dispozitivele realizate cu celule LTPDL, pe substratul feritic;
- 47 - deducerea intensității câmpului magnetic de polarizare, care asigură obținerea  
permeabilității efective, calculată anterior și, implicit, obținerea variației de frecvență de  
49 operare, dorită.

# RO 126072 B1

Această metodă poate fi exploatată industrial, prin implementarea acesteia în realizarea de dispozitive și circuite de frecvențe foarte înalte cu celule LTPDL, pentru acele aplicații ce necesită suprafețe cât mai reduse, simultan cu cerința unei varieri controlate a frecvenței de funcționare. Pot fi citate aici aplicațiile tip RFID (Radio Frequency IDentification - identificare prin radiofrecvență), radare auto, aplicații în rețele de telecomunicații de tip WLAN (Wireless Local Area Network - rețea locală fără fire) și, în general, în orice aplicație de frecvență foarte înaltă care face apel la producerea, emiterea, recepționarea și procesarea radiațiilor electromagnetice din benzile de microunde și unde milimetrice. Această metodă permite realizarea de dispozitive funcționale, utile pentru economisirea de spațiu, în circuitele din ce în ce mai miniaturizate, caracteristice electronicii actuale, simultan cu abilitatea de a funcționa pe mai multe frecvențe din domeniul lor de acord.	1 3 5 7 9 11
Avantajele invenției în raport cu stadiul actual al tehnicii constau în:	
- reducerea substanțială a dimensiunilor suprafeței active a dispozitivelor planare de frecvențe foarte înalte, prin folosirea celulelor LTPDL;	13
- abilitatea de a varia, în mod controlat, frecvența de lucru, prin aplicarea unui câmp magnetic de polarizare, ceea ce elimină dezavantajele menționate anterior;	15
- folosirea celulelor LTPDL, cu economia de spațiu ce le caracterizează, ținând de implementarea unor tehnici emergente moderne, caracteristice electronicii viitorului.	17
În continuare, se dă un exemplu de aplicare a metodei de variere controlată, prin polarizare magnetică, a frecvenței de lucru a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice cu celule LTPDL. Exemplul se referă la o antenă de microunde, realizată cu acest tip de celule. În legătură cu acest exemplu, fig. 1 și 2 reprezintă:	19 21
- fig. 1, variația permeabilității efective a unui substrat feritic în funcție de intensitatea unui câmp magnetic de polarizare reglabil, normal la suprafața substratului;	23
- fig. 2a ...d, variația calculată a frecvenței unei structuri de antene cu celule LTPDL în configurație ghid de undă coplanar pe substrat de ferită, pentru patru intensități ale câmpului magnetic de polarizare normal la suprafața substratului, cuprinse în plaja de valori 0... 0,26 T.	25 27
Invenția privind metoda de variere controlată, prin polarizare magnetică, a frecvenței de lucru a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice oferă soluția tehnică pentru depășirea limitărilor prezentate anterior, inerente dispozitivelor clasice dextrogire. Soluția constă în utilizarea celulelor LTPDL în configurație ghid de undă coplanar pe substrat de ferită și aplicarea acestui substrat feritic a unui câmp de polarizare magnetică cu intensitate reglabilă. Folosirea de celule LTPDL permite reducerea cu aproximativ 30% a suprafețelor ocupate de dispozitivele de frecvențe foarte înalte comparativ cu dispozitivele de tip dextrogir, iar aplicarea polarizării magnetice, substratului pe care sunt realizate aceste dispozitive, permite controlarea frecvenței de lucru între anumite limite, impuse de parametrii electrici (permitivitatea, $\epsilon_r$ , magnetizarea de saturație, $4\pi M_s$ și lățimea liniei de rezonanță giromagnetică, $\Delta H$ ) ai acestui substrat și de intensitatea câmpului magnetic aplicat, $H_{ap}$ . Este pentru prima dată când se prezintă o metodă de acord în frecvență a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice, care să îmbine următoarele două elemente:	29 31 33 35 37 39 41
(i) realizarea dispozitivelor cu celule LTPDL pe substrat feritic și	
(ii) varierea controlată a frecvenței de lucru, a acestor dispozitive, prin polarizare magnetică.	43
Curba din fig. 1 reprezintă variația permeabilității efective a unui substrat feritic, la care grosimea este mult mai mică decât celelalte două dimensiuni, atunci când este supus polarizării cu un câmp magnetic variabil, aplicat normal la suprafață.	45 47

# RO 126072 B1

1 Graficele din fig. 2a ...d reprezintă deplasarea calculată a frecvenței de radiație a unei  
2 antene LTPDL, în configurație ghid de undă coplanar, folosită pentru a demonstra  
3 funcționalitatea metodei de variere controlată, prin polarizare magnetică, a acestui parametru  
4 funcțional. Parametrul urmărit în această figură este  $S_{11}$ (dB), în funcție de variația câmpului  
5 magnetic de polarizare, între aceleași limite ca cele folosite pentru trasarea curbei din fig. 1.

Pentru graficele din fig. 2, parametrii sunt următorii:

7 (a)  $H_{\text{apl}} = 0 \text{ T}$ ;  $\mu_{\text{eff}} = 1$ ;  $S_{11} = -28 \text{ dB}$ ;

(b)  $H_{\text{apl}} = 0,055 \text{ T}$ ;  $\mu_{\text{eff}} = 0,986$ ;  $S_{11} = -20,26 \text{ dB}$ ;

9 (c)  $H_{\text{apl}} = 0,180 \text{ T}$ ;  $\mu_{\text{eff}} = 0,951$ ;  $S_{11} = -22,30 \text{ dB}$ ;

(d)  $H_{\text{apl}} = 0,260 \text{ T}$ ;  $\mu_{\text{eff}} = 0,917$ ;  $S_{11} = -17,70 \text{ dB}$ .

11 Datele de catalog ale substratului feritic folosit în exemplificarea de față sunt:  $4\pi M_s$   
12 =  $0,055 \text{ T}$ ,  $\epsilon_r = 13,5$  și  $\Delta H = 16 \text{ kA/m}$ . Câmpul magnetic aplicat a fost variat între limitele  $H_{\text{apl}}$   
13 =  $0 \text{ T}$  și  $H_{\text{apl}} = 0,26 \text{ T}$ . Frecvența de rezonanță a antenei a fost  $13 \text{ GHz}$ , și datorită acestei  
14 frecvențe ridicate, a fost aleasă funcționarea sub rezonanță. În aceste condiții,  
15 permeabilitatea efectivă a substratului,  $\mu_{\text{eff}}$ , s-a situat în domeniul  $1...0,921$ , așa cum se  
16 observă din fig. 1. Calculele de proiectare au fost efectuate cu ajutorul relațiilor din  
17 bibliografia prezentată în continuare.

Folosind, B. Lax și K. J. Button, *Microwave Ferrites and Ferrimagnetics*, Cap 4, SUA,  
19 McGraw-Hill BookComp Inc., 1962, precum și metodele de proiectare a celulelor LTPDL ce  
20 compun antena, conform lucrării G. Sajin, S. Simion, F. Craciunoiu, R. Marcelii CPW *Silicon*  
21 *Zeroth-Order Resonance Antenna Using Composite Right/left-handed Transmission*, pp.  
22 65...68, prezentată în cadrul conferinței "Mediterranean Microwave Symposium, MMS 2007",  
23 Budapesta, Ungaria, 14 -16 mai 2007, ISBN 978-963-87244-4-1, au fost obținute  
24 dimensiunile acesteia pentru un câmp de polarizare magnetică nul ( $H_{\text{apl}} = 0$ ) pentru care  
25  $\mu_{\text{eff}} = 1$ . Ulterior, antena a fost procesată pe substratul feritic, conform acestor dimensiuni și  
26 caracterizată cu ajutorul unui montaj standard pentru măsurarea parametrilor de distribuție.

27 Măsurarea inițială a frecvenței de rezonanță a antenei astfel obținută fost efectuată  
28 în absența polarizării magnetice a substratului feritic. Apoi a fost calculată intensitatea  
29 câmpului magnetic de polarizare necesar unei deplasări în frecvență de aproximativ Hz,  
30 valoarea acestei intensități fiind  $H_{\text{apl}} = 0,26 \text{ T}$ . Rezultatul se observă în setul de curbe din fig.  
31 2, care reprezintă deplasarea frecvenței de rezonanță  $\Delta f$  a antenei procesate pe substratul  
32 de ferită polarizată magnetic.

33 Secvența de aplicare a metodei de variere controlată, prin polarizare magnetică, a  
34 frecvenței de lucru a antenei de microunde, cu celule LTPDL, presupune următorii pași:

35 a) cunoscând aplicația în care urmează a fi utilizat dispozitivul (în cazul de față,  
36 antena) și, implicit, frecvența de lucru, sunt aleși parametrii de material ai substratului feritic.  
37 Parametrii care interesează sunt: magnetizarea de saturație,  $4\pi M_s$ , permitivitatea relativă,  
38  $\epsilon_r$ , și lățimea liniei de rezonanță giromagnetică,  $\Delta H$ ;

39 b) folosind relațiile de calcul indicate în literatura de specialitate mai sus amintită,

$$41 \quad \mu_{\text{eff}} = \frac{\mu'^2 - K'^2}{\mu'} \quad (1)$$

43 unde:

$$45 \quad \mu' = 1 + \frac{\omega_M \omega_L [\omega_L^2 - \omega^2 (1 - \alpha^2)]}{[\omega_L^2 - \omega^2 (1 + \alpha^2)]^2 + 4\omega^2 \omega_L^2 \alpha^2} \quad (2)$$

$$49 \quad K' = \frac{\omega_M \omega [\omega_L^2 - \omega^2 (1 + \alpha^2)]}{[\omega_L^2 - \omega^2 (1 + \alpha^2)]^2 + 4\omega^2 \omega_L^2 \alpha^2} \quad (3)$$

unde:	1
$\gamma 4\pi M_s  = \omega_M; \quad \gamma H_i  = \omega_L; \quad \alpha \approx \Delta H/2H_i$	(4) 3
în care:	3
$\Delta H =$ lățimea liniei de rezonanță giromagnetică;	5
$4\pi M_s =$ magnetizarea de saturație a substratului feritic;	5
$H_i =$ câmpul magnetic intern din substratul feritic. Pentru substraturile de ferită cu forme geometrice plane (în care una dintre dimensiuni este mult mai mică decât celelalte două), câmpul magnetic intern, $H_i$ , se calculează cu formula:	7
$H_i = H_{apl} - 4\pi M_s$	(5) 9
Curba de variație a permeabilității efective ( $\mu_{eff}$ ) a feritei a fost calculată și trasată pentru o anumită plajă de variație a unui câmp magnetic de polarizare uniform, aplicat normal la suprafața substratului feritic. Pentru valori ale câmpului magnetic de polarizare aflate sub rezonanța giromagnetică, permeabilitatea efectivă este subunitară ( $\mu_{eff} < 1$ ), iar pentru valori ale câmpului magnetic de polarizare aflate deasupra rezonanței giromagnetice, permeabilitatea efectivă este supraunitară ( $\mu_{eff} > 1$ ). În fig. 1 este prezentată curba de variație a permeabilității efective a unui substrat feritic cu parametrii de material prezentați mai sus, în funcție de intensitatea unui câmp magnetic de polarizare reglabil, normal la suprafața substratului. Datele inițiale de calcul, pentru obținerea acestei curbe, au fost: $4\pi M_s = 0,055$ T, $\epsilon_r = 13,5$ și $\Delta H = 16$ kA/m. Câmpul magnetic aplicat a putut fi variat între limitele $H_{apl} = 0$ T și $H_{apl} = 0,26$ T. În aceste condiții, permeabilitatea efectivă a substratului $\mu_{eff}$ s-a situat în domeniul 1...0,921.	11 13 15 17 19 21
c) A fost aleasă zona de lucru sub rezonanța giromagnetică. În general, pentru frecvențe din gama microundelor și pentru câmpuri magnetice cu intensități utile aplicațiilor uzuale, se preferă lucrul sub rezonanța giromagnetică, din cauză că nu presupune folosirea unor câmpuri magnetice de polarizare cu intensități mari, mai greu de obținut. În plus, relația dintre frecvența de lucru și magnetizarea de saturație a substratului feritic ales asigură pierderi mici în domeniul de funcționare dorit.	23 25 27
d) Cu ajutorul unor programe de calcul specializate (de exemplu, Matlab) și folosind datele din bibliografia amintită anterior, a fost proiectată geometria celulelor LTPDL, ce compun antena pe frecvența dorită, pentru situația în care câmpul magnetic de polarizare este nul ( $H_{apl} = 0$ T), caz în care permeabilitatea efectivă are valoarea $\mu_{eff} = 1$ . În această situație, frecvența de rezonanță a antenei se află la valoarea ei inițială, $f = 12,88$ GHz, în cazul de față.	29 31 33
e) La acest pas, reamintim că aplicând substratului feritic o polarizare magnetică ( $H_{apl} \neq 0$ ), se modifică parametrii de material ai acestuia și deci și parametrii funcționali ai antenei realizate pe el. Cunoscând deviația de frecvență dorită, se utilizează, într-o manieră complementară, programul Matlab, amintit anterior, pentru a calcula valoarea permeabilității efective $\mu_{eff}$ a substratului de ferită, necesară obținerii acestei modificări a frecvenței.	35 37
În final, fie din formulele accesibile din lucrările prezentate anterior, fie folosind graficul variației $\mu_{eff} = f(H_{apl})$ , trasat la pct. b, este dedusă intensitatea câmpului magnetic de polarizare $H_{apl}$ , necesar varierii dorite a frecvenței de rezonanță a antenei LTPDL. În fig. 2a...d, este prezentată frecvența de lucru a acestei structuri de antenă, calculată pentru situațiile în care câmpul magnetic aplicat a fost, succesiv, 0; 0,055, 0,18 și 0,26 T. Se remarcă obținerea rezonanțelor de lucru ale structurii de antenă pe frecvențele de, succesiv, 12,88, 12,96, 13,20 și, respectiv, 13,41 GHz. Deplasarea totală, calculată, în frecvență, a structurii de antenă analizate a fost $\Delta f = 530$ MHz.	39 41 43 45

# RO 126072 B1

1

## Revendicare

3

Metodă de variere controlată, prin polarizare magnetică, a frecvenței de funcționare a dispozitivelor de microunde și unde milimetrice, cu celule cu linii de transmisiune cu propagare dextrogiră/levogiră (LTPDL), **caracterizată prin aceea că** parcurge, succesiv, următoarele etape:

7

- alegerea substratului feritic și a parametrilor de material specifici;

9

- proiectarea geometriei structurilor de dispozitive cu celule LTPDL, în vederea depunerii pe substratul de ferită, considerând polarizarea magnetică nulă;

11

- calcularea, folosind frecvența inițială de lucru a dispozitivelor și parametrii de material ai feritei, a curbei de variație a valorii permeabilității efective a substratului de ferită la frecvențe foarte înalte și la polarizare magnetică nenulă;

13

- deducerea acelei valori a permeabilității efective, care asigură variația de frecvență de operare dorită, pentru dispozitivele realizate cu celule LTPDL, pe substratul feritic;

15

- deducerea intensității câmpului magnetic de polarizare, care asigură obținerea permeabilității efective, calculată anterior și, implicit, obținerea variației de frecvență de

17

operare dorită.

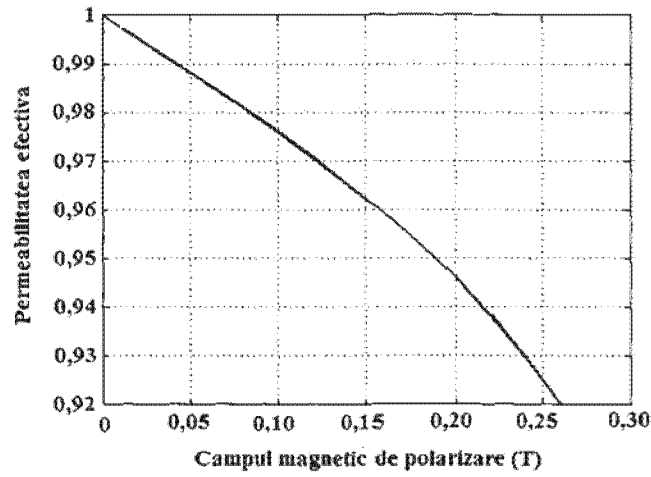


Fig. 1

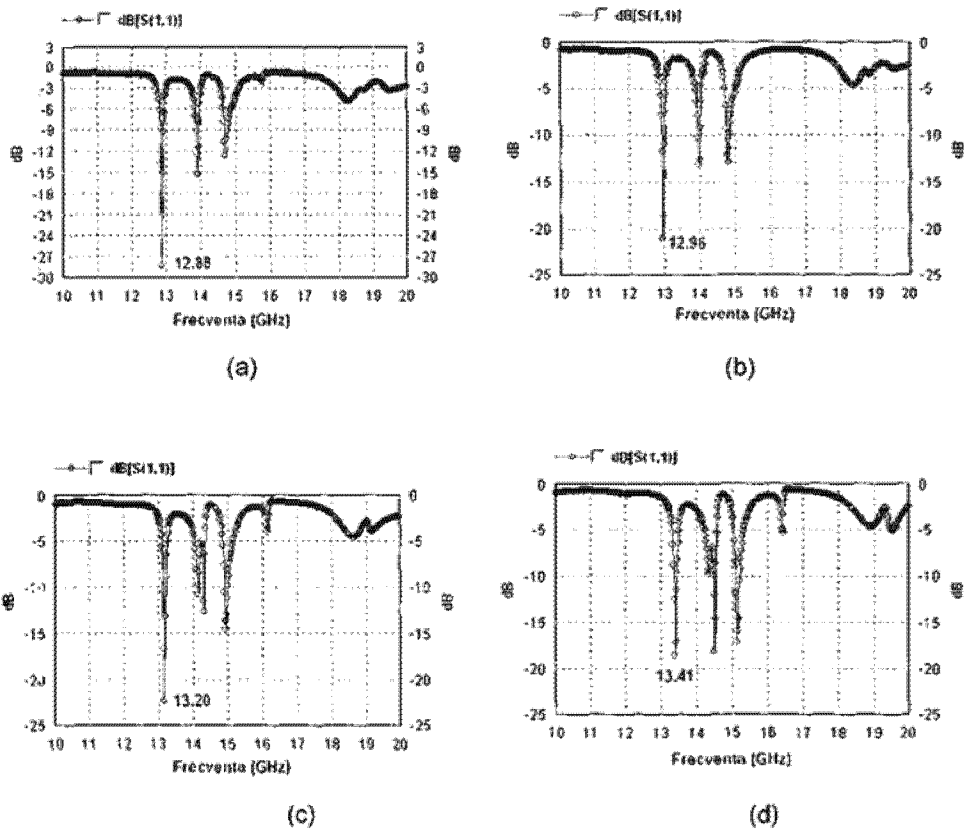


Fig. 2

