

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00679**

(22) Data de depozit: **12/11/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2023 BOPI nr. **5/2023**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE-IMT BUCUREȘTI,**
STR.EROU IANCU NICOLAE 126A,
VOLUNTARI, IF, RO

(72) Inventatori:
• **BUICULESCU VALENTIN,**
STR. ARH. ION BERINDEI NR.11, BL. 1-2,
SC.C, AP.88, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;
• **BĂRACU ANGELA MIHAELA,**
STR.AGATHA BĂRSESCU, NR.19, BL.V25,
SC.A, ET.4, AP.16, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **CONFIGURAȚII DE CIRCUIT DE ACORD ȘI METODE DE
MODIFICARE A FRECVENȚEI DE REZONANȚĂ PENTRU
STRUCTURI REZONANTE REALIZATE CU GHIDURI
INTEGRATE ÎN SUBSTRAT**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un circuit de acord și la metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat (SIW) terminate în scurtcircuit. Circuitul de acord, este alcătuit dintr-un circuit rezonant care utilizează ghiduri integrate în substrat ca mediu de transmisie și este terminat în scurtcircuit, având un singur port de semnal, la care se adaugă un grup (6) de $N \geq 1$ elemente de acord (7) care pot fi amplasate în unu sau mai multe planuri paralele cu peretele (5) de scurtcircuitare sau dispersate în apropierea acestuia. Acordul în frecvență al unui astfel de circuit, conform invenției, se efectuează, în funcție de tipul constructiv al acestuia, prin:

(I) îndepărtarea tijelor din metal sau a oricărui strat metalic sau bun conducător de electricitate din interiorul elementelor de acord (7) în care acestea au fost prevăzute, pentru conversia elementelor de acord active în elemente de acord inactive, sau prin

(II) metalizarea, formarea unei structuri rigide din pastă conductivă sau inserția unor tije metalice în interiorul elementelor de acord (7), dacă elementele metalice sau conductive, de orice fel, nu sunt prezente, sau cele pre-existente au fost îndepărtate anterior, pentru conversia elementelor de acord inactive sau

inactivate în elemente de acord active, folosind orice combinație posibilă între aceste elemente: câte unu, câte două, și așa mai departe, până la numărul maxim N de elemente din grup (6).

Revendicări: 5

Figuri: 3

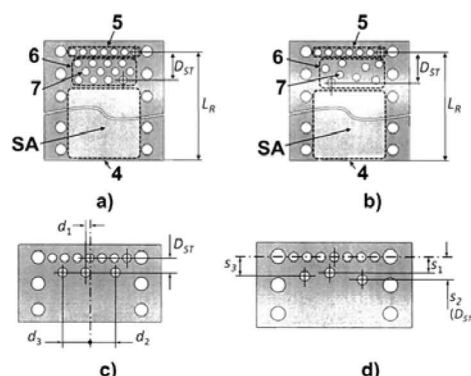
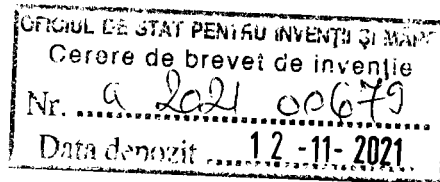


Fig. 2





24

Configurații de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat

Invenția se referă la configurarea circuitelor rezonante bazate pe linii de transmisiune de tip ghid de undă integrat în substrat (prescurtat SIW – substrate integrated waveguide) terminate în scurtcircuit, pentru a permite modificarea frecvenței de rezonanță a acestora. Structura de circuit propusă este destinată atât senzorilor rezonanți SIW, cât și altor aplicații ale circuitelor compatibile SIW, de exemplu în circuite de rejecție a semnalelor perturbatoare.

Este cunoscută utilizarea liniilor de transmisiune ca circuite rezonante a căror frecvență de rezonanță depinde de (i) geometria liniilor de transmisiune, (ii) proprietățile fizice ale materialelor dielectrice folosite ca suport fizic al conductoarelor din componența acestor linii [1], sau (iii) structuri, dispozitive mecanice, electronice, ori de altă natură, asociate liniilor de transmisiune [2]. Deoarece circuitele rezonante cu linii de transmisiune au (i) un singur port de semnal, funcționând prin reflexia semnalului incident, sau (ii) două porturi de semnal, cu funcționare prin transmisia semnalului incident, mijloacele tehnice utilizate pentru modificarea frecvențelor lor de acord sunt dependente de configurația acestora. O metodă de modificare a frecvenței de rezonanță pentru orice model de structură rezonantă constă în perturbarea condițiilor de propagare în interiorul liniei de transmisiune din alcătuirea acelei structuri prin (i) inserția în interiorul acesteia sau (ii) extragerea din aceasta a oricărui element metalic, sau din material dielectric cu proprietăți diferite de cele ale suportului dielectric inițial.

Dezavantajele soluțiilor constructive utilizate în stadiul actual al tehnicii pentru integrarea elementelor de acord în circuitele rezonante SIW constau în faptul că aceasta se bazează, de cele mai multe ori, pe folosirea unor tehnologii de fabricație și/sau asamblare care sunt complexe și costisitoare. În plus, majoritatea componente semiconductoare disponibile pentru a fi utilizate în circuitele de acord, sau pentru controlul acestora, nu sunt compatibile cu mediul de transmisiune SIW sau cu funcționarea în condiții ostile de mediu, cum ar fi temperaturile ridicate sau radiații ionizante intense. De asemenea, anumite componente electronice pasive [3] și dispozitive disponibile pentru ajustarea frecvenței [4] nu prezintă stabilitatea necesară la vibrații sau șocuri mecanice.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în adăugarea unei modalități simple de ajustare a frecvenței de rezonanță pentru circuitele rezonante și/sau senzorii rezonanți SIW cu un singur port de semnal. Conform invenției, circuitele rezonante și/sau senzorii rezonanți în configurație SIW cu un singur port de semnal sunt convertite în circuite rezonante acordabile în frecvență prin amplasarea unui număr de N elemente de acord în apropierea peretelui de scurtcircuitare al circuitului rezonant. Prezența acestor elemente de acord modifică lungimea electrică echivalentă a circuitului rezonant SIW în funcție de numărul, poziția și modul în care acestea sunt asociate în structura circuitului rezonant și, în mod corespunzător, frecvența de rezonanță a circuitului.

Avantajele invenției în raport cu stadiul actual al tehnicii:

- elementele de acord sunt realizate prin procedee tehnologice similare celor folosite pentru obținerea găurilor metalizate care alcătuiesc pereții laterali și de scurtcircuitare ai circuitelor rezonante SIW;
- ajustarea frecvenței de rezonanță a circuitelor rezonante se poate efectua chiar și de către utilizatorii acestor circuite, fără utilizarea unor echipamente complexe;
- permite refacerea oricărei combinații anterioare a elementelor de acord active;
- elementele de acord care fac obiectul acestui brevet pot fi adăugate în structura circuitelor rezonante și/sau senzorilor rezonanți SIW, dar prevăzuți cu porturi de tip fantă [2], linie microstrip [5], sau linie coplanară [6];
- este posibilă utilizarea circuitelor rezonante acordabile în condiții de mediu ostile, de exemplu în prezența vibrațiilor, șocurilor mecanice, a radiațiilor electromagnetice și/sau ionizante.

În continuare este descris un exemplu de realizare a invenției privind configurația structurii propuse pentru acordul în frecvență al senzorilor rezonanți cu ghiduri integrate în substrat și metodele folosite pentru modificarea frecvenței de funcționare a acestora, în legătură cu Figura 1 - Figura 3 care prezintă:

Figura 1: Descrierea unui segment de circuit SIW (a) și elementele caracteristice conversiei acestuia într-un circuit rezonant SIW cu un singur port de semnal (b).

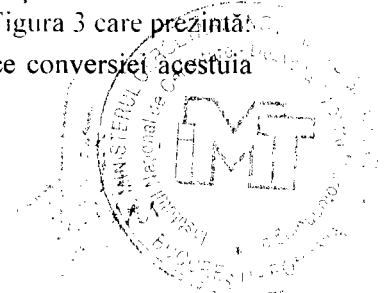


Figura 2: Variante de circuite rezonante SIW și/sau senzori rezonanți SIW acordabile în frecvență, conform invenției, cu elemente de acord amplasate ordonat față de planul peretelui de scurtcircuitare (a) sau repartizate neuniform în apropierea acestuia (b); detalii cu distanțele dintre centrele elementelor de acord față de axul longitudinal (c) și față de peretele de scurtcircuitare al circuitului rezonant (d).

Figura 3: Configurații specifice ale modelelor ea1 (a), ea22 (b) ea3 (c), ea4 (d) de elemente de acord.

Corpul unei structuri SIW este alcătuit dintr-un suport (1) de formă paralelipipedică, realizat din material dielectric solid cu pierderi reduse în gama frecvențelor de funcționare, acoperit pe cele două fețe late cu planurile de masă metalice (2) și (2') care au rolul de pereți principali ai SIW, iar șirurile de găuri (3) și (3'), metalizate sau metalice, alcătuiesc pereții laterali ai SIW; accesul semnalului de microunde se face prin porturile (4) și (4') aflate la capetele structurii (Figura 1.a).

Un circuit rezonant SIW cu un singur port este obținut prin înlocuirea unuia dintre porturi, de exemplu (4') în Figura 1.b, cu peretele de scurtcircuitare (5) alcătuit dintr-un număr suficient de găuri metalizate sau metalice amplasate la distanța L_R (lungimea fizică a rezonatorului) față de planul portului de semnal (4) pentru ca radiația electromagnetică produsă prin această structură discontinuă să fie cât mai redusă. Distanța L_R se poate alege astfel încât modulul impedanței de intrare la portul de semnal (4) să aibă, la frecvența de rezonanță impusă, o valoare fie cât mai apropiată de zero, fie să tindă spre infinit, în funcție de cerințele specifice aplicației în care este utilizat circuitul rezonant.

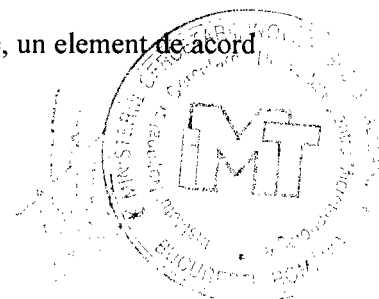
Conform invenției, un circuit rezonant cu un singur port de semnal devine acordabil în frecvență prin amplasarea unui grup (6) de N ($N \geq 1$) elemente de acord (7) în apropierea peretelui de scurtcircuitare (5), deoarece funcționarea circuitului rezonant acordabil se bazează pe modificarea lungimii sale electrice echivalente în funcție de dimensiunile, poziția în interiorul SIW și modul de asociere al celor N elemente de acord (7) definite în circuitul rezonant, iar oricare dintre elementele de acord (7) poate fi îndepărtat și/sau reconstituit, așa cum se va arăta în continuare, având ca rezultat modificarea corespunzătoare a frecvenței de rezonanță a circuitului rezonant acordabil SIW. Elementele de acord (7) pot fi ori aliniate pe unul sau mai multe rânduri față de peretele de scurtcircuitare (5), ca în Figura 2.a, ori dispersate în apropierea peretelui de scurtcircuitare (5), ca în Figura 2.b.

Senzorii rezonanți în structură SIW cu un singur port de semnal au în majoritatea cazurilor configurații similare circuitelor rezonante descrise mai sus, deosebindu-se de acestea prin prezența unor elemente structurale, poziționate în interiorul zonei notată cu SA în Figura 2.a și în Figura 2.b și care le definește funcția de senzori, de exemplu orificii în corpul sensorului rezonant pentru pătrunderea gazelor ori a vaporilor de substanțe volatile, în cazul senzorilor chimici [5], sau chiar întreg corpul sensorului rezonant, pentru senzorii de temperatură [7]. De aceea, aplicarea procedurii de conversie a senzorilor rezonanți în senzori rezonanți acordabili în frecvență se face prin adăugarea elementelor de acord (7) amplasate de regulă în afara zonei notată cu SA .

În funcție de aplicația în care sunt utilizate circuitul rezonant acordabil sau sensorul rezonant acordabil, portul de semnal (4) poate fi înlocuit cu un alt tip de port prin care accesul semnalului se face, de exemplu, printr-o fantă de cuplaj cu alt circuit SIW, conform modelului descris în [2], o linie microstrip [5] sau o linie coplanară [6].

Numărul maxim disponibil al frecvențelor de rezonanță pentru o structură de circuit rezonant cu N elemente de acord este 2^N , unde valoarea numărului N este limitată superior, de cele mai multe ori, doar de considerente practice și/sau tehnologice. Totuși, pentru reprezentarea grafică a modelelor de circuite rezonante acordabile descrise în continuare s-a ales $N=3$, deoarece acest număr permite ca figurile care reprezintă structurile respective să fie mai simple, fără să afecteze generalitatea procedurii propus pentru modificarea frecvenței de rezonanță a acestora. Datorită acestei simplificări, dimensiunile care definesc complet geometria circuitului rezonant cu trei elemente de acord sunt distanțele L_R și D_{ST} , cărora li se adaugă: (i) distanțele dintre fiecare element de acord (7) și axul longitudinal al circuitului rezonant SIW notate d_1, d_2, d_3 dacă elementele de acord (7) sunt amplasate ordonat pe un singur rând (Figura 2.c), la care se adaugă (ii) distanțele dintre elementele de acord (7) față de peretele de scurtcircuitare (5), notate s_1, s_2, s_3 , dacă elementele de acord (7) sunt dispersate în apropierea peretelui de scurtcircuitare (5), ca în Figura 2.d.

În funcție de structura sa internă, determinată de procesul tehnologic de realizare, un element de acord (7) poate fi activ (EAA) sau inactiv/ori inactivat (EAI), după cum urmează:



- ea1 modelul EAA1 constă dintr-o gaură străpunsă (8) și metalizată pe toată suprafața interioară astfel încât metalizarea este conectată electric cu ambele planuri de masă ale structurii SIW (Figura 3.a);
- ea2 modelul EAA2 constă dintr-o gaură străpunsă în care se introduce o tijă metalică ori un tronson de conductor electric (9) având diametrul egal cu diametrul găurii și ambele capete lipite la planurile de masă ale SIW cu aliaj cu temperatură redusă de topire, pentru a forma meniscurile (10) și (10') (Figura 3.b);
- ea3 modelul EAA3 constă dintr-o gaură străpunsă în care se injectează o cantitate suficientă de pastă conductivă electric, atât pentru a umple gaura străpunsă cât și pentru a se extinde peste planurile de masă (2) și (2') ale SIW, după care formează structura rigidă (11) prin aplicarea unui tratament termic adecvat, ceea ce permite obținerea unui contact electric bun cu ambele planuri de masă ale structurii SIW (Figura 3.c);
- ea4 modelul de element de acord inactiv sau inactivat (EAI) constă dintr-o gaură străpunsă (12) în interiorul căreia nu există structuri metalice sau straturi din materiale bune conducătoare de electricitate (Figura 3.d), ori acestea au fost îndepărtate anterior prin (i) folosirea unei mașini de găurit sau de frezat căreia i se atașează un burghiu adaptat tipului de material care alcătuiește suportul dielectric (1) al SIW și cu un diametru care permite îndepărtarea completă a acestora, ori (ii) prin extragerea tijei metalice sau a tronsonului de conductor din cupru din interiorul EAA2.

Conform invenției, procedeele disponibile pentru modificarea frecvenței de rezonanță a unui circuit rezonant SIW cu un singur port de semnal constau în:

- conversia EAA selectate în EAI prin îndepărtarea metalizării, pastei conductive sau a tijei metalice din interiorul acestora, ca în Figura 3.d, sau
- conversia fiecărui EAI selectat în EAA, folosind unul dintre procedeele tehnologice descrise anterior, prin (i) metalizare interioară, ca în Figura 3.a, (ii) formarea unei structuri rigide de pastă conductivă, ca în Figura 3.c sau (iii) inserția unei tije metalice și lipirea ambelor capete ale acesteia la planurile de masă ale SIW, ca în Figura 3.b, dacă elementele metalice sau conductive, de orice fel, nu sunt prezente în interiorul EAI, sau cele preexistente au fost îndepărtate anterior.

Procedeele enumerate pot fi aplicate asupra EEA și/sau EAI dintr-un circuit rezonant SIW cu un singur port de semnal, prin combinarea acestora câte unul, câte două, și așa mai departe, până la cuprinderea tuturor elementelor de acord existente, în funcție de cerințele impuse pentru modificarea frecvenței de rezonanță a acestuia.

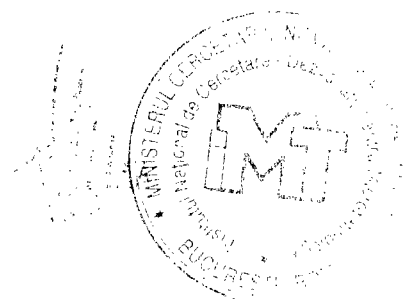
În cazul circuitelor rezonante SIW de tip circuit imprimat care nu au fost prevăzute prin construcție cu o structură proprie de acord conform brevetului, aceasta poate fi adăugată ulterior, după cum urmează:

- se stabilesc, prin proiectare, atât numărul de elemente mecanice de acord (7) cât și pozițiile acestora față de axul longitudinal al SIW și față de peretele de scurtcircuitare al circuitului rezonant, conform unuia dintre modelele prezentate în Figura 2;
- în structura SIW a circuitului rezonant se realizează toate elementele de acord (7) ca găuri străpunse (sau elemente de acord de tip EAI), ca în Figura 3.d, în pozițiile stabilite la pasul anterior, prin procese compatibile cu tipul tehnologic al structurii SIW;
- în fiecare dintre EAI selectate conform planului de frecvențe de acord, se realizează câte un EAA folosind unul dintre procedeele ea1, ea2 sau ea3, în funcție de compatibilitatea acestora cu tehnologia de realizare a circuitului SIW;
- conversia oricărui EEA într-un EAI se efectuează conform procedurii ea4, folosind o tehnologie compatibilă cu modul de realizare a EAA.



Bibliografie

- [1] R.E. Collin, "*Foundations for microwave engineering*", John Wiley & Sons, 2007
- [2] V. Buiculescu, R. Rebigan, "Procedeu și structură de circuit pentru modificarea frecvenței de rezonanță a circuitelor rezonante cu ghiduri de undă integrate în substrat", cerere de brevet nr. A/00575 (Romania) depusă la OSIM la 19 septembrie 2019
- [3] D. Barrera, G.H. Huff, "Analysis of a variable SIW resonator enabled by dielectric material perturbations and applications", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. MTT-61, no. 1, pp. 225-233, Jan. 2013
- [4] V. Buiculescu, I. Giangu, A. Ștefănescu, M. Pășteanu, "Metodă și dispozitiv mecanic de acord pentru obținerea reactanțelor variabile în interiorul componentelor realizate în tehnica ghidurilor integrate în substrat", cerere de brevet nr. A/00433 (Romania) depusă la OSIM la 15 iunie 2016
- [5] H. El Matbouly, N. Boubekour, F. Domingue, "Passive microwave substrate integrated cavity resonator for humidity sensing", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. MTT-63, no. 12, pp. 4150-4156, decembrie 2015
- [6] Z. Wei, J. Huang, J. Li, J. Li, X. Liu, X. Ni, "A compact double-folded substrate integrated waveguide re-entrant cavity for highly sensitive humidity sensing", *Sensors*, vol. 19, no. 15, p. 3308, iulie 2019
- [7] Q. Tan, Y. Guo, L. Zhang, F. Lu, H. Dong, J. Xiong, "Substrate integrated waveguide (SIW)-based wireless temperature sensor for harsh environments", *Sensors*, vol. 18, no. 5, p. 1406, mai 2018



Revendicări

1. Configurație de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat (sau SIW), caracterizate prin aceea că, într-un circuit rezonant care utilizează SIW ca mediu de transmisiune și este terminat în scurtcircuit, având un singur port de semnal, este adăugat un grup (6) de $N \geq 1$ elemente de acord (7) care pot fi amplasate (i) într-unul sau mai multe planuri paralele cu peretele de scurtcircuitare (5), ca în Figura 2.a și Figura 2.c, ori (ii) dispersate în apropierea acestui perete, ca în Figura 2.b și Figura 2.d.
2. Configurație de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat, conform revendicării 1, caracterizate prin aceea că, pentru a obține numărul maxim posibil de frecvențe de acord pentru configurația de circuit din Figura 2.a, toate distanțele între centrele elementelor de acord (7) din grupul (6) și axul longitudinal al circuitului rezonant SIW, notate de la d_1 la d_3 în structura folosită ca exemplu în Figura 2.c, trebuie să difere între ele.
3. Configurație de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat, conform revendicărilor 1-2, caracterizate prin aceea că metodele de modificare a frecvenței de rezonanță ale oricărui model de circuit rezonant din Figura 2 constau în (i) conversia elementelor de acord active, ale căror modele sunt reprezentate în Figura 3.a, Figura 3.b și Figura 3.c, în elemente de acord inactive, prin îndepărtarea metalizării, a tijei metalice sau a pastei conductive din interiorul acestora, ca în Figura 3.d, sau (ii) conversia din elemente de acord inactive sau inactivate din Figura 3.d în elemente de acord active prin realizarea unei metalizări (8), inserția unei tije metalice (9) în interiorul acestora și lipirea ambelor capete ale tijei la planurile de masă ale SIW, sau formarea structurii rigide (11) din pastă conductivă electric în interiorul acestora, ca în Figura 3.a, Figura 3.b și Figura 3.c. Elementele de acord care fac obiectul conversiilor pot fi selectate conform tuturor combinațiilor posibile între acestea – câte unul, câte două, și așa mai departe, până la selecția posibilă a tuturor elementelor de acord – pentru a corespunde unui plan de frecvențe de acord dat, deoarece, din punct de vedere tehnologic, structura propusă permite conversia oricărui element de acord activ într-un element de acord inactiv (sau inactivat), fiind posibilă și conversia inversă.
4. Configurație de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat, conform revendicărilor 1-3, caracterizate prin aceea că o structură de acord, alcătuită dintr-un grup (6) de elemente de acord (7), poate fi adăugată ulterior unor circuite rezonante SIW care nu au fost prevăzute prin construcție cu o astfel de structură proprie, prin stabilirea numărului de elemente mecanice de acord (7) și a pozițiilor acestora față de axul longitudinal al SIW și față de peretele de scurtcircuitare al circuitului rezonant, conform unuia dintre modelele prezentate în Figura 2, urmată de realizarea grupului (6) de găuri străpunse (12), de tip EAI (Figura 3.d), în pozițiile stabilite prin proiectare, folosind procese compatibile cu tipul tehnologic al structurii SIW. Unul sau mai multe dintre elementele de acord inactive (12), selectate conform unui plan de frecvențe de acord, pot fi apoi convertite în elemente de acord active folosind unul dintre procedeele ea1, ea2 sau ea3, în funcție de compatibilitatea acestora cu tehnologia de realizare a circuitului SIW.
5. Configurație de circuit de acord și metode de modificare a frecvenței de rezonanță pentru structuri rezonante realizate cu ghiduri integrate în substrat, conform revendicărilor 1-4, caracterizate prin aceea că portul de semnal SIW (4) poate fi și de tip fantă de cuplaj cu alt circuit SIW, o linie microstrip sau o linie coplanară.



Desene explicative

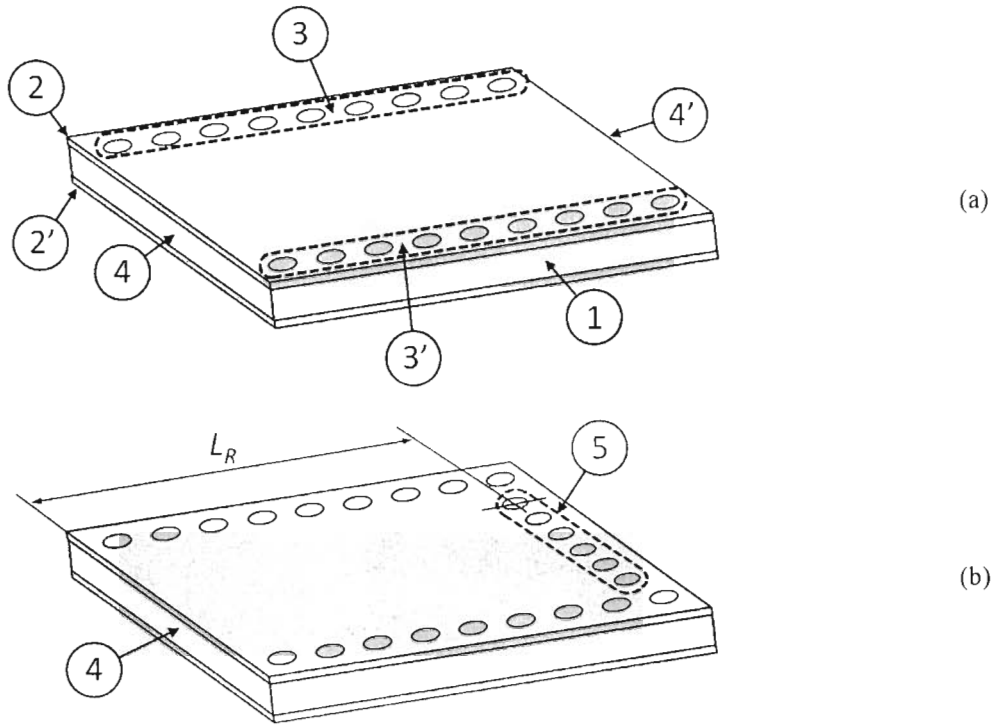


Figura 1

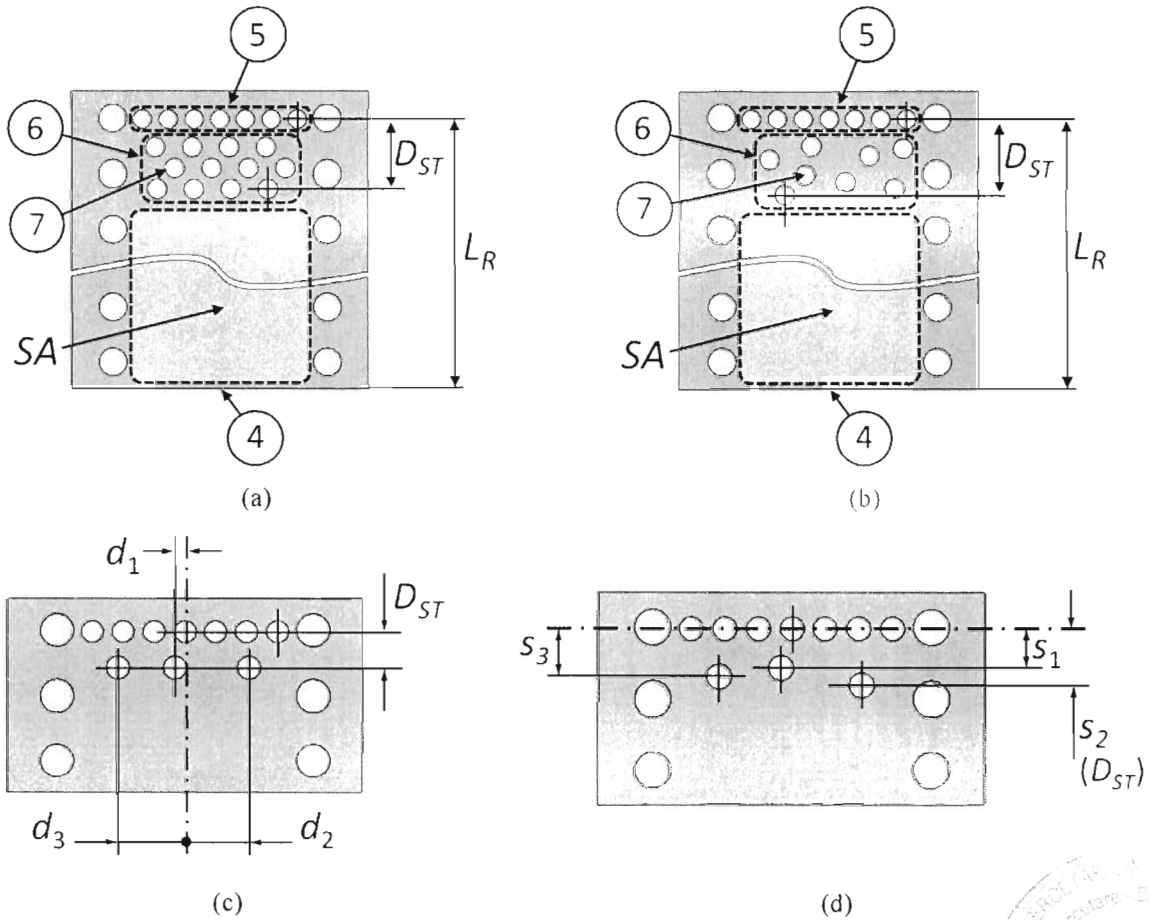


Figura 2



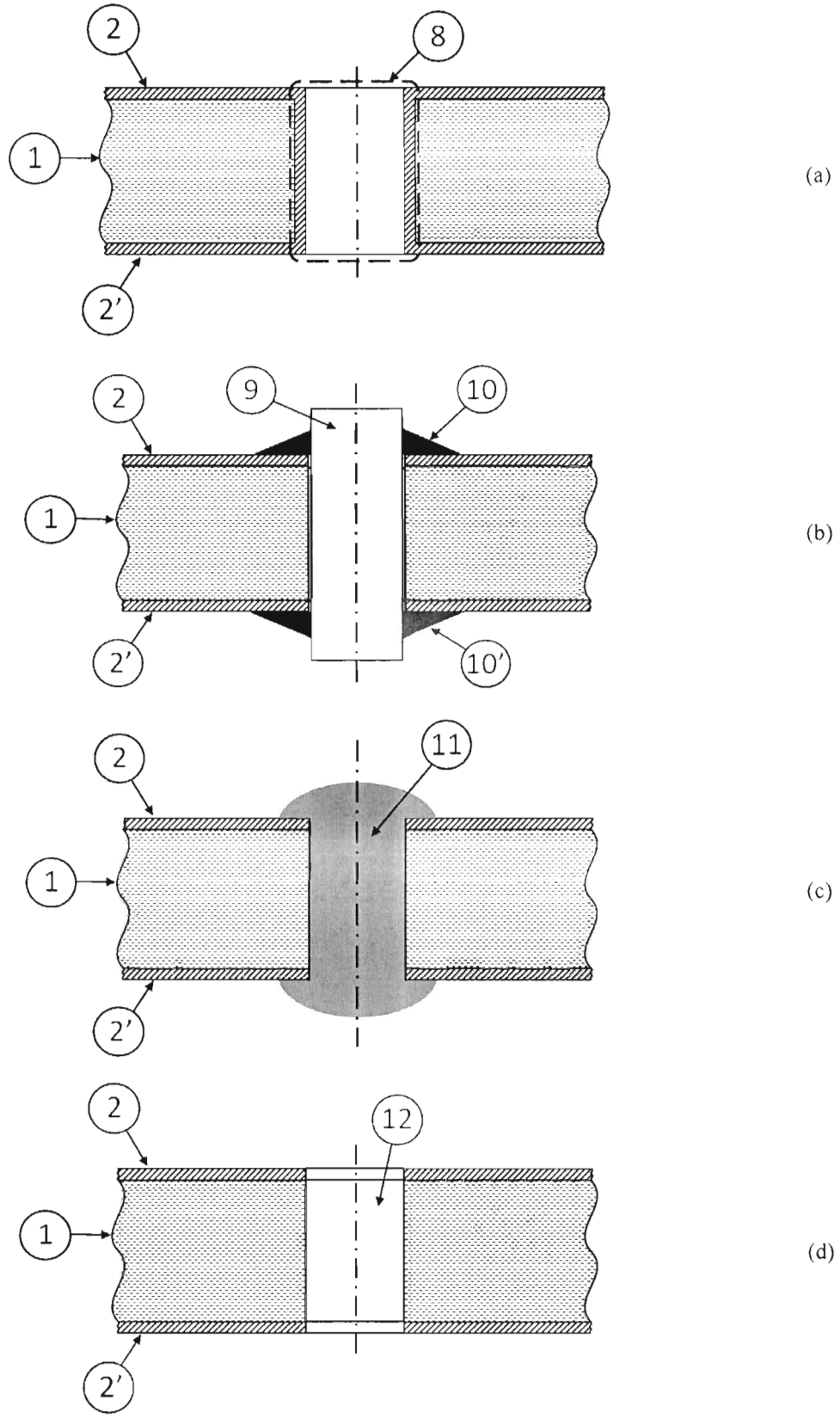


Figura 3

