



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2015 00843**

(22) Data de depozit: **16/11/2015**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/12/2017** BOPI nr. **12/2017**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2016 BOPI nr. **5/2016**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE
AEROSPAȚIALĂ "ELIE CARAFOLI" -
INCAS, BD.IULIU MANIU NR.220,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **ENCIU DANIELA, STR. TOPILELE NR. 3,
COMUNA CURCANI, CL, RO;**
• **URSU IOAN, STR.LIVIU REBREANU
NR.20, BL.A 6, SC.4, ET.3, AP.45,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **TUĐOȘE MIHAI,
STR. HORIA MACELARIU NR. 29-31,
BL. XI/3, AP. 4, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 7024315 B2; WO 2015089604;
C. RUGINĂ, A. TOADER,
VICTOR GIURGIUTIU,
"THE ELECTROMECHANICAL
IMPEDANCE METHOD FOR STRUCTURAL
HEALTH MONITORING OF THIN
CIRCULAR PLATES", PROCEEDING OF
THE ROMANIAN ACADEMY, VOL. 15,
PP. 272-282, 2014; C. LIANG, F. P. SUN,
C. A. ROGERS, "COUPLED
ELECTRO-MECHANICAL ANALYSIS OF
ADAPTIVE MATERIAL SYSTEMS -
DETERMINATION OF THE ACTUATOR
POWER CONSUMPTION AND ENERGY
TRANSFER", JOURNAL OF INTELIGENT
MATERIAL SYSTEMS AND STRUCTURES,
VOL. 5, PP. 12-20, 1994**

(54) **PROCEDEU COMPLEX DE IDENTIFICARE ON-LINE
A DEFECTELOR MECANICE ÎN SPECTROSCOPIA
IMPEDANȚEI ELECTROMECHANICE CU EVITAREA
DIAGNOZELOR FALSE**



1 Invenția de față se referă la un procedeu de monitorizare și identificare a defectelor
de origine mecanică, în structuri metalice sau compozite, în principal aerospațiale și spațiale,
3 dar aplicabil și în structuri de altă natură, supuse în mod natural oboselii și îmbătrânirii:
clădiri, poduri, centrale energetice etc.

5 Metoda nedistructivă și ușor de implementat a spectroscopiei impedanței
electromecanice (SIEM), propusă în lucrarea de pionierat **Liang, C; Sun, F. P.; Rogers, C.**
7 **A., *Coupled electro-mechanical analysis of adaptive material system - determination***
8 ***of the actuator power consumption and system energy transfer, Journal of Intelligent***
9 ***Material Systems and Structures, vol. 5, 1994, pp. 12-20***, a devenit o direcție fundamen-
tală de cercetare și aplicații în monitorizarea on-line a sănătății structurilor (structural health
11 monitoring). Metoda constă în utilizarea unor senzori activi piezoelectrics, subțiri și ieftini,
distribuiți în structura monitorizată, capabili să genereze unde elastice dirijate (unde Lamb),
13 pentru identificarea defecțiunilor structurilor încă din faza incipientă. Aceste unde, numite și
unde de placă ("plate waves"), sunt dirijate în sensul că se propagă, cu pierderi mici de
15 energie, în plăcile solide, fiind astfel proprii pentru investigarea suprafețelor acestora până
la o adâncime (grosime) compatibilă cu lungimea de undă. Viteza de propagare depinde de
17 caracteristicile materialului: modulul lui Young, coeficientul Poisson, densitate (**Rugina C.,**
Toader A., Giurgiutiu V., Ursu I., *The electromechanical impedance method for*
19 ***structural health monitoring of thin circular plates, Proceedings of the Romanian***
Academy, Series A, Mathematics, Physics, Technical Sciences, Information Sciences,
21 **2014, vol. 15, no. 3, pp. 272-282**), dar și de frecvența generată. Lungimea de undă a
vibrațiilor este dată de raportul dintre viteza de propagare și frecvență. Astfel, pentru o placă
23 subțire de aluminiu, viteza undelor longitudinale este 6320 m/s. Pentru frecvența de 2 MHz,
generată de senzorii piezoelectrics, lungimea de undă este de aproximativ 3 mm. La
25 frecvențe de ordinul GHz-ilor, lungimea de undă este de ordinul micrometrilor, comparabilă
cu dimensiunea defectelor incipiente. La asemenea dimensiuni, metodele defectoscopice
27 convenționale nu sunt eficiente.

Principiul metodei SIEM este următorul: senzorii activi piezoelectrics au forma unor
29 plasturi ("patches", "wafers") de material piezoelectric, subțiri, de ordinul zecimilor de
milimetru, și se lipesc cu adezivi specifici pe suprafața ce urmează a fi monitorizată. Are loc
31 astfel o interacțiune între rigiditatea mecanică a structurii monitorizate și rigiditatea mecanică
a sensorului activ. Metoda SIEM constă în utilizarea spectrului impedanței electromecanice
33 complexe rezultate $Z(\omega)$, a sensorului activ piezo lipit pe structură, numită și "semnătură"
a structurii, ca indicator al sănătății acesteia. Spectrul de impedanță electromecanică se
35 măsoară cu un aparat dedicat, numit analizor de impedanță (sau cu alte tehnici de cost
redus), în regim dinamic de frecvență unghiulară ω , ca raport între tensiunea de excitație
37 aplicată $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ [V] și curentul de răspuns $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$ [A], generat ca efect
piezoelectric (fig. 1); ϕ este defazajul. Plecând de la lucrarea lui Liang ș. a., acest raport,
39 numit impedanță electromecanică, este o spectrogramă complexă (justificând astfel
acronimul SIEM) și are expresia (**Ursu, L, Giurgiutiu V., Toader A., "Towards spacecraft**
41 ***applications of structural health monitoring***", **INCAS Bulletin, vol 4, no. 4, 2012,**
pp. 111-124):

$$Z(\omega) = \frac{V(\omega)}{I(\omega)} = \frac{1}{i\omega C} \left(1 - k_{31}^2 \frac{K_s(\omega)}{K_s(\omega) + K_p(\omega)} \right)^{-1} \quad (1)$$

RO 131152 B1

$K_s(\omega)$ este rigiditatea complexă a structurii monitorizate, $K_p(\omega)$ este rigiditatea complexă a senzorului, C este capacitatea electrică a senzorului, k_{31} este factorul de cuplaj electromecanic, i este unitatea imaginară. Partea reală a spectrului, $\text{Re } Z(\omega)$, este sensibilă, în zona frecvențelor mari, de ordinul GHz-ilor, la variații structurale foarte mici, de ordinul micrometrilor, nivel la care se situează defectele incipiente (Sun F. P., Chaudhry Z., Liang C, and Rogers, C. A. (1995), "Truss structure integrity identification using PZT sensor-actuator", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 6, 1995, pp. 134-139). În funcție de mărimea defectului, benzi de frecvențe de ordin mai redus pot fi relevante. La nivelul defectelor de ordinul milimetrilor, devin relevante benzi de frecvențe de ordinul kHz-ilor.

În **US 7024315 B2**, *In situ structural health monitoring, diagnostics and prognostics system using thin piezoelectric sensors*, din 4 aprilie 2006, autor V. Giurgiutiu, aplicarea metodei SIEM pentru identificarea defectelor se bazează pe utilizarea conjugată a unei rețele de senzori activi piezo, simultan emițători și receptori de semnale duale, electrice și Lamb, deflectate, reflectate și transmise la și de la defect. Prezența defectului se deduce apoi pe baza unor calcule algebrice și a utilizării rețelelor neuronale, fără a se da detalii.

Dezavantajele tuturor acestor metode, mai mult sau mai puțin aplicabile, sunt în legătură cu complexitatea procedurilor de identificare, complexitate care comportă atât timp de calcul crescut, cât și risc crescut de eșec (de furnizare de predicții greșite și de alarme false).

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este detectarea apariției defectelor structurale, cu evitarea diagnozelor false.

Procedeul de monitorizare și identificare a defectelor de origine mecanică, structurale, reale, de tip fisuri incipiente, în cadrul metodei spectroscopiei impedanței electromecanice de monitorizare on-line a stării de sănătate a structurilor, conform invenției, este caracterizat prin aceea că:

- se definește structură "sănătoasă", prin semnătura sa, spectrograma $\text{Re}(Z(\omega))$, care se obține și se validează off-line, în condiția de referință a "temperaturii camerei", iar pe această spectrogramă, într-un interval dat de frecvențe, de ordinul zecilor de kHz, se identifică un număr N de vârfuri de rezonanță;

- se detectează apariția unor fisuri (defecte) în structură, prin creșterea numărului de vârfuri de rezonanță în intervalul dat de frecvențe la N' , $N' > N$, prin desplicarea unora dintre cele N vârfuri ce caracterizează structura sănătoasă;

- se utilizează un algoritm de numărare a maximelor locale pe spectrogramă, care depășesc un prag minim dat pentru punerea în evidență a creșterii numărului de vârfuri de rezonanță;

- se procedează la marcarea oricărei astfel de creșteri pe interfața de ieșire a sistemului de monitorizare (on-line) cu indicatorul "defect mecanic incipient în zona senzorului piezo S_i ".

Procedeul de monitorizare și identificare a defectelor de origine mecanică, conform invenției, mai constă în detectarea "falselor" defecte, în cadrul metodei spectroscopiei impedanței electromecanice de monitorizare on-line a stării de sănătate a structurilor, defecte definite prin modificări minore și de regulă reversibile pe semnătura $\text{Re}(Z(\omega))$, prin consemnarea modificărilor date de prezența radiațiilor sau afectarea mai mult sau mai puțin accentuată a amplitudinilor, și deplasarea spre stânga a vârfurilor de rezonanță, pentru temperaturi pozitive crescute, și spre dreapta, pentru temperaturi negative, utilizând un algoritm de evaluare a coordonatelor vârfurilor de rezonanță (abscise și ordonate). Orice astfel de modificare este marcată la interfața de ieșire a sistemului de monitorizare (on-line) cu indicatorul "defect fals în zona senzorului piezo S_j ".

RO 131152 B1

1 Avantajele în raport cu oricare altă metodă defectoscopică sunt legate de implemen-
3 tarea în timp real și on-line, pe un sistem hardware-software de monitorizare a stării de sănă-
5 tate a structurilor, monitorizarea în timp a sistemului, prin citirea periodică a informației date
7 de senzori, evidențierea comportamentului de tip „defect” și analiza statistică a datelor, în
vederea evaluării periodice a stării structurii, în sensul capabilității acesteia de a realiza func-
ționalitatea operațională. Beneficiile unui astfel de sistem se traduc în proiectarea de structuri
inteligente, implicând, printre altele, managementul prognozei duratei de viață, și reducerea
costurilor de mentenanță.

9 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...7, ce
reprezintă:

11 - fig. 1, configurația de bază a metodei spectroscopiei impedanței electromecanice
(SIEM);

13 - fig. 2, cadrul experimental de referință al metodei SIEM (temperatura camerei):
a) specimen, analizor de frecvență, b) procesare standard cu o unitate de calcul, obținerea
15 stării de sănătate a structurii (specimenului);

17 - fig. 3, influența defectului asupra semnăturii SIEM: scindarea vârfurilor de rezonanță
din caracteristica de referință, în mai multe vârfuri adiacente;

19 - fig. 4, prezența unor defecte false pe caracteristicile SIEM: a) ciclul de temperaturi
extreme, cu 3 treceri, notate **T1**, **T2**, **T3**, prin temperatura camerei, b) neutralitatea caracte-
risticii SIEM la radiații;

21 - fig. 5, ilustrarea bazei fenomenologice a detectării și separării defectelor;

23 - fig. 6, ilustrarea funcționării algoritmului pentru identificarea defectelor mecanice cu
evitarea falselor diagnoze. Identificator apariție defect $N_2 > N_1$;

25 - fig. 7, sistem de monitorizare a stării de sănătate a structurilor, cu procedeu de
identificare a defectelor mecanice și evitarea falselor diagnoze.

27 Originea ideii de monitorizare și identificare simplă și fezabilă a defectelor structurale
incipiente s-a aflat în activitățile desfășurate într-un proiect recent (proiectul STAR Space
SHMID 188, finanțat de la buget prin Agenția Spațială Română), care a avut ca obiectiv princi-
29 pal validarea metodei SIEM în condiții de mediu dur la care sunt supuse vehiculele evoluând
în spațiul extraterestru. Acestea sunt, în principal, variațiile mari de temperatură și expunerea
31 la radiații cosmice. În cadrul proiectului, s-a desfășurat un program complex de încercări, în
care un specimen reprezentativ, un disc de aluminiu A2024 cu diametrul de 100 mm și
33 grosime de 0,8 mm, a fost fabricat într-un număr mare de exemplare, din rațiuni statistice.
Pe disc, în centru, s-a lipit cu un adeziv epoxy M-Bond 610 Vishay un senzor activ STEMINC
35 SMD07T02S412WL. S-a realizat astfel specimenul de probă pentru ridicarea, într-o primă
etapă, la temperatura camerei, a semnăturilor SIEM, $Re Z(\omega)$. Procedura urmată este ilustrată
37 în fig. 2. Se observă că metoda este consistentă: într-o bandă largă de frecvențe
(10...500 kHz), semnăturile $Re Z(\omega)$ se suprapun practic pentru toate cele 10 discuri conside-
39 rate. Se menționează că sunt simultan prezente frecvențele naturale ale modurilor de înco-
voiere și axial-simetrice. Discurile au fost apoi prelucrate cu o mașină de prelucrare, cu tehnica
41 laser, pentru simularea unor fisuri cu lățimea de 0,15 mm și lungimea de 10 mm, de geometrii
(arce de cerc sau segmente) și locații diferite: la 7, 15, 25, respectiv, 45 mm de centrul
43 discului. Influența acestor defecte a fost măsurată, la temperatura camerei, prin metoda SIEM.
Rezultatele au fost coerente, și un exemplu reprezentativ este dat în fig. 3.

45 Fenomenul reprezentat de fig. 3, de despicare sau scindare a vârfurilor de rezonanță
în prezența defectului, poate fi explicat, în termenii modificărilor structurale produse de un
47 defect, apelând la conceptul de impedanță mecanică. Aceasta este o măsură a rezistenței
la mișcare a structurii în prezența unei forțe armonice; impedanța mecanică

RO 131152 B1

este un raport între forță și viteză. În relația (1), implicarea impedanțelor mecanice ale structurii și elementului piezo este echivalentă, printr-o simplificare de operator diferențial d/dt , cu aceea a rigidităților mecanice. Rigiditatea mecanică este introdusă, în relația următoare, ca o cauză a mișcării (vibrației), astfel:

$$\text{vibrație (răspuns)} = \frac{\text{forță}}{\text{rigiditate dinamică (constrângere)}} \quad (2)$$

Apariția unui defect în structură înseamnă o modificare locală a rezistenței acesteia, deci a rigidității la mișcare. Aceasta duce la o modificare a regimului de vibrație. Specificul metodei SIEM constă în înregistrarea undelor Lamb staționare: acestea au vârfurile și nodurile fixe în timp, spre deosebire de undele Lamb călătoare, utilizate în alte metode defectoscopice. Undele Lamb staționare apar la anumite frecvențe "cuantizabile", precum energia straturilor electronice în atom. Pentru structuri având geometrii regulate (disc, placă drepunghiulară), aceste frecvențe pot fi analitic definite (a se vedea, de exemplu, lucrarea citată: Rugina ș.a., 2014).

Tabelul 1 prezintă o mostră a frecvențelor de rezonanță teoretice v_t , și experimentale v_{exp1} pentru specimenul disc fără defect, și pentru un specimen disc cu defect simulat "arc la 45 mm", și a valorilor experimentale v_{exp2} . Tabelul este edificator în sensul ilustrării ideii de la care s-a plecat în cadrul invenției. Defectul la 45 mm este relativ depărtat de senzor, și acesta nu poate să îl "detecteze". Raza de acțiune a senzorului conform invenției trebuie stabilită în cadrul concepției sistemului de monitorizare a stării de sănătate a structurii, în funcție de tipologia defectelor posibile și de performanțele senzorilor. În speță, defectul "arc la 7 mm" este bine detectat, în sensul invenției, conform tabelului 2: valorile rezonanțelor din banda 19...53 kHz se despică fiecare în câte 3 vârfuri de pseudorezonanțe. Acest număr de vârfuri poate varia, după caz. De remarcat că frecvența de rezonanță 12,57 kHz, de tip mod de încovoiere, nu s-a despicat, și nici frecvența de rezonanță 35,95 kHz, de tip mod axialsimetric. Cazul arătat în tabelul 2 este ilustrat și în fig. 6, unde numărătoarea vârfurilor de rezonanță se face cu un algoritm on-line.

Așadar, o concluzie importantă, derivată dintr-o primă observație, este aceea că, în prezența defectelor mecanice incipiente, vârfurile de rezonanță în spectrul impedanței electromecanice, măsurabile cu un senzor activ piezo, situat la o distanță corespunzătoare (nu prea mare) de defect, se scindează, conducând per total la un număr mai mare de vârfuri, într-o bandă de frecvențe anume.

E greu de imaginat o metodă analitică prin care să se anticipeze evoluția unui vârf de rezonanță în prezența unui defect. Relația (2), fenomenologică, arată însă clar că vibrația inițială, reprezentată de frecvența de rezonanță, se substituie în prezența defectului printr-o formă vibratorie complicată, ușor însă de detectat prin procesarea semnăturii SIEM înregistrată direct, on-line.

O a doua observație, care completează prima observație și o pune și mai mult în valoare, s-a desprins din activitățile desfășurate într-o a doua etapă, de probe în condiții dure, a proiectului STAR Space SHM ID 188. Aceste activități s-au desfășurat pe baza unui protocol complex de teste pentru specimene disc cu defecte simulate, într-un număr suficient de mare pentru a se asigura o bază statistică, protocol rezumat în tabelul 3. Echipamentul utilizat: sursă de iradiere, o Cameră Gamma 5000; vas Dewar criogenie; etuvă cu controller digital de temperatură.

RO 131152 B1

Tabelul 1

Frecvențele de rezonanță, teoretice și experimentale, disc sănătos,
disc cu defect "arc la 45 mm"

v_t [kHz]	12,57	19,69	28,38	35,67	38,63	50,51	63,95	78,97	93,95	95,57
v_{exp1} [kHz] ⁺	12,48	19,46	28,23	35,89	38,51	50,01	62,90	77,02	92,04	93,85
v_{exp2} [kHz] ⁺⁺	12,81	20,08	28,88	35,79	39,20	50,93	64,07	78,43	93,48	94,82

Tabelul 2

Frecvențele de rezonanță, teoretice și experimentale, disc sănătos,
disc cu defect "arc la 7 mm"

v_t [kHz]	12,57	19,69		28,38		35,67	38,63		50,51					
v_{exp1} [kHz] ⁺	12,83	20,17		29,05		35,95	39,44		51,39					
v_{exp2} [kHz] ⁺⁺	12,6	19,6	20,1	23,1	27,6	28,1	31,2	35,633	37,4	38,3	40,6	48,6	49,6	52,2

Tabelul 3

Protocolul testelor complexe (temperaturi extreme, radiații, vacuum)
efectuate asupra unui număr de specimene disc

Ciclu de testare	Timp	Temperatură [°C]	Presiune [Pa]	Iradiație [kGy]		
				Doză per pas de iradiere	Doză per ciclu	Doză cumulată
SIEM inițială - TC						
#1	0,5 h	- 196	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35	4,7	4,7
	1,0 h	RT	f.v.*	fi.**		
	0,5 h	+ 100	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35		
1.SIEM-TC						
#2	0,5 h	- 196	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35	4,7	9,4
	1,0 h	RT	f.v.*	fi.**		
	0,5 h	+ 100	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35		
2.SIEM-TC						
#3	0,5 h	- 196	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35	4,7	14,1
	1,0 h	RT	f.v.*	fi.**		
	0,5 h	+ 100	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35		
3.SIEM-TC						
#4	0,5 h	RT	$1 \cdot 10^{-2}$	fi.**	4,7	18,8
	4.SIEM-TC					
#5	0,5 h	- 196	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35	4,7	23,5
	1,0 h	RT	f.v.*	fi.**		
	0,5 h	+ 100	$1 \cdot 10^{-2}$	2,35		
5.SIEM-TC						

(*f.v. - fără vacuum; **f.i. - fără iradiatii; TC - temperatura camerei)

Metoda SIEM este testată cu simularea simultană a condițiilor de temperaturi extreme și iradiatii. Analiza statistică făcută în urma procesării rezultatelor arată că metoda defectoscopică SIEM a trecut aceste probe. Această analiză a avut drept criteriu-suport utilizarea unui indicator statistic de defect DI, a cărui expresie este:

$$DI = \sqrt{\sum_{i=1}^N [\operatorname{Re}(Z_i) - \operatorname{Re}(Z_i^0)]^2} / \sum_{i=1}^N [\operatorname{Re}(Z_i^0)]^2 \quad (3)$$

unde N este numărul de frecvențe în spectru, iar 0 este un exponent care marchează structura în condiția inițială ("sănătoasă", fără defect).

Observația esențială desprinsă, în urma testelor, din această a doua etapă a proiectului STAR Space SHM ID 188 a fost că modificările produse de factorii de mediu duri pe spectrul impedanței electromecanice nu produc scindări ale vârfurilor de rezonanță, deci nu produc creșterea numărului de vârfuri, precum factorii de oboseală și îmbătrânire a structurii. Această observație iarăși nu este consemnată clar în literatura de specialitate. Lipsind numitorul comun, respectiv, un experiment complex, în care un specimen dat să parcurgă un protocol cuprinzând toate aceste condiții de mediu, într-o succesiune stabilită, a lipsit și cadrul de referință pentru identificarea defectelor mecanice, structurale, simultan cu separarea lor de falsele defecte, determinate ca modificări reversibile pe semnăturile SIEM în prezența factorilor de mediu mai sus numiți.

Cele două observații sunt materializate în procedeul simplu de identificare on-line a defectelor reale, a căror origine stă în îmbătrânirea și oboseala structurii, sau în vicii ascunse de fabricare, procedeu prin care sunt concomitent separate defectele false, respectiv, semnăturile pe caracteristica SIEM ale prezenței condițiilor extreme de mediu, temperaturi extreme și iradiații. Acestea sunt numite defecte false, întrucât nu au un impact remanent asupra semnăturii SIEM, în sensul că semnătura sănătoasă se restabilește odată cu revenirea la condițiile inițiale (fig. 4). În contextul unui sistem *in situ* de monitorizare a stării de sănătate, în care indicatorul statistic uzual de defect DI stă la baza unui algoritm de alarmare, modificările produse pe semnătura SIEM de factorul temperatură ambientală, chiar compensate printr-o procedură specială de compensare, vor contribui prin aport cantitativ la declanșarea unei alarme inoportune, nejustificate. O componentă secundară a invenției de față constă în următoarele: factorii de mediu au impact vizibil pe semnătura SIEM esențialmente prin intermediul elementului piezo, și mult mai puțin, chiar neglijabil pentru anumite structuri, acest impact are punct de plecare în modificări structurale propriu-zise. Pentru un proiect dat, în speță, pentru o navă spațială, un sistem de monitorizare a stării de sănătate a structurii trebuie să prevadă și să elimine, printr-o selecție adecvată a senzorilor, impactul temperaturilor extreme, în special al celor pozitive foarte ridicate. Scăderea dramatică a rezistenței $\operatorname{Re} Z(\omega)$, măsurată în Ohmi, se impune a fi un asemenea criteriu de selecție a senzorilor. Această observație se aplică și asupra sistemelor de monitorizare care privesc construcțiile civile, centralele energetice, inclusiv nucleare, în care pot opera factori de mediu extremi, la o magnitudine eventual mai redusă decât în spațiu.

Fig. 5 sintetizează observațiile care au stat la baza procedeelelor off-line de detectare a defectelor mecanice și de separare de cele false, de origine ambientală, în vederea evitării falselor diagnoze.

Fig. 6 ilustrează funcționarea unui algoritm de monitorizare și identificare algoritmică a apariției unor noi vârfuri, reprezentate cu linie întreruptă, pe semnătura SIEM a structurii sănătoase (reprezentate cu linie continuă), respectiv, apariția unui defect mecanic. Algoritmul constă într-o rutină de calcul al numărului vârfurilor de rezonanță pe semnătura SIEM, într-o bandă de frecvență prestabilită. Semnătura SIEM, reprezentabilă grafic, este furnizată de către unitatea de calcul ca un șir de valori discrete, cu un anumit pas de frecvență. Intervalul de frecvențe focalizat este prestabilit de către proiectantul sistemului de monitorizare. Dacă,

RO 131152 B1

1 la monitorizarea sistemului, acest număr crește față de cel inițial, al semnăturii sănătoase,
softul generează o alarmă de atenționare privind apariția unui defect mecanic. Vârfurile
3 locale sub o anumită valoare, de exemplu, $k\Omega$, sunt identificate ca zgomote de măsură sau
ca neinteresante, și sunt eludate de algoritm.

5 Procedeul de monitorizare și identificare a defectelor de origine mecanică se poate
aplica într-un sistem de monitorizare a stării de sănătate a structurilor, bazat pe metoda
7 SIEM, reprezentat în fig. 7.

Sistemul cuprinde:

9 a) blocul structural, format din structura monitorizată și un număr de senzori piezo
activi distribuiți, cu o rază de acțiune prestabilită în funcție de parametrii lor și de natura posi-
11 bilelor defecte mecanice;

13 b) blocul de achiziție, format dintr-un multiplexor analogic programabil, care cuplează
succesiv senzorii activi la intrarea analizorului de impedanță, și un analizor de impedanță
electromecanică;

15 c) blocul software și alarmare, format din unitatea de calcul și un bloc de afișare/alar-
mare (un display).

17 Sub controlul unității de calcul, control realizat pe magistrala de comutare senzori,
multiplexorul cuplează succesiv senzorii S_1, S_2, \dots, S_n de pe structură, la intrarea analizorului
19 de impedanță. Acesta achiziționează datele de la senzori, în domeniul de frecvență și cu
pașii de frecvență pentru care a fost configurat la start de către unitatea de calcul.

21 După baleierea întregului domeniu de frecvență impus, analizorul de frecvență
transmite datele $(Z(\omega), S_i)$ pe magistrala de achiziție date și configurare, la unitatea de calcul.
23 Aceasta procesează datele, pe baza procedeeului de monitorizare și identificare a defectelor
de origine mecanică, utilizând algoritmi de numărare a maximelor pe spectrograma $\text{Re } Z(\omega)$,
25 sau de evaluare a modificării coordonatelor acestor maxime.

RO 131152 B1

Revendicări

	1
1. Procedeu de monitorizare și identificare a defectelor de origine mecanică, structurale, reale, de tip fisuri incipiente, în cadrul metodei spectroscopiei impedanței electromecanice de monitorizare on-line a stării de sănătate a structurilor, caracterizat prin aceea că va consta în:	3
- definirea structurii "sănătoase" prin semnătura sa, spectrograma $\text{Re}(Z(\omega))$, care se obține și se validează off-line, în condiția de referință a "temperaturii camerei", iar pe această spectrogramă, într-un interval dat de frecvențe, de ordinul zecilor de kHz, identificându-se un număr N de vârfuri de rezonanță;	5
- detectarea apariției unor fisuri (defecte) în structură, prin creșterea numărului de vârfuri de rezonanță în intervalul dat de frecvențe la N' , $N' > N$, prin despicierea unora din cele N vârfuri care caracterizează structura sănătoasă;	7
- utilizarea unui algoritm de numărare a maximelor locale pe spectrogramă, care depășesc un prag minim dat, pentru punerea în evidență a creșterii numărului de vârfuri de rezonanță;	9
- marcarea oricărei astfel de creșteri pe interfața de ieșire a sistemului de monitorizare (on-line) cu indicatorul "defect mecanic incipient în zona sensorului piezo S_i ".	11
2. Procedeu de monitorizare și identificare a defectelor de origine mecanică, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că , va mai consta în:	13
- detectarea "falselor" defecte, în cadrul metodei spectroscopiei impedanței electromecanice de monitorizare on-line a stării de sănătate a structurilor, defecte definite prin modificări minore și, de regulă, reversibile pe semnătura $\text{Re}(Z(\omega))$, prin consemnarea modificărilor date de prezența radiațiilor sau afectarea mai mult sau mai puțin accentuată a amplitudinilor, și deplasare spre stânga a vârfurilor de rezonanță, pentru temperaturi pozitive crescute, și spre dreapta, pentru temperaturi negative, utilizând un algoritm de evaluare a coordonatelor vârfurilor de rezonanță (abscise și ordonate);	15
- orice astfel de modificare este marcată la interfața de ieșire a sistemului de monitorizare (on-line) cu indicatorul "defect fals în zona sensorului piezo S_j ".	17
	19
	21
	23
	25
	27
	29

(51) Int.Cl.

G01N 29/09 (2006.01);

G01N 29/44 (2006.01)

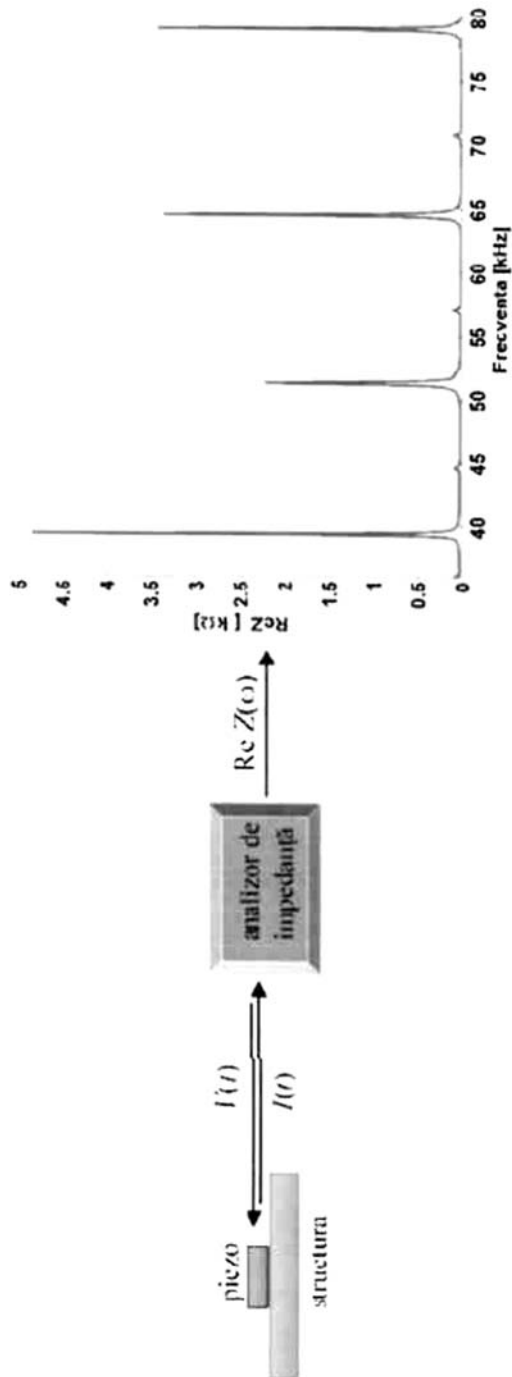


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G01N 29/09 (2006.01);

G01N 29/44 (2006.01)

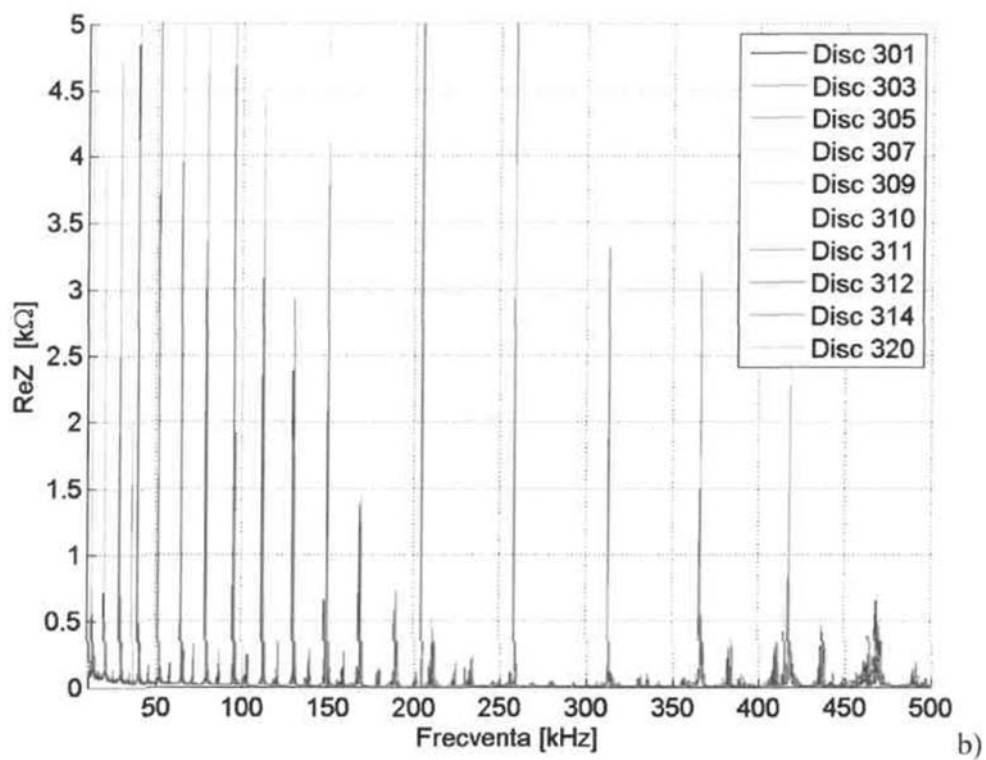
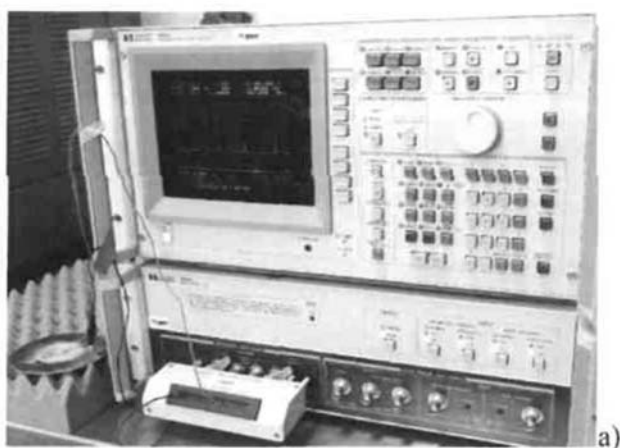


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G01N 29/09 (2006.01);

G01N 29/44 (2006.01)

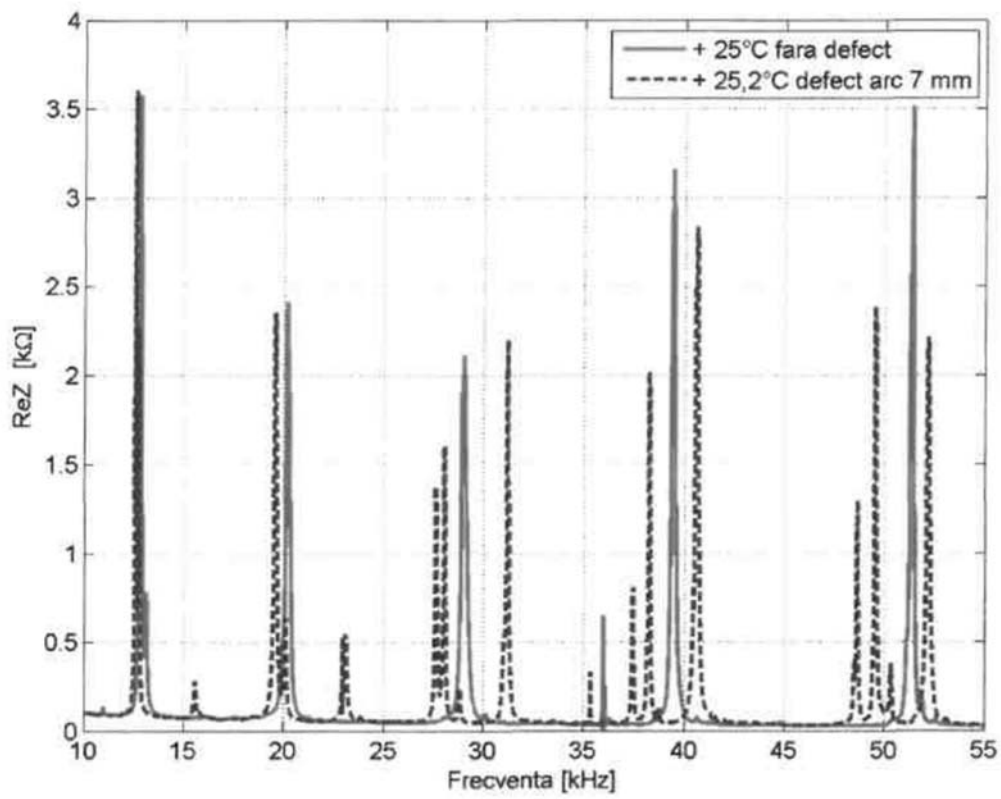


Fig. 3

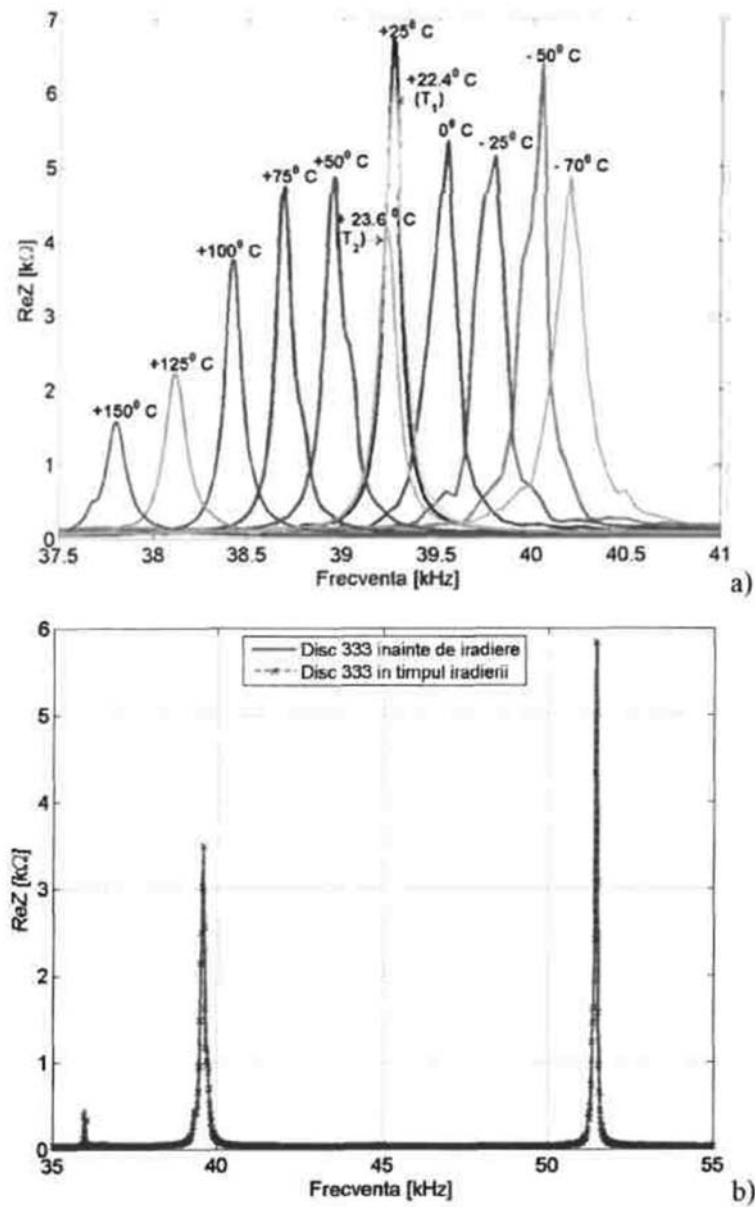


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G01N 29/09 (2006.01),

G01N 29/44 (2006.01)

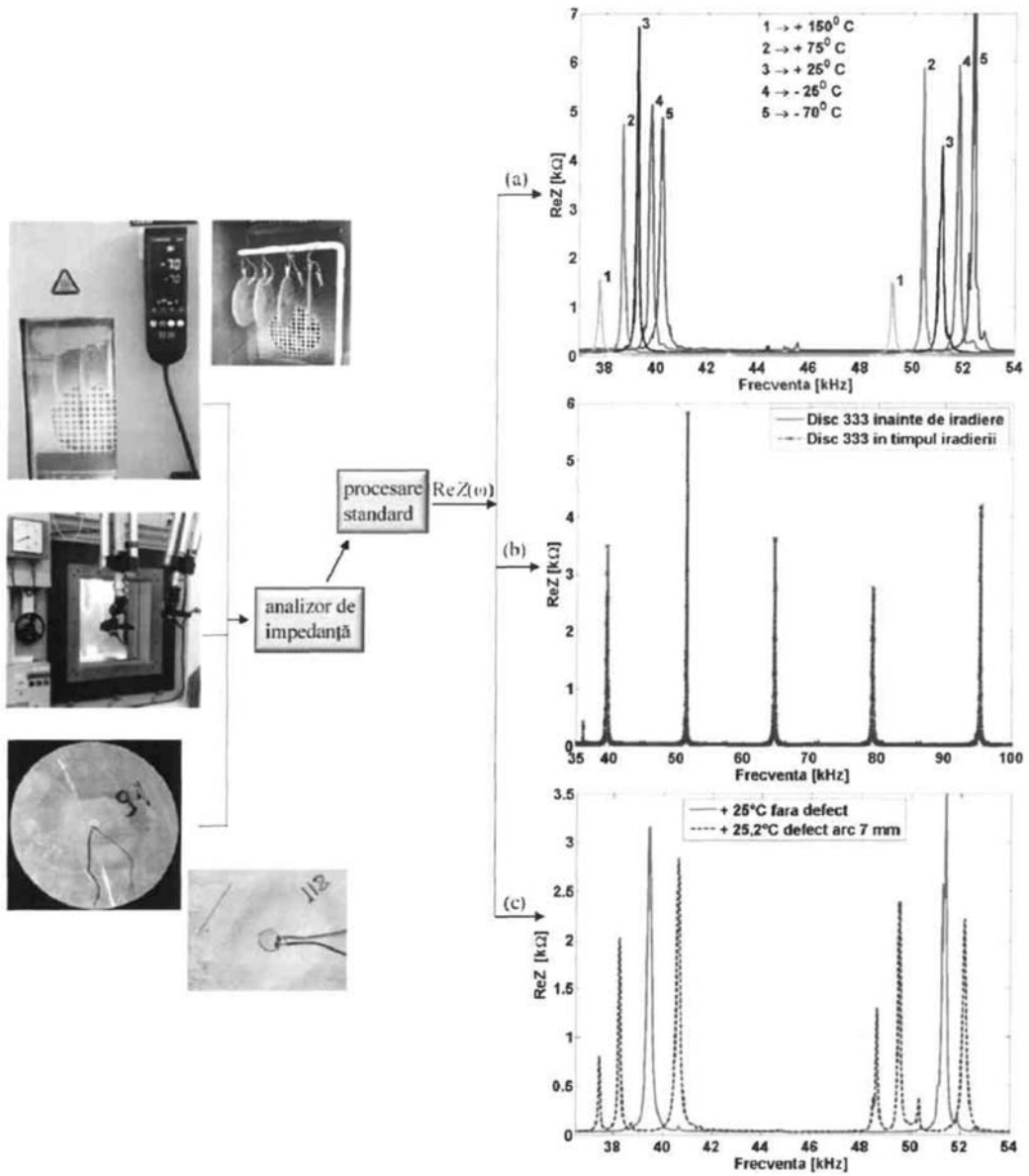


Fig. 5

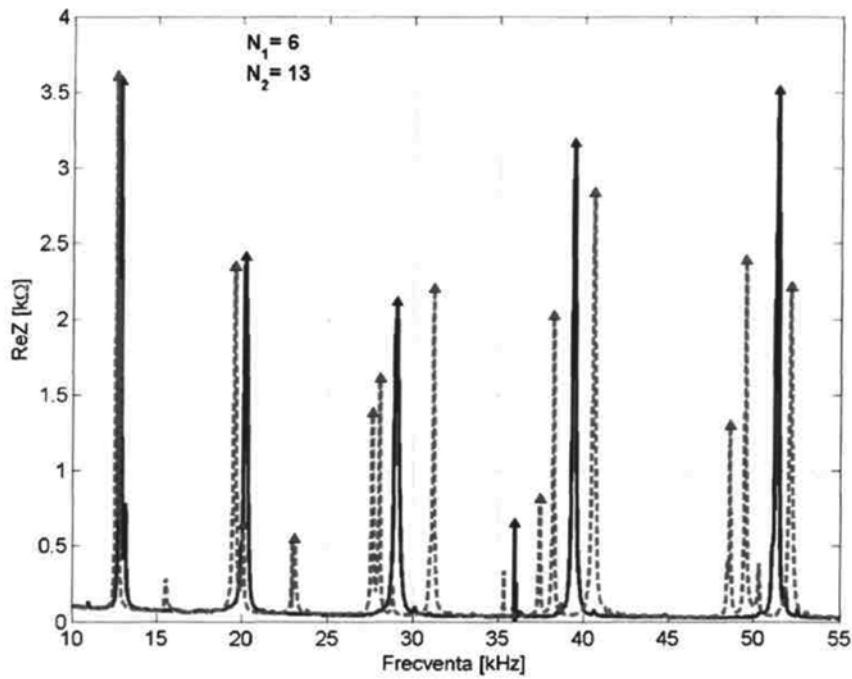


Fig. 6

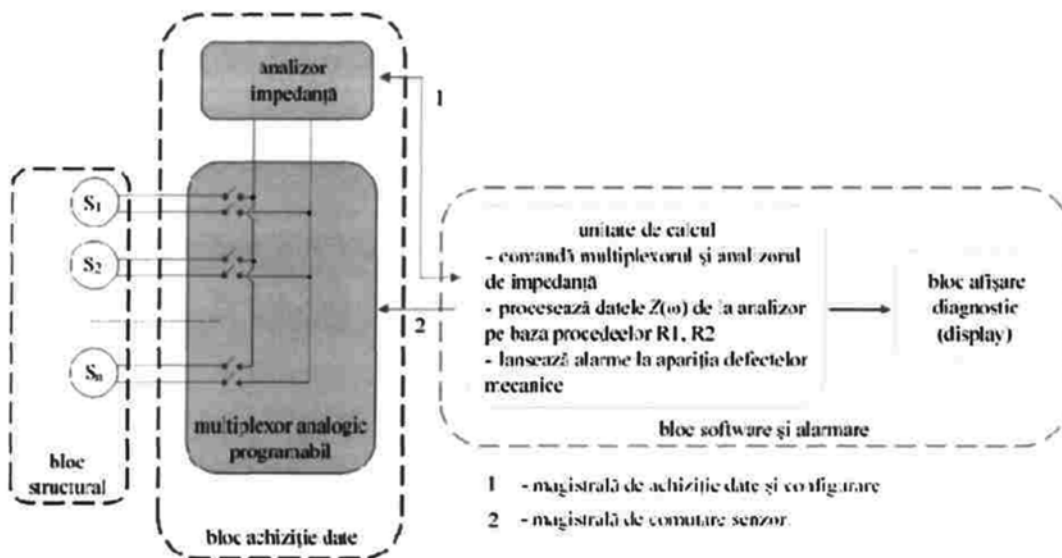


Fig. 7

