



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00400

(22) Data de depozit: 20/06/2017

(41) Data publicării cererii:
28/12/2018 BOPI nr. 12/2018

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS"
GALAȚI, STR. DOMNEASCĂ NR. 47,
GALAȚI, GL, RO;
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE ÎN
INFORMATICĂ, BD.MAREȘAL AVERESCU
NR.8-10, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII -
INCDMTM BUCUREȘTI,
ȘOS.PANTELIMON NR.6-8, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• TEAMNĒT ENGINEERING S.R.L.,
GREEN GATE, BD.TUDOR
VLADIMIRESCU, NR.22, ET.7, CAM.26,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• AIORDĂCHIOAIE DOREL, STR. FRUNZEI
NR.25, BL.F7, SC.1, ET.5, AP.18, GALAȚI,
GL, RO;

• POPESCU THEODOR DAN,
ȘOS.COLENTINA NR.55, BL.83, SC.1, ET.6,
AP.29, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;
• MANOLESCU MARIANE VEORONICA,
ȘOS.COLENTINA NR.24, BL.10, SC.1,
ET. 9, AP.64, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;
• CIOBOATA DANIELA DOINA,
ȘOS. ȘTEFAN CEL MARE NR.35, BL.31,
SC.3, ET.2, AP.85, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ABALARU AUREL IONEL,
STR.LT.SACHELARIE VISARION, NR.8,
BL.111B, SC.A, ET.1, AP.5, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ROMAN NICU, STR.DEMOCRAȚIEI NR.36,
GALAȚI, GL, RO;
• LUCA LAURENȚIU, ALEEA MERCUR
NR.8, BL.C 1, SC.1, ET.2, AP.7, GALAȚI,
GL, RO

Această publicație include și modificările descrierii,
revendicărilor și desenelor depuse conform art. 35 alin.
(20) din HG nr. 547/2008.

(54) VIBROCHANGE.DS - SISTEM PENTRU DETECȚIA
SCHIMBĂRILOR ÎN PROCESSE VIBRATORII, FOLOSIND
TEHNICI AVANSATE DE ANALIZĂ BAZATE PE MODEL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem pentru detectarea schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici de analiză bazate pe model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale cu componente vibratorii. Sistemul, conform invenției, cuprinde un modul de măsurare mărimi fizice, care realizează măsurarea, procesarea primară și înregistrarea într-o bază de date a semnalelor multidimensionale ce fac obiectul prelucrărilor, un modul de analiză a semnalelor de vibrație cu metode de prelucrare și implementare a unor algoritmi într-un limbaj de nivel înalt, pentru detectarea schimbărilor și segmentare (CDS), separarea "oarbă" a surselor de vibrație (BSS) și analiza timp-frecvență (TFR), și un modul de implementare în timp real, pe procesele fizice, a unor algoritmi în funcție de particularitățile și cerințele procesului monitorizat.

Revendicări inițiale: 3
Revendicări amendate: 1
Figuri: 13

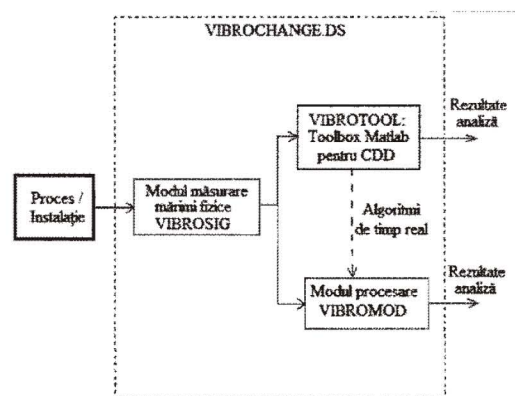


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



JF

VIBROCHANGE.DS - Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Descrierea invenției

1. Titlul invenției

VIBROCHANGE.DS - Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

2. Domeniul tehnic la care se referă invenția

Invenția se referă la un sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale, în scopuri de mentenanță predictivă.

3. Stadiul tehnicii in domeniu

În prezent se manifestă o cerință crescută privind înlocuirea procedurilor de întreținere periodică a mașinilor și utilajelor industriale prin strategii de întreținere condițională, bazate pe supravegherea continuă sau prin sondaj a comportării acestora. În acest context, apare ca soluție eficientă, detecția din timp a funcționării anormale a mașinilor și utilajelor industriale, în raport cu o caracterizare a acestora în stare de funcționare normală.

Un mod de abordare al acestei probleme constă în detecția incipientă a deviațiilor mici ale unor semnale de vibrație măsurate, în raport cu datele furnizate de o descriere parametrică a unui model, în condiții normale de lucru ale mașinii sau utilajului. Dacă pot fi detectate astfel de schimbări în faza incipientă, în raport cu schimbările în condițiile normale de operare, se poate realiza prevenirea apariției unor variații mari ale unor mărimi, ca rezultat al producerii unor defecțiuni sau avarii, sau a stării de oboseală, înaintea producerii funcționării anormale a mașinii și, în consecință, să crească disponibilitatea acesteia.

În ultimele două decade, problema întreținerii condiționale, sau preventive, s-a bucurat de o atenție deosebită, atât în cadrul cercetărilor, cât și al aplicațiilor în diferite domenii, [1],[2], [3], [4], [5], etc. Multe aplicații în acest domeniu fac uz de teorii bazate pe statistică, [6] și [7], printre alții, care furnizează instrumente teoretice pentru rezolvarea problemei detecției preventive a producerii unor evenimente nedorite în funcționarea mașinii sau utilajului.

Această abordare presupune existența unui model matematic al mașinii sau utilajului, adesea greu de stabilit. O altă abordare, care face și obiectul prezentei invenții, se bazează pe paradigma prelucrării semnalelor care provin de la mașina sau utilajul monitorizat, cel mai frecvent semnale de vibrație. Siguranța, disponibilitatea, eficiența și performanțele unor mașini și utilaje industriale, sau componente electromecanice ale acestora, reprezintă preocupari majore în industrie. Monitorizarea condițională și diagnoza producerii unor defecțiuni este o practică greoaie, care necesită un efort mare. În acest scop au fost propuse diferite metode de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, în special pentru

mașinile rotative sau componente ale acestora. Problema detecției și diagnozei producerii unor defecțiuni implică următoarele faze: achiziția datelor, extragerea caracteristicilor, detecția producerii unei defecțiuni și identificarea acesteia (diagnoza).

Tehnicile de extragere efectivă a caracteristicilor sunt foarte critice în rezolvarea acestei probleme. Semnalele de vibrație colectate de senzori sunt afectate de zgomot și necesită a fi prelucrate, înainte de utilizare pentru detecția și diagnoza producerii unei eventuale defecțiuni a mașinii, sau a unor componente ale acesteia. Caracteristicile semnalului (adesea denumite trasături sau "amprente") nu pot fi detectate fără utilizarea unor tehnici specifice. Tehnicile de extragere a caracteristicilor pot crește raportul semnal/zgomot, fie localiza anumite componente în semnal, în scopul asistării deciziei privind producerea unei schimbări. În general, tehnicile de analiză a vibrațiilor aplicate pentru detecție și diagnoză acoperă o arie extinsă, de la tehnici statistice la tehnici bazate pe model și includ diferiți algoritmi de prelucrare a semnalelor pentru extragerea informației necesare în scop de detecție și diagnoza.

Cele menționate anterior justifică necesitatea dezvoltării unor sisteme capabile să ofere asistență în rezolvarea acestei probleme. Astfel de sisteme sunt oferite de mai multe firme și companii:

- Intellinova Data Sheel & Installation Instructions - SPM Instrument AB GmbH Austria: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizarea starii masinilor rotative*, [8];
- CSI 6500MS EMERSON, Emerson Process Management: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizare: motoare, rulmenti, pompe, cutii de viteze, etc*, [9], [10];
- SterlingSIHI GmbH: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizare*, [11];
- Delphin Technology: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizare*, [12];
- Femaris SRL Romania: *Monitorizare on-line si off-line a parametrilor industriali - vibratii, temperaturi, presiuni, etc*, [13], [14], [15];
- Energocontrol Polonia: *Monitorizare on-line si off-line a parametrilor industriali - vibratii*, [16];
- Spider 80, Crystal Instruments SUA: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizare: starea masinilor, pentru industria aeronautica, auto, aerospaciala, electronica si militara*, [17];
- RACK3500 Bentley Nevada GE Energy: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizare: turbine cu gaz si abur rotative, compresoare, pompe cupiston*, [18];
- Rack SILver PROGNOST: *Sistem monitorizare compresoare cu piston, pompe, turbocompressoare*, [19].

De asemenea, au fost brevetate mai multe sisteme și tehnologii în domeniul ce face obiectul invenției de următoarele firme: Exxon Mobil and Engineering Company, [20], RSI Electronics Ltd., [21], Holcim (US), Inc. [22], CSI Technology, [23], S.P.M. Instrument Ab, [24], Vibrosystm, [25], etc.

4. Problema tehnică rezolvată de invenție

Problema tehnică rezolvată în cadrul invenției se referă la dezvoltarea unui sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii, folosind tehnici avansate de analiză bazate pe



model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale. Sistemul include mai multe module subsistem, așa cum se prezintă în Figura 1, și a căror dezvoltare și implementare a condus la rezolvarea problemei tehnice ce face obiectul invenției. Sub-sistemele de bază sunt:

1. VIBROSIG este un modul clasic pentru achiziția semnalelor analogice de tip vibrații, folosind traductoare de tip accelerometre și un număr de 4 până la 8 canale sincrone, în funcție de proces. Se efectuează o serie de prelucrări specifice achiziției de date, din care menționăm: filtrări trece jos, filtrare trece sus, amplificare, conversie analog-numerică și formatare date.
2. VIBROTOOL permite analiza avansată, complexă, a semnalelor de vibrație în modul de lucru off-line, prin implementarea unor funcțiuni pentru detecția schimbărilor și segmentare (CDS), separarea "oarbă" a surselor de vibrație (BSS), analiza timp-frecvență (TFR) și o analiză a concentrației energiei semnalelor de măsură, utilizând entropia Renyi. În plus, se realizează și fuziunea informației rezultate în urma prelucrărilor menționate anterior, o pre-procesare a datelor de măsură, semnalele de vibrație, precum și o post-procesare a rezultatelor detecției.
3. VIBROMOD asigură realizarea funcțiilor ce țin de prelucrarea primară a datelor care urmează să facă obiectul prelucrărilor ulterioare, în scopul detecției și diagnozei mașinii: filtrare programabilă, calculul parametrilor statistici, calculul spectrului de amplitudine Fourier. Soluția folosită este distribuită în module hardware și software, bazate - într-o variantă de lucru - pe dispozitive PLC (Programmable Logic Controllers), asigurând lucrul on-line și pe trei niveluri de reprezentare a timpului de monitorizare: scurt, mediu și lung.

5. Expunerea invenției

Prezentarea invenției se va realiza sub forma descrierii principalelor module hardware-software și a funcțiilor acestora implementate în sistem. Structura de bază a sistemului se prezintă în Figura 1.

Borderou figuri

Figura 1: Structura (modulele) sistemului de detecție a schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Figura 2: Structura hardware a modulului de achiziție VIBROSIG

Figura 3: Fluxul de date principal din VIBROMOD

Figura 4 : Principalele proceduri de calcul pentru rezolvarea problemei CDS implementate în modulul VIBROTOOL

Figura 5 :Acceleratiile măsurate cu senzorii S1-S7

Figura 6: Detecția schimbărilor utilizând separarea surselor independente de vibrație și detecția schimbărilor în entropia Renyi

Figura 7: Sursele de vibrație independente rezultate în urma aplicării algoritmului SOBI pentru măsurătorile efectuate pe 7 canale

Figura 8: Distribuția timp-frecvență RID pentru sursa S1, în condițiile de funcționare normală și cu producerea unei defecțiuni a mașinii

Figura 9: Distribuția timp-frecvență RID pentru sursa S2, în condițiile de funcționare normală și cu producerea unei defecțiuni a mașinii

Figura 10: Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S1

Figura 11: Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S2

Figura 12: Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S1

Figura 13: Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S2

5.1. Descrierea structurii de achiziție a datelor (VIBROSIG)

Structura bloc este prezentată în Figura 2 și are scopul de a oferi o imagine informativă despre cerințele hardware ale modulului VIBROSIG, de la semnalele de vibrații până la memoria de lucru.

Modulul este proiectat pentru un număr de $n_v = 4$ canale de vibrații, cu achiziție și conversie sincrone, plus un număr de $n_s = 4$ canale suplimentare pentru alte mărimi de interes, de ex. viteza, temperatura, curent, etc. Numărul total de canale este $n = n_v + n_s = 8$.

În partea de jos a Figurii 2 se prezintă achiziția semnalelor de vibrații. Se consideră o bandă de frecvență a vibrațiilor de la $F_{TS} = 100$ Hz până la $F_{TJ} = 5000$ Hz. Ambele filtre sunt analogice, de tip Cebîșev cu riplu de 1 dB în banda de trecere, și ordin $n=2$. Urmează un amplificator, cu amplificare între 10 și 100. Conversia în semnal numeric se face cu frecvența de eșantionare $FS = 10.000$ Hz, fiecare eșantion pe 12 bit. Pentru fiecare canal de vibrație se memorează (în vederea prelucrării și transmiterii) un număr de $NV = 4096$ eșantioane. Pentru cele n_v canale rezultă o matrice de eșantioane de vibrații \mathbf{V} , de dimensiune $n_v \times NV$.

Considerând numărul de eșantioane NS și frecvența FS rezultă o durată a observației de

$$T = N \cdot TS = N / FS = 4096 / 10.000 = 409.6 \text{ [ms]} \quad (1)$$

și o rezoluție în frecvența de

$$dF = 1/T = FS / N = 10.000 / 4.096 = 2.44 \text{ [Hz]} \quad (2)$$

Observație: Pentru o rezoluție de 1 Hz, durata înregistrării este de 1 s și numărul de eșantioane este $NV = 10.000$. Aceste valori se vor ajusta în funcție de rezoluția cerută a metodelor de detecție din domeniul frecvență.

În partea de sus a Figurii 2, se prezintă achiziția unor semnale suplimentare, cum sunt viteza la arbore sau diverși curenți. Structura de procesare este similară cu a vibrațiilor, numai că numărul de eșantioane memorate (și implicit frecvența de eșantionare) este mult mai mică, datorită constantelor de timp mari ale acestor mărimi fizice (viteza, de exemplu). O valoare de $N_s = 512$ se consideră a fi suficientă, putând fi schimbată dacă va fi necesar. Datele de la

ieșirea acestui lanț de prelucrare sunt memorate într-o matrice de date S , de dimensiune $ns \times NS$.

5.2.Prelucrarea primară a datelor în VIBROMOD

Componenta VIBROMOD a sistemului s-a realizat utilizând o soluție bazată pe dispozitive PLC (Programmable Logic Controllers) în vederea asigurării unei integrări ușoare a acestora în structura unor mașini și echipamente industriale existente, în scopul mentenanței predictive a acestora.

Structura de bază a componentei VIBROMOD, din punctul de vedere al managementului datelor, este prezentată în Figura 3. Dispozitivele PLC sunt programate pentru prelucrarea primară a acestora și transmiterea lor către nivelul superior (un calculator PC). Pe calculatorul de nivel 2 datele sunt prelucrate folosind algoritmi de nivel superior, din cei implementați în cadrul modulului VIBROTOOL.

În cadrul modulului VIBROMOD au fost implementate în limbajul Java funcții, care realizează:

1. Filtrarea datelor
2. Calculul parametrilor statistici
3. Calculul spectrului de amplitudine Fourier
4. Extragerea anvelopei și estimarea frecvenței cu transformata Hilbert
5. Analiza timp-frecvență cu transformata Wigner-Ville
6. Extragerea trăsăturilor (localizare și dispersie) din imaginea timp-frecvență
7. Extragerea informației prin calculul entropiei Renyi pentru semnale 1D și 2D

Aplicația software este reprezentată de o interfață cu utilizatorul prin care pot fi vizualizate atât datele de intrare cât și cele prelucrate prin intermediul unui tabel și a unor grafice reprezentative pentru modulele de prelucrare. Tabelul este conectat la o baza de date în care sunt stocate informațiile relevante pentru mașina sau utilajul ce face obiectul monitorizării. Dimensiunea tuturor semnalelor măsurate se poate alege prin inserarea numărului dorit și se poate tipări fereastra ce se deschide după apelarea funcției. Interfața dezvoltată conține tabelul cu variabilele de interes, un buton de printare, unul de avarie și unul de help. Graficele 2D au opțiuni de minimizare/maximizare/autoscalare, de afișare a coordonatelor unui punct selectat din grafic, de export în diferite formate, printare și schimbare de culoare pentru a facilita procesul de analiza și detecție. Graficele 3D (de tip mesh) au aceleași opțiuni ca cele 2D, în schimb, ele pot fi rotite în jurul axelor (x,y,z) . De asemenea, se poate schimba modul de reprezentare al axelor: liniar vs logaritm.

Pentru funcțiile implementate în cadrul VIBROMOD au fost create clase specifice pentru fiecare modul în parte, fiecare având metode proprii de calcul. O metodă (funcție) este o colecție de instrucțiuni, grupate astfel încât să conducă la rezultatul dorit.

Declararea datelor de intrare precum și a variabilelor folosite în cadrul prelucrărilor, s-a realizat folosind tipul de date double - numere reale, reprezentate în virgulă mobilă, cu dublă precizie (reprezentate pe 64 bit), față de tipul de date float (reprezentat pe 32 de bit). Tipul de date folosit în mod automat (implicit) de modulele de calcul din VIBROTOOL este de asemenea de tip double. Pentru reprezentarea numerelor complexe a fost creată clasa Complex, ce generează obiecte de tip Complex, și au fost implementate diferite prelucrări uzuale asupra acestui tip de date.

În cadrul utilizării unor funcții specifice metodelor CDD, implementate în modulul VIBROTOOL, este necesară returnarea mai multor parametri. Pentru a facilita construcția interfeței grafice și realizarea graficelor, s-a optat pentru implementarea, în cadrul aceleasi

clase (de ex.: P2 TF.java), a mai multe proceduri, fiecare dintre acestea returnând câte un singur parametru. S-a implementat o metoda primară de optimizare: codul este scris o singură dată, iar când se dorește folosirea acestuia, este apelată metoda echivalentă. Această implementare modulară nu garantează minimizarea timpului de rulare, dar asigură înțelegerea mai ușoară a modalității de implementare și facilitează depanarea.

În Figura 3 se prezintă modul în care se prelucrează datele pe cele trei scări (niveluri) de timp: nivel mașină (proces) (interval elementar de timp = *ecart mașina* = 1 minut), nivel secție (interval elementar de timp = *ecart secție* = 1 oră) și nivel întreprindere (interval elementar de timp = *ecart întreprindere* = 1 zi).

La nivel proces, datele numerice din mașina monitorizată, vibrații și mărimi suplimentare, sunt prelucrate pentru calculul unor mărimi statistice (în domeniul timp) și a unor mărimi în domeniul frecvență sau a altor mărimi de interes (de exemplu, entropii) (reprezentate în Figura 3). Aceste mărimi sunt calculate și salvate la intervale de timp de $DTP = 1$ min. Calculul mărimilor statistice și a celorlalte mărimi de interes se face într-un interval de timp mai mic decât ecartul de timp la nivel proces (1 min). La nivel de secție, datele sunt salvate la interval de o oră. La nivel de întreprindere, datele se actualizează la sfârșitul fiecărei zile, deci la 24 de ore.

La fiecare nivel, datele sunt descrise prin tablouri bidimensionale (matrici) de dimensiuni corespunzătoare: **MP** la nivel de proces, **ML** la nivel de laborator și **MI** la nivel de întreprindere. Numărul de coloane al acestor tablouri este impus de ecartul de timp specific fiecărui nivel. Numărul de linii este Q .

La fiecare nivel, datele se salvează în prima coloană. Înainte de salvare, datele sunt permutate ciclic la dreapta pentru actualizare. Când o matrice de date a fost complet actualizată, se calculează (de exemplu) mediile statistice pe linii și aceste valori se transmit la nivelul următor.

La ultimul nivel, nivelul întreprindere, datele prelucrate sau nu, se memorează pe suporturi dure (HDD sau CD-uri) și se transmit la un server pentru prelucrări ulterioare.

5.3. Detecția schimbărilor în semnalele de vibrație cu VIBROTOOL

Acest modul subsistem a fost conceput sub forma unui set de programe (ce definesc un toolbox Matlab) pentru rezolvarea unor sarcini specifice problemei detecției și diagnozei schimbărilor (CDD), reflectate prin semnalele de vibrație măsurate. Acest gen de analiză se realizează off-line, implicând mai multe proceduri complexe de calcul și consumatoare de timp, dar care permit o analiză completă și eficientă.

Algoritmii implementați fac uz de noțiuni din recunoașterea formelor, verosimilitate maximă, tehnici bazate pe model, analiza multirezoluție, soft computing și fuziunea informației, etc., constituind o referință în domeniul CDD. Modulele de calcul implementate pot fi grupate în următoarele categorii:

1. Modulele CDS permit o primă detecție a schimbărilor produse în semnalele de vibrație măsurate, sau în principalele surse independente de vibrație, determinate cu modulele BSS. Printre componentele software implementate menționăm: estimarea punctului de producere a schimbării (mean change), detecția schimbărilor folosind un singur model de regresie și diferite măsuri ale "distanței" dintre modele și reguli de "stop", detecția schimbărilor folosind două modele de regresie, "ferestre" de date alunecătoare și diferite măsuri ale "distanței" dintre modele și reguli de "stop", detecția și segmentarea semnalelor de vibrație utilizând estimatorul de probabilitate maximă a priori (MAP), detecția și discriminarea producerii schimbărilor în parametrii și în dispersia zgomotului modelului semnalului.

2. Modulele BSS permit separarea "oarbă" a surselor de vibrație independente, [26], utilizând algoritmi SOBI (Second Order Blind Identification), [27], și JADE (Joint Approximate Diagonalization of Eigen-matrices) pentru semnale reale, [28]. În ingineria mecanică, cel puțin, problema estimării surselor de vibrație endogene necunoscute din măsurătorile exogene reprezintă o preocupare majoră. Utilizarea tehnicilor BSS împreună cu alte tehnici asociate modulelor CDS și TFA se dovedește un succes în rezolvarea problemei CDD. În acest caz, problema CDD este translatată într-un nou spațiu, în locul celui generat de semnalele de vibrație originale, ceea ce simplifică problema de detecție, numărul semnalelor ce fac obiectul analizei fiind mai mic, iar analiza se va realiza pe semnale monodimensionale.
3. Modulele TFR permit calculul, și vizualizarea distribuțiilor timp-frecvență, pentru reprezentările din clasa Cohen, [29], calculul marginalelor și a energiei unei reprezentări timp-frecvență, calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în frecvență, calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în timp, calculul entropiei Renyi pentru diferite distribuții timp-frecvență. Analiza, prelucrarea și estimarea parametrilor semnalelor al căror conținut spectral se modifică în timp sunt cruciale în multe aplicații CDD. Aceste module sunt necesare pentru extragerea caracteristicilor semnalelor de vibrație ce fac obiectul analizei, precum și pentru localizarea anumitor componente în semnal, în scopul asistării deciziei. Mai multe versiuni de lucru a modulelor incluse în subsistemul VIBROTOOL, utilizate în rezolvarea unei probleme CDS, se prezintă în Figura 4.

6. Avantaje invenției în raport cu stadiul tehnicii

Avantajele pe care soluția propusă le prezintă, comparativ cu soluțiile cunoscute în prezent, sunt:

1. Sistemul VIBROCHANGE.DS permite efectuarea unor prelucrări avansate de semnal pentru rezolvarea problemei CDD, care se prezintă în Figura 4, și care - după informațiile noastre - nu se regăsesc în alte sisteme similare, menționând în mod special:
 - Segmentarea semnalelor de vibrație utilizând estimatorul de probabilitate maximă a priori (MAP).
 - Detecția și discriminarea schimbărilor produse în parametrii și în dispersia zgomotului modelului, ceea ce permite determinarea momentelor de timp ale producerii acestora în condițiile experimentale (mediu) și în dinamica sistemului (procesul fizic), în special pentru sisteme cu intrări arbitrare și nestaționare, cunoscute sau necunoscute;
 - Detecția schimbărilor utilizând entropia Renyi pe termen scurt, ca un nou spațiu de decizie, ceea ce permite o detecție mai robustă a schimbărilor în semnalele de vibrație, decât în cazul aplicării procedurii de segmentare pe semnalele originale.
2. Prin aplicarea procedurilor implementate în cadrul sistemului, se va realiza și fuziunea informației rezultate în urma etapelor de prelucrare menționate anterior, în scopul unei monitorizării eficiente a mașinii sau utilajului, cu evitarea unor alarme false privind necesitatea efectuării unei revizii, și va furniza informații suplimentare în scop de diagnoză.
3. Prin procedurile cu care se operează în cadrul sistemului, cum ar fi separarea "oarbă" a surselor de vibrație independente, se realizează o pre-procesare a datelor de măsură, ceea

ce permite facilitarea detecției schimbărilor produse în funcționarea mașinii (acestea apar mult mai vizibile în sursele de vibrație independente, decât în semnalele originale), dar și o post-procesare a rezultatelor detecției, prin calculul unor mărimi specifice, ce permit extragerea informației din planul timp-frecvență.

4. Sistemul poate fi folosit la testarea în timp real a algoritmilor CDD, folosind lucrul în tandem al subsistemelor VIBROTOOL și VIBROMOD, prin adaptarea la procesul fizic. După optimizarea parametrilor în subsistemul VIBROTOOL, algoritmi sunt exportati și implementati în VIBROMOD, urmând să fie testați pe procese fizice reale. Prin această funcție de testare, se asigură atât îndeplinirea unor condiții de robustețe a algoritmilor folosiți pentru CDD, dar și rezolvarea unei mari probleme din practica inginerescă, când algoritmi utilizați în laborator nu furnizează aceleași soluții cand sunt implementați în procese și echipamente reale.

7. Modul de realizare și aplicare a invenției

Modul de realizare și aplicare a invenției constă în utilizarea sistemului VIBROCHANGE.DS într-o problemă de monitorizare a unei mașini rotative, a unui utilaj tehnologic, sau a unor componente ale acestora. Realizarea și aplicarea invenției sunt exemplificate pentru o mașina rotativă, o pompa industrială de mare capacitate, folosind date ce fac obiectul mai multor studii de caz, [30].

Semnalele de vibrație, accelerațiile pe 7 canale, au fost măsurate pe carcasa mașinii și repetate pe două mașini identice, prima aflată în regim de funcționare normal, iar pentru cea de a doua s-a procedat la inducerea unei defecțiuni la cutia de viteze. Semnalele de vibrație, măsurate la înalta frecvență, au fost eșantionate cu 12800 Hz. S-a utilizat un segment de date de 4096 valori, 2048 de la pompa aflată în regim de funcționare normal, și 2048 de la pompa la care a fost indusă defecțiunea, ambele la încărcare minimă. Date au fost filtrate trece jos la 5000 Hz. Accelerațiile măsurate de senzorii S1-S7 sunt reprezentate în Figura 5.

Pentru exemplificarea modului de lucru al sistemului VIBROCHANGE.DS, ca mod de aplicare, s-a utilizat procedura de prelucrare reprezentată în Figura 6, aceasta reprezentând una din facilitățile modului VIBROTOOL, aplicată după măsurarea și filtrarea semnalelor de vibrație cu modulul VIBROMOD. Prezentăm în continuare principalele etape de lucru și rezultatele obținute în acest studiu de caz.

7.1 Separarea ”oarbă” a surselor

Semnalele de vibrație au reprezentat datele de intrare pentru algoritmul SOBI de estimare a surselor independente de vibrație, în cazul modelului de mixare instantaneu; aplicarea procedurii de estimare a numărului surselor independente a condus la 2 surse independente de vibrație. Sursele rezultate sunt reprezentate în Figura 7.

7.2 Analiza timp-frecvență

Figura 8 prezintă distribuția timp-frecvență cu interferență redusă (RID) pentru sursa S1, cu utilizarea unei fereastre Hanning. Aceasta a fost calculată pentru un număr de puncte de frecvență, $N_f = 4096$, identic cu momentele de timp utilizate, o fereastră de netezire în timp, $g(u)$, de dimensiune $L_g = 204$, o fereastră de netezire în frecvență, $h(v)$, de dimensiune $L_h = 512$, și un prag de 5%. Resultatele analizei timp-frecvență pentru sursa S2 sunt prezentate în Figura 9, pentru același tip de distribuție, RID, utilizând o fereastră Hanning și aceiași parametri, ca în cazul analizei sursei S1. Se constată o schimbare mai redusă a

conținutului spectral al sursei S2, în cea de a doua parte a semnalului, în comparație cu schimbarea de conținut spectral produsă în sursa S1.

7.3 Calculul entropiei Renyi

Estimarea informației conținute în cele 2 surse independente de vibrație s-a realizat prin calculul entropiei Renyi a acestora. Prezentăm în Figura 10 entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S1, cu utilizarea unei fereastre alunecătoare de dimensiune $N = 64$ și o constantă de deviere egală cu 1, adăugată la valoarea semnalului. Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S2, utilizând aceleași valori pentru fereastra alunecătoare și constanta de deviere, este reprezentată în Figura 11.

7.4 Segmentarea entropiei Renyi

Analiza vizuala a entropiei Renyi pentru ambele surse, scoate în evidență faptul că există un moment de timp în care se produce o schimbare în conținutul de energie și de frecvență. Procedura de detecție a schimbărilor în cazul celor două entropii Renyi s-a realizat cu estimatorul MAP, în cazul unui zgomot constant necunoscut, cu următoarele valori ale parametrilor de proiectare: $q = 0.3$, $M = 10$, $l = 8$ și $mseg = 700$, [31]. Procedura de segmentare a fost realizată pentru un model autoregresiv AR(1) de forma:

$$y_t = -\Phi_1 * y_{t-1} + e_t \quad (3)$$

Estimările parametrilor modelului și ale dispersiei zgomotului, rezultate în urma aplicării algoritmului bazat pe estimatorul MAP, pentru entropiile Renyi ale celor două surse, sunt prezentate în Figura 12 și respectiv în Figura 13.

Valorile dispersiei zgomotului modelului cu parametrii constanți pe porțiuni, în cazul ambelor surse, prezintă schimbări semnificative în cea de a doua parte a semnalului, ceea ce denotă un fenomen de ruptură, cauzat de inducerea defecțiunii în funcționarea mașinii.

8 Aplicarea în mediul industrial a invenției

În ceea ce privește aplicarea în mediul industrial a invenției, considerăm posibile următoarele moduri de utilizare:

1. Dispunand de o înregistrare de date, semnale de vibrație, obținută cu modulul VIBROSIG, se pot analiza utilizând funcțiunile de prelucrare primară implementate în cadrul modulului VIBROMOD, sau cu funcții din modulul VIBROTOOL. Rezultatele obținute oferă o imagine de ansamblu asupra proceselor vibratorii specifice mașinii rotative, sau componentelor acesteia, ce fac obiectul monitorizării.
2. În cazul în care se dispune de o înregistrare de probă a semnalelor de vibrație din funcționarea normală a mașinii rotative, sau a componentelor acesteia, (înregistrare martor), aceasta poate fi concatenată cu o înregistrare curentă din funcționarea mașinii rotative, sau a componentelor acesteia, semnalul rezultat urmând a fi analizat cu procedurile de calcul implementate în cadrul modulului VIBROTOOL, în urma analizei rezultând dacă datele celor două înregistrări sunt coerente, sau dacă s-a produs o schimbare în funcționarea mașinii, sau a componentelor acesteia. Pe baza acestor

rezultate și a unor informații ce țin de experiența utilizatorului se poate trece la diagnoză și localizarea posibilei defecțiuni.

3. Disponând de o înregistrare de date, semnale de vibrație, de o anumită lungime N , aceasta poate fi analizată utilizând toate tipurile de prelucrări din modulul VIBROTOOL. Din setul de date se poate renunța, de exemplu, la primele $N/3$ din date, setul de date urmând a fi completat cu alte $N/3$ date recente, furnizate de modulul VIBROSIG, și analiza continuă. Astfel, se poate realiza analiza on-line a semnalelor de vibrație, pe durata funcționării mașinii rotative, rezultând posibilele momente ale producerii unei schimbări în funcționarea acesteia, informațiile obținute urmând a fi utilizate în scop de diagnoză.

Se evidențiază faptul că invenția poate fi aplicată nu numai în domeniul monitorizării stării de bună funcționare a mașinilor rotative și a componentelor acestora, ci și în alte domenii cum ar fi: industria energetică (turbine, generatoare, etc.), ingineria civilă (clădiri mari supuse acțiunii vântului sau mișcărilor seismice, poduri, baraje, platforme marine), aeronautică (structuri și componente supuse solicitărilor), automobile și sisteme de transport, etc.

Bibliografie

- [1]. M. Basseville, I. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes-Theory and Applications, P.Hall, N.J., 1993.
- [2]. F. Gustafsson, Adaptive Filtering and Change Detection, Wiley, 2001.
- [3]. J. Gertler, Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems, Marcel Dekker, 1998.
- [4]. M. Timusk, M. Lipsett, C. K. Mechefske, Fault detection using transient machine signals, Mechanical Systems and Signal Processing, 2008, pp. 1724-1749.
- [5]. R. Isermann, Supervision, fault-detection and fault-diagnosis methods - An introduction, Control Engineering Practice, 1997, pp. 639-652.
- [6]. M. Basseville, Statistical approaches to industrial monitoring problems - Fault detection and isolation, Proc. of the 11th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation - SYSID'97, Kitakyushu, Japan, July 8-11, 1997.
- [7]. F. Gustafsson, Statistical signal processing approaches to fault detection, Annual Reviews in Control, 2007, pp. 41-54.
- [8]. * * * Intellinova Data Sheel & Installation Instructions (www.spminstrument.com) – SPMInstrument AB GmbH Austria
- [9]. * * * CSI 6500 - Machinery Health™ Monitor Online System Installation and Configuration - 2010 by Emerson Process Management
- [10]. * * * Specifications Sheet may 2012 (Technical Data for Process Module) Machinery Health™ Monitor by Emerson Process Management
- [11]. * * * Condition Monitoring of Pumps SIHIdetect (www.sterlingSIHI.com)
- [12]. * * * Expert Vibro Technical Specifications Delphin Technology,
<http://www.delphin.com/vibration-measurement.html>
- [13]. * * * TopMessage Presentare generală (http://www.femaris.ro)
- [14]. * * * ProfiMessage Presentare generală (http://www.femaris.ro)

- [15]. * * * ProfiSignal Go Presentare general`a (<http://www.femaris.ro>)
- [16]. * * * VibDIN Technical Specification (www.vibx.energocontrol.pl)
- [17]. * * * SPIDER-80X - Scalable Dynamic Measurement System (www.go-ci.com)
- [18]. * * * <https://www.gemeasurement.com/condition-monitoring-and-protection/rack-basedmonitoring/bently-nevada-3500-series-machinery-monitoring-system>
- [19]. * * * <https://www.prognost.com/silver/>
- [20]. * * * System and methodology for vibration analysis and condition monitoring, PatentUS7133801 , Exxon Mobil Research and Engineering Company
- [21]. * * * Method and system for diagnostics and prognostics of a mechanical system, PatentUS7027953, Rsl Electronics Ltd.
- [22]. * * * System for monitoring plant equipment Patent US8868242 Holcim (US), Inc.
- [23]. * * * Machine fault information detection and reporting, Patent US7142990, Csi Technology, Inc.
- [24]. * * * Apparatus for analysing the condition of a machine having a rotating part, PatentUS9279715, S.P.M. Instrument Ab
- [25]. * * * System and method for vibration severity assessment independently of vibration frequency, Patent US9595179, Vibrosystm Inc.
- [26]. A. Hyvarinen, J. Karhunen, E. Oja, Independent Component Analysis, John Wiley, 2001.
- [27]. A. Belouchrani, K. Abed Meraim, J. F. Cardoso, E. Moulines, A blind source separation technique using second - order statistics, IEEE Trans. Signal Processing 45, 1997, pp.434-444.
- [28]. J. F. Cardoso, A. Souloumiac, Blind beamforming for non gaussian signals, IEEProceedings-F, 1993, pp. 362-370.
- [29]. L. Cohen, Time-Frequency Distribution, Prentice Hall, New York, 1995.
- [30]. A. Ypma, Learning Methods for Machine Vibration Analysis and Health Monitoring, PhDThesis, TU Delft, 2001.
- [31]. Th. D. Popescu, Signal segmentation using changing regression models with application in seismic engineering, Digital Signal Processing, 2014, pp. 14-26.

VIBROCHANGE.DS - Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Revendicări

1. Modulul subsistem VIBROTOOL, parte componentă a sistemului VIBROCHANGE.DS, pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, **caracterizat prin aceea că** realizează următoarele tipuri de prelucrări pentru rezolvarea problemei de detecție și diagnoză a schimbărilor (CDD) în procese vibratorii, așa cum se prezintă în Figura 4, și care nu se regăsesc în alte sisteme similare:
 - a) Segmentarea semnalelor de vibrație utilizând estimatorul de probabilitate maximă a priori (MAP);
 - b) Detecția și discriminarea schimbărilor produse în parametrii și în dispersia zgomotului modelului, ceea ce permite determinarea producerii acestora în condițiile experimentale (mediu) și în dinamica sistemului (procesul fizic), în special pentru sisteme cu intrări arbitrare și nestaționare, cunoscute sau necunoscute;
 - c) Detecția schimbărilor utilizând entropia Renyi pe termen scurt, ca un nou spațiu de decizie, ceea ce permite o detecție mai robustă a schimbărilor în semnalele de vibrație, decât în cazul aplicării procedurilor de detecție pe semnalele originale;
 - d) Prin folosirea procedurilor implementate în acest subsistem se realizează fuziunea informației rezultate în urma etapelor de prelucrare menționate anterior, ceea ce permite monitorizarea eficientă a procesului fizic, și obținerea de informații suplimentare în scop de diagnoză;
 - e) Prin folosirea metodelor specifice separării „oarbe” a surselor de vibrație independente (BSS) se realizează o pre-procesare a semnalelor de vibrație, ceea ce facilitează detecția schimbărilor produse în funcționarea mașinii (acestea apar mult mai vizibile în sursele de vibrație independente, decât în semnalele originale). De asemenea, aplicarea tehnicilor specifice analizei timp-frecvență (TF) permite o post-procesare a rezultatelor detecției, prin calculul unor mărimi specifice, ce permit extragerea informației din planul timp-frecvență.
2. Modulul subsistem VIBROMOD, componentă a sistemului VIBROCHANGE.DS, pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici de analiză bazate pe model, **caracterizat prin aceea că** prin aplicarea procedurilor implementate, ce utilizează algoritmi în timp real, se asigură un compromis între sensibilitatea și robustețea procesului de detecție, asigurându-se astfel un grad ridicat de adaptabilitate la sistemul monitorizat. Modulul are trei niveluri de prelucrare și de extragere a informației: nivel mașină, nivel secție și nivel întreprindere. Fiecare nivel are o scară de timp proprie și efectuează atât prelucrări generale, cât și prelucrări specifice nivelului considerat.
3. Sistemul VIBROCHANGE.DS pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, **caracterizat prin aceea că** prin folosirea în tandem a subsistemelor VIBROTOOL și VIBROMOD se realizează testarea și optimizarea robusteții algoritmilor de detecție dezvoltați în limbaje de nivel înalt, folosind pentru validare structuri de calcul și procese fizice reale. Se asigură astfel adaptarea la procesul monitorizat, precum și fiabilitatea metodelor și algoritmilor de detecție a schimbării din cadrul procedurii generale de mentenanță predictivă.

VIBROCHANGE.DS – Desene Explicative

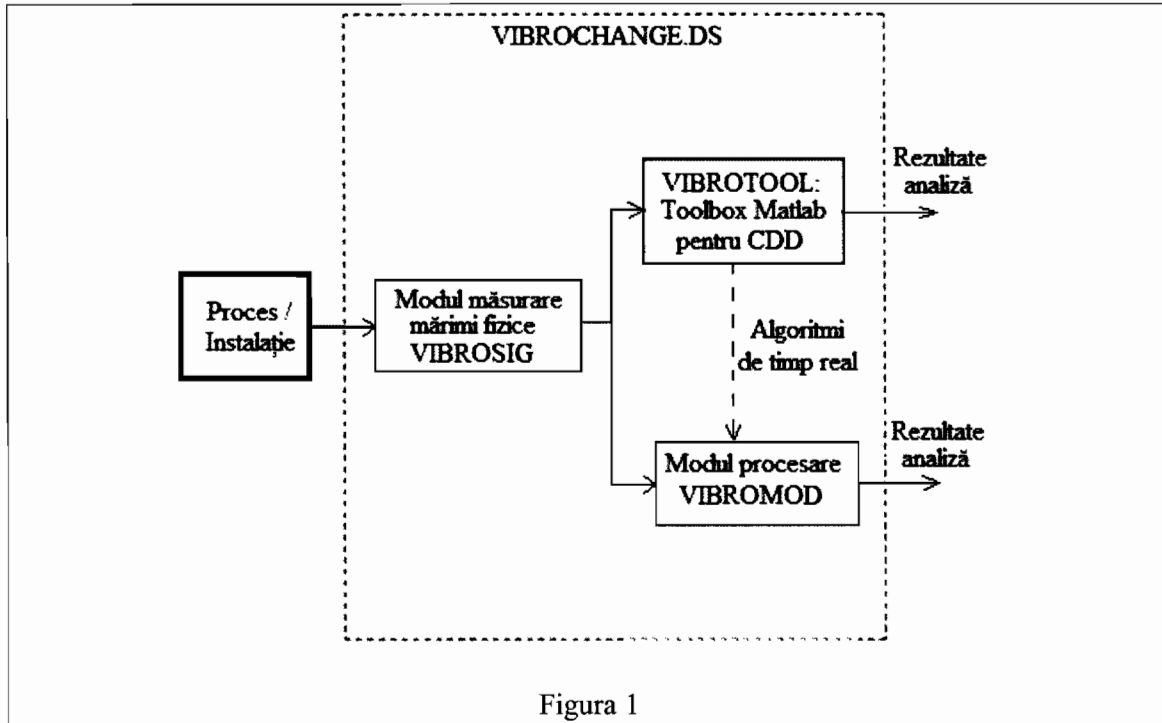


Figura 1

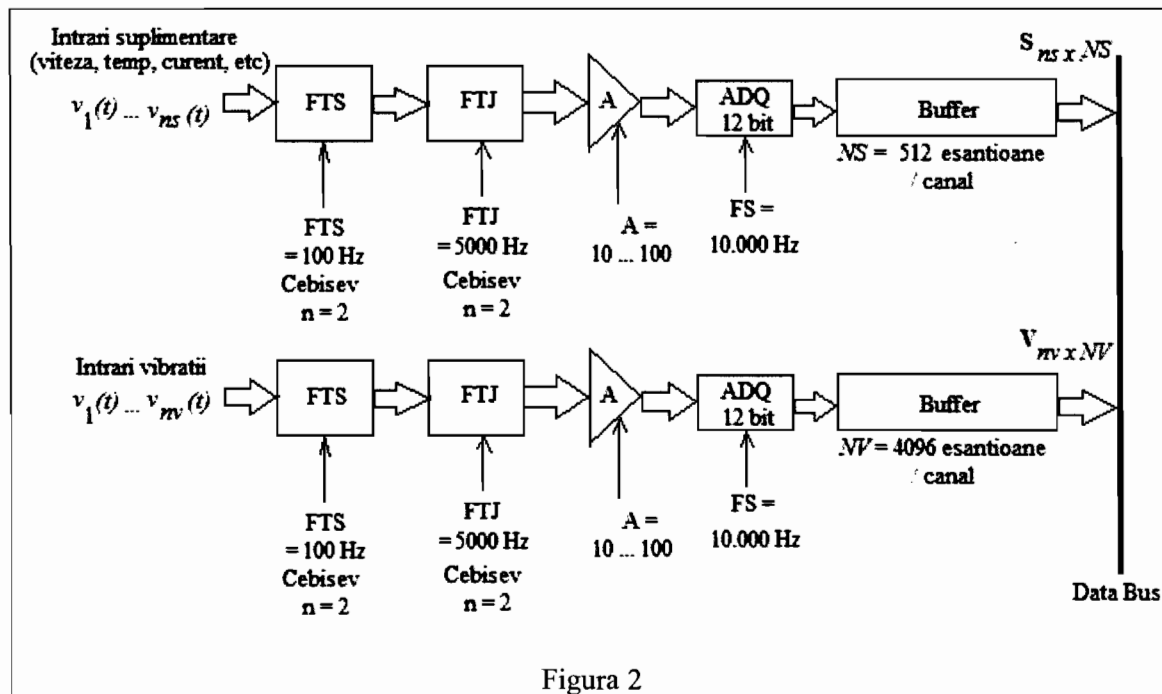


Figura 2

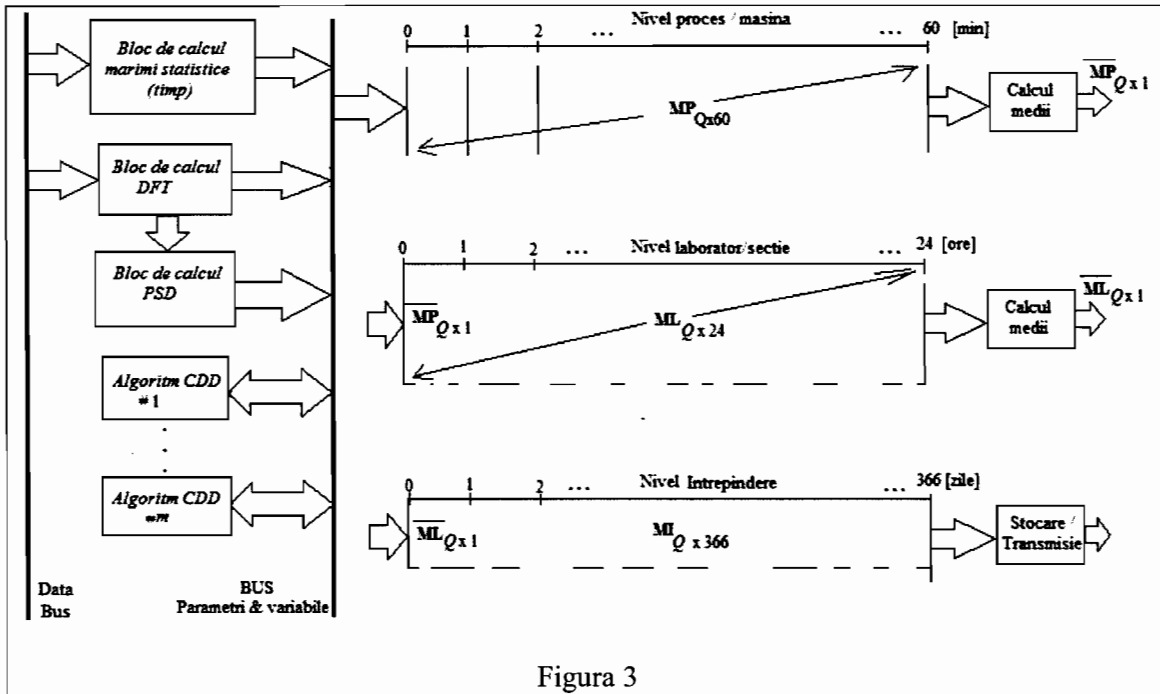


Figura 3

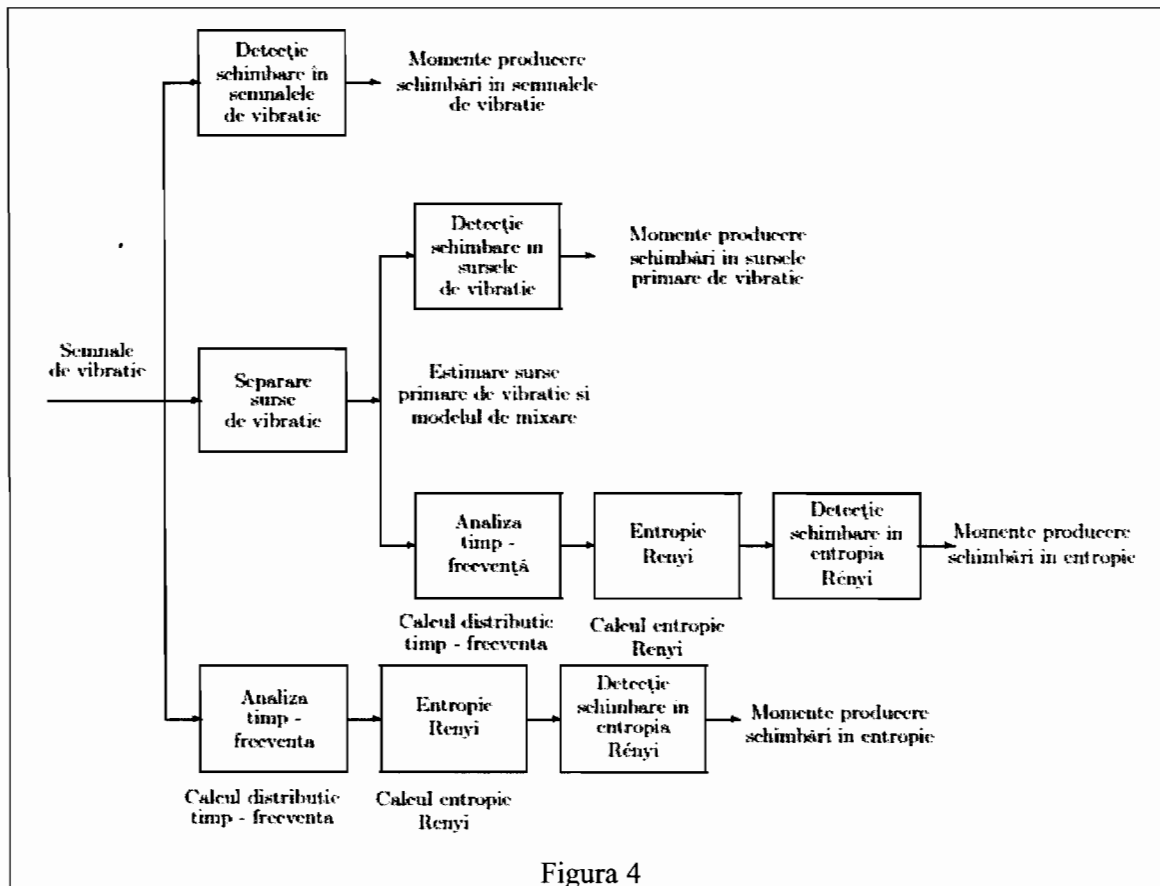


Figura 4

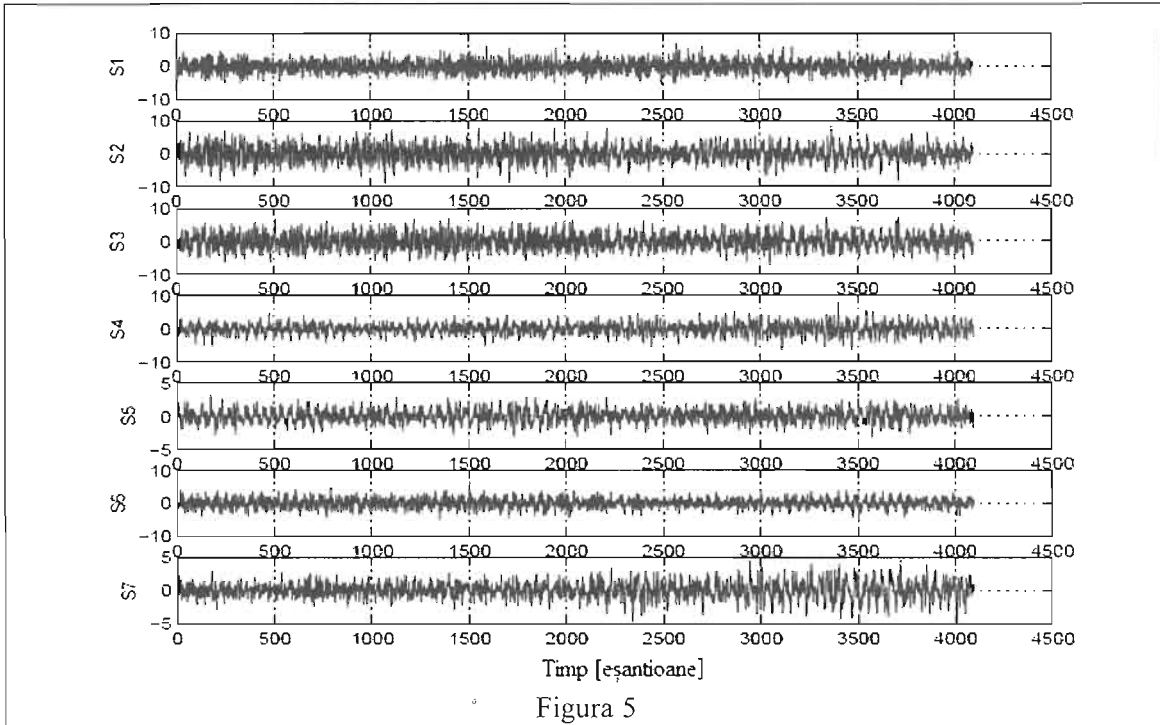


Figura 5

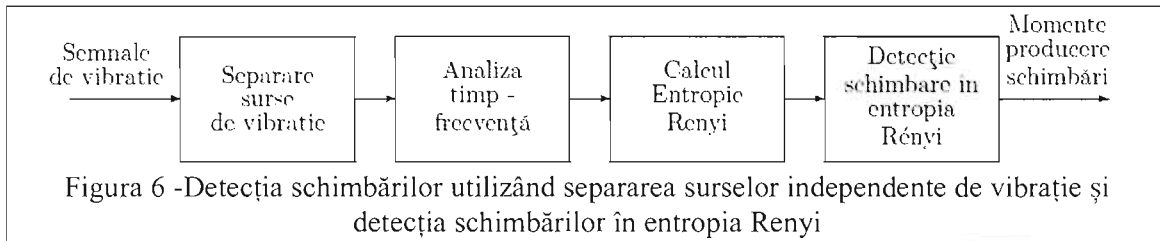


Figura 6 -Deteția schimbărilor utilizând separarea surselor independente de vibrație și deteția schimbărilor în entropia Rényi

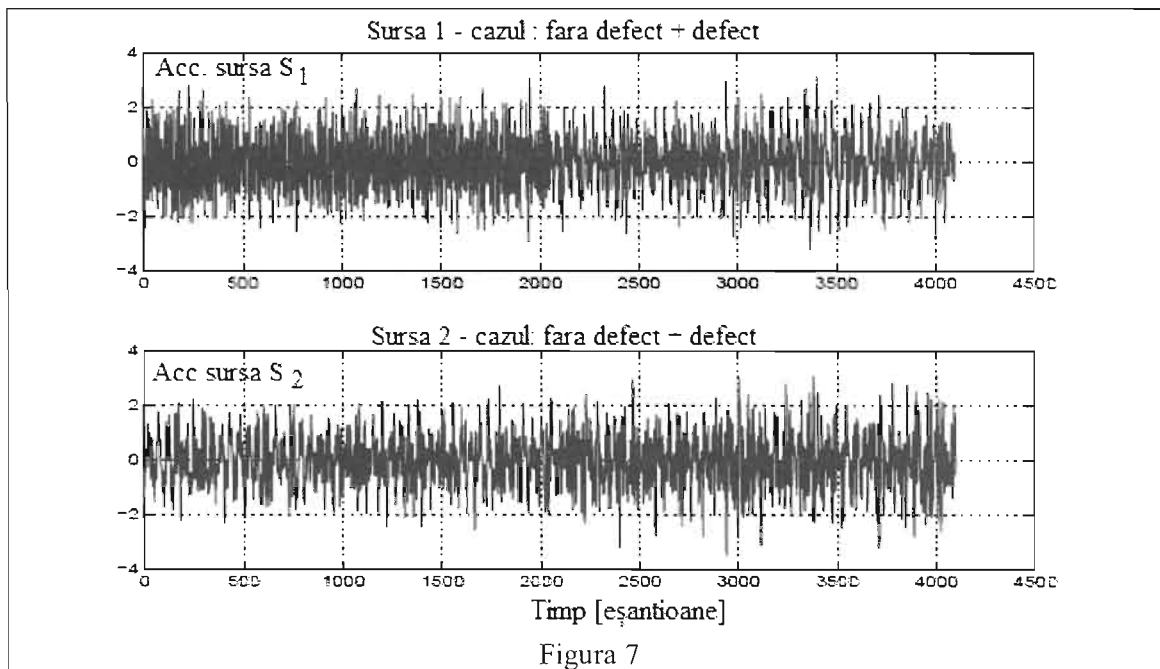


Figura 7

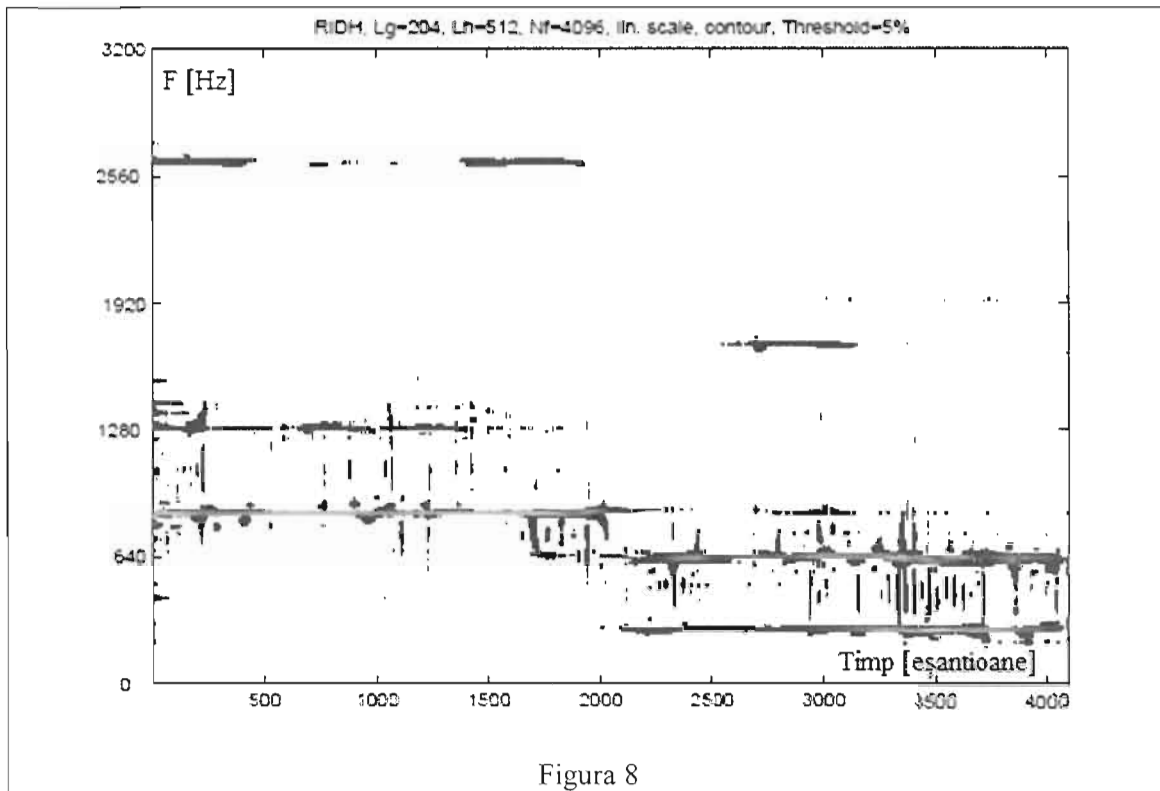


Figura 8

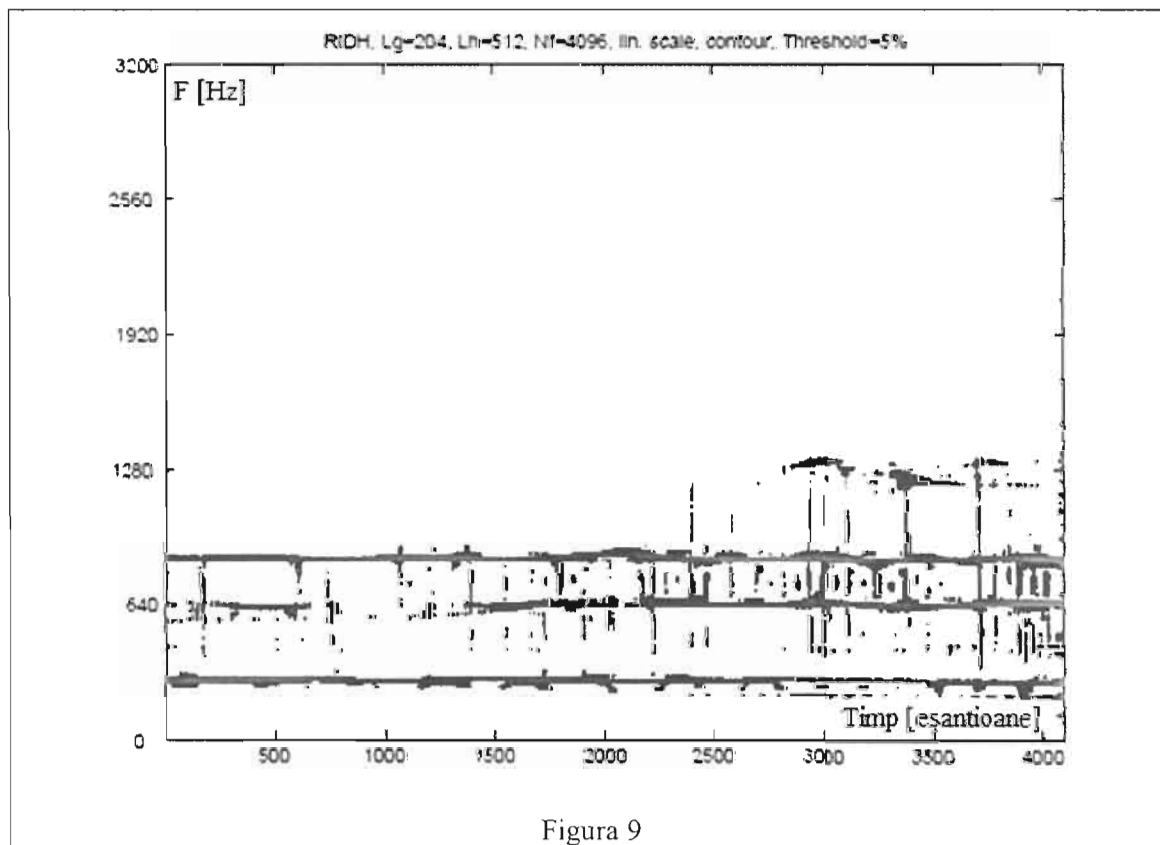


Figura 9

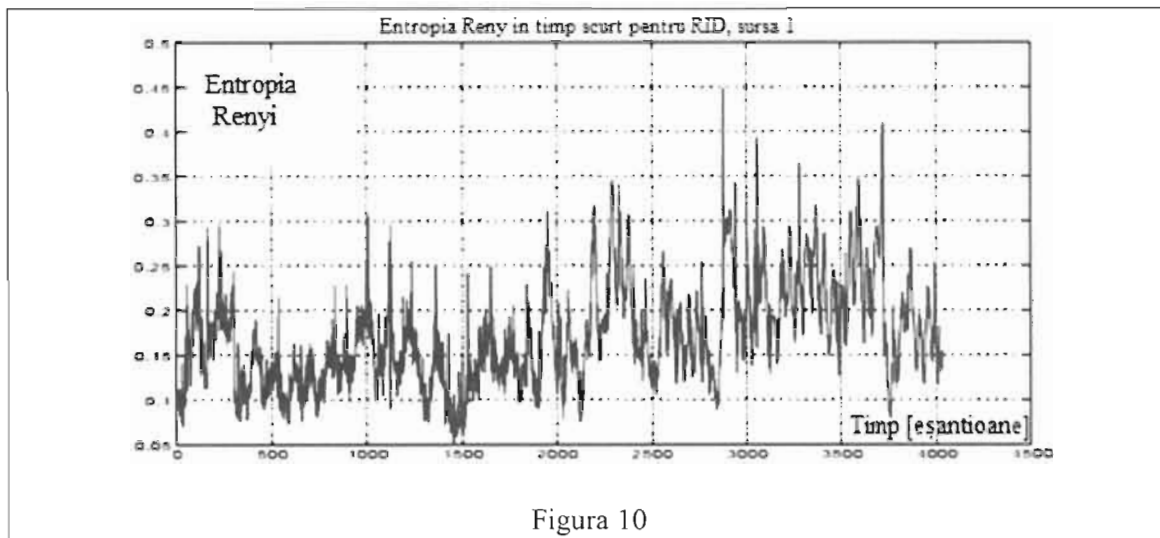


Figura 10

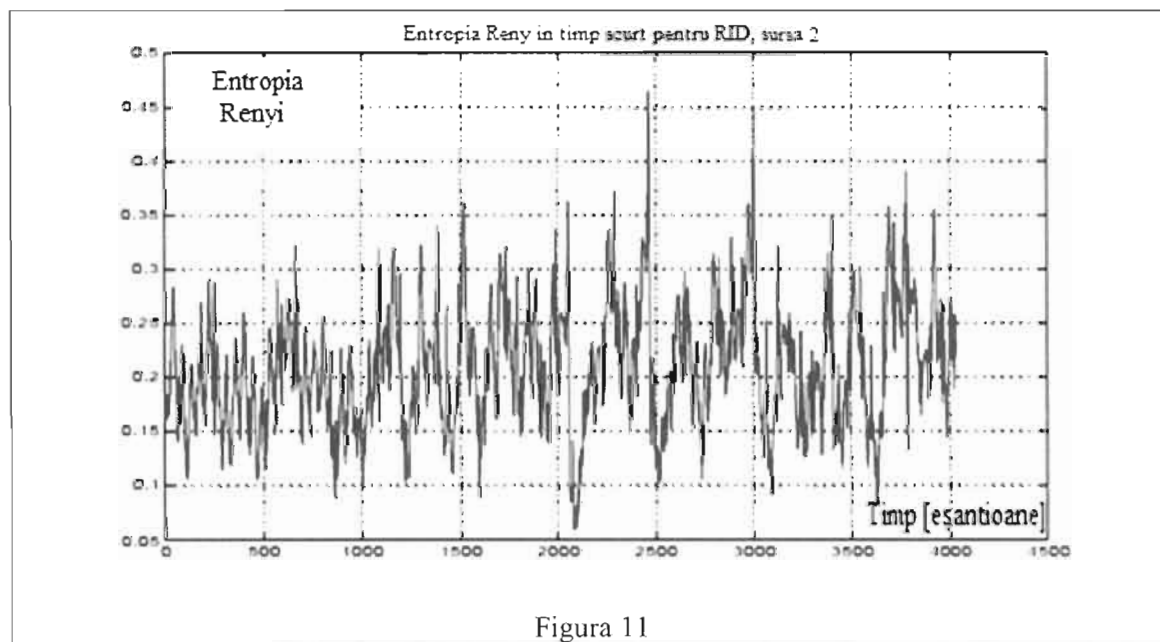


Figura 11

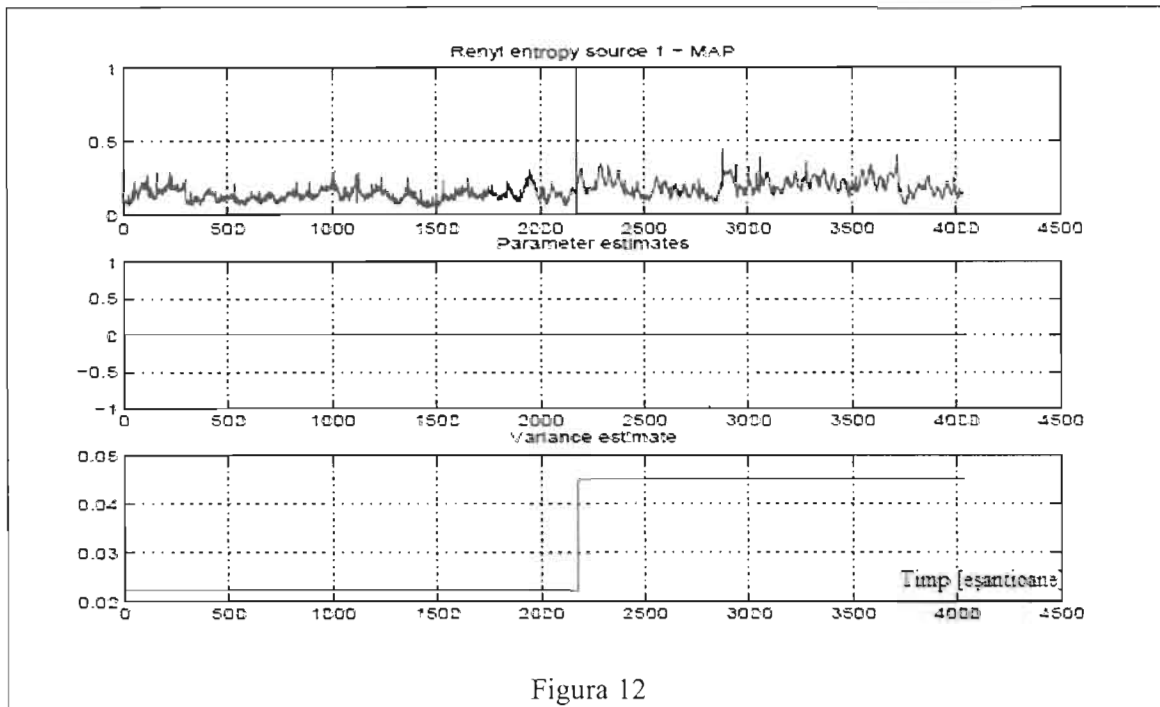


Figura 12

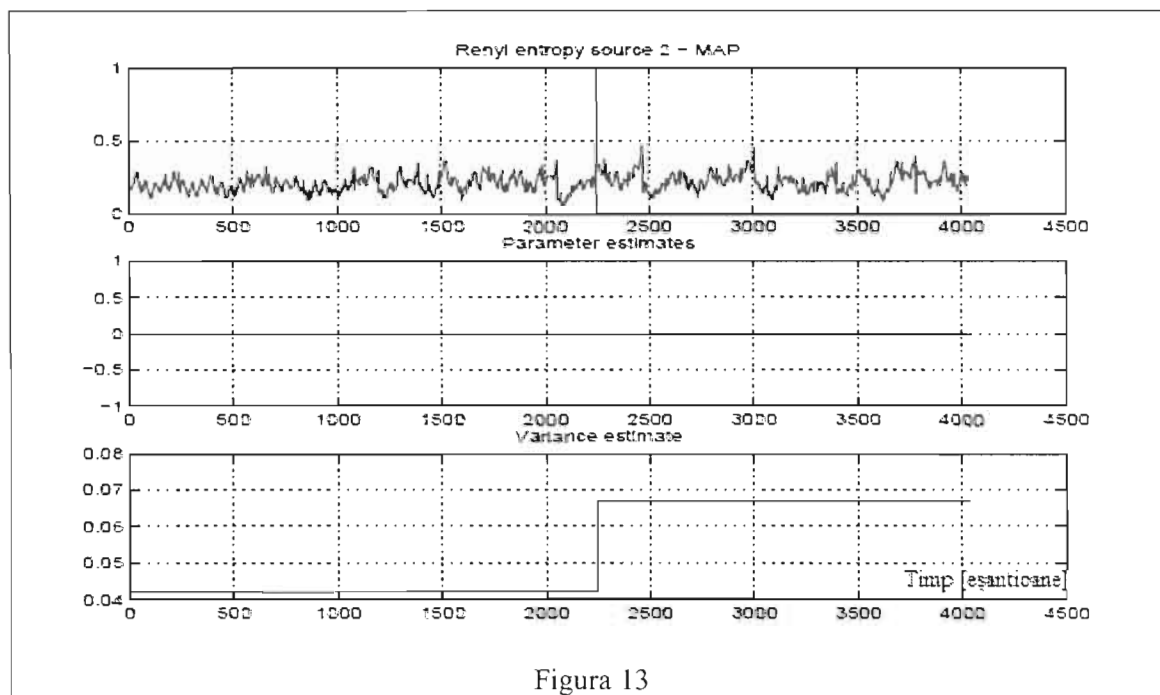


Figura 13

Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Descrierea invenției

1. Titlul invenției

Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

2. Domeniul tehnic la care se referă invenția

Invenția se referă la un sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale, în scopuri de mentenanță predictivă.

3. Stadiul tehnicii în domeniu

În prezent se manifestă o cerință crescută privind înlocuirea procedurilor de întreținere periodică a mașinilor și utilajelor industriale prin strategii de întreținere condițională, bazate pe supravegherea continuă sau prin sondaj a comportării acestora. În acest context, apare ca soluție eficientă, detecția din timp a funcționării anormale a mașinilor și utilajelor industriale, în raport cu o caracterizare a acestora în stare de funcționare normală.

Un mod de abordare al acestei probleme constă în detecția incipientă a deviațiilor mici ale unor semnale de vibrație măsurate, în raport cu datele furnizate de o descriere parametrică a unui model, în condiții normale de lucru ale mașinii sau utilajului. Dacă pot fi detectate astfel de schimbări în faza incipientă, în raport cu schimbările în condițiile normale de operare, se poate realiza prevenirea apariției unor variații mari ale unor mărimi, ca rezultat al producerii unor defecțiuni sau avarii, sau a stării de oboseală, înaintea producerii funcționării anormale a mașinii și, în consecință, să crească disponibilitatea acesteia.

În ultimele două decade, problema întreținerii condiționale, sau preventive, s-a bucurat de o atenție deosebită, atât în cadrul cercetărilor, cât și al aplicațiilor în diferite domenii, așa cum rezultă din lucrările unor autori consacrați: M. Basseville, I. Nikiforov, "Detection of Abrupt Changes-Theory and Applications", P.Hall, N.J., 1993; F. Gustafsson, „Adaptive Filtering and Change Detection”, Wiley, 2001; J. Gertler, „Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems”, Marcel Dekker, 1998; M. Timusk, M. Lipsett, C. K. Mechefske, „Fault detection using transient machine signals”, Mechanical Systems and Signal Processing, 2008; R. Isermann, „Supervision, fault-detection and fault-diagnosis methods - An introduction”, Control Engineering Practice, 1997, etc.



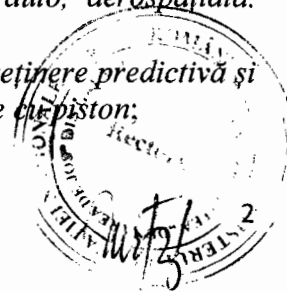
Multe aplicații în acest domeniu fac uz de teorii bazate pe statistică, cum ar fi cele raportate de M. Basseville în „Statistical approaches to industrial monitoring problems - Fault detection and isolation”, Proc. of the 11th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation - SYSID'97, Kitakyushu, Japan, July 8-11, 1997 și F. Gustafsson în „Statistical signal processing approaches to fault detection”, Annual Reviews in Control, 2007, printre alții, care furnizează instrumente teoretice pentru rezolvarea problemei detecției preventive a producerii unor evenimente nedorite în funcționarea mașinii sau utilajului.

Această abordare presupune existența unui model matematic al mașinii sau utilajului, adesea greu de stabilit. O altă abordare, care face și obiectul prezentei invenții, se bazează pe paradigma prelucrării semnalelor care provin de la mașina sau utilajul monitorizat, cel mai frecvent semnale de vibrație. Siguranța, disponibilitatea, eficiența și performanțele unor mașini și utilaje industriale, sau componente electromecanice ale acestora, reprezintă preocupări majore în industrie. Monitorizarea condițională și diagnoza producerii unor defecțiuni este o practică greoaie, care necesită un efort mare. În acest scop au fost propuse diferite metode de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, în special pentru mașinile rotative sau componente ale acestora. Problema detecției și diagnozei producerii unor defecțiuni implică următoarele faze: achiziția datelor, extragerea caracteristicilor, detecția producerii unei defecțiuni și identificarea acesteia (diagnoza).

Tehnicile de extragere efectivă a caracteristicilor sunt foarte critice în rezolvarea acestei probleme. Semnalele de vibrație colectate de senzori sunt afectate de zgomot și necesită a fi prelucrate, înaintea utilizării pentru detecția și diagnoza producerii unei eventuale defecțiuni a mașinii, sau a unor componente ale acesteia. Caracteristicile semnalului (adesea denumite trasături sau „amprente”) nu pot fi detectate fără utilizarea unor tehnici specifice. Tehnicile de extragere a caracteristicilor pot crește raportul semnal/zgomot, fie localiza anumite componente în semnal, în scopul asistării deciziei privind producerea unei schimbări. În general, tehnicile de analiză a vibrațiilor aplicate pentru detecție și diagnoză acoperă o arie extinsă, de la tehnici statistice la tehnici bazate pe model și includ diferiți algoritmi de prelucrare a semnalelor pentru extragerea informației necesare în scop de detecție și diagnoza.

Cele menționate anterior justifică necesitatea dezvoltării unor sisteme capabile să ofere asistență în rezolvarea acestei probleme. Astfel de sisteme sunt oferite de mai multe firme și companii:

- Intellinova Data Sheel & Installation Instructions - SPM Instrument AB GmbH Austria: *Sistem on-line pentru intretinere predictiva si monitorizarea starii masinilor rotative;*
- CSI 6500MS EMERSON, Emerson Process Management: *Sistem on-line pentru intretinere predictivă și monitorizare: motoare, rulmenți, pompe, cutii de viteze, etc;*
- SterlingSIHI GmbH: *Sistem on-line pentru întreținere predictivă și monitorizare;*
- Delphin Technology: *Sistem on-line pentru întreținere predictivă și monitorizare;*
- Femaris SRL Romania: *Monitorizare on-line și off-line a parametrilor industriali - vibrații, temperaturi, presiuni, etc;*
- Energocontrol Polonia: *Monitorizare on-line și off-line a parametrilor industriali - vibrații;*
- Spider 80, Crystal Instruments SUA: *Sistem on-line pentru întreținere predictivă și monitorizare: starea mașinilor, pentru industria aeronautică, auto, aerospațială, electronică și militară;*
- RACK3500 Bently Nevada GE Energy: *Sistem on-line pentru întreținere predictivă și monitorizare: turbine cu gaz și abur rotative, compresoare, pompe cu piston;*



- Rack SILver PROGNOST: *Sistem monitorizare compresoare cu piston, pompe, turbocompresoare.*

De asemenea, au fost brevetate mai multe sisteme și tehnologii în domeniul ce face obiectul invenției de următoarele firme: Exxon Mobil and Engineering Company, RSI Electronics Ltd., Holcim (US), Inc., CSI Technology, S.P.M. Instrument Ab, Vibrosystem, etc.

Sistemul ce face obiectul prezentei Cereri de Brevet implementează algoritmi, metode și tehnologii de prelucrare a informației, tehnici computaționale, tehnici de asistare a deciziei, statistică aplicată, bazate pe analiza componentelor independente, extragerea caracteristicilor și detecție/segmentare, precum și pe analiza timp-frecvență, care asigură performanțe deosebite în procesul de monitorizare, și care nu se regăsesc în alte sisteme de acest gen.

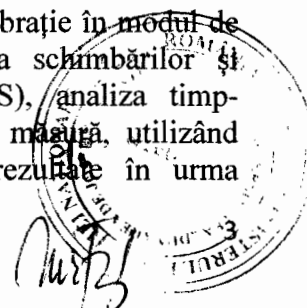
4. Expunerea pe scurt a invenției

Invenția se referă la un sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale cu componente vibratorii, în scopuri de mentenanță predictivă. Sistemul include 3 module subsistem, ce se prezintă în Figura 1 și se descriu succint în continuare. Acestea permit realizarea funcțiilor principale: (1) măsurarea, procesarea primară și înregistrarea într-o bază de date a semnalelor multidimensionale care fac obiectul prelucrărilor (VIBROSIG); (2) analiza complexă a semnalelor de vibrație cu metode avansate de prelucrare și implementarea algoritmilor într-un limbaj de nivel înalt (VIBROTOOL), pentru detecția schimbărilor și segmentare (CDS), separarea "oarbă" a surselor de vibrație (BSS), și analiza timp-frecvență (TFR); (3) implementarea în timp real cu modulul VIBROMOD, pe procese fizice, a unor algoritmi avansați, dezvoltati în cadrul VIBROTOOL, în funcție de particularitățile și cerințele procesului monitorizat.

5. Problema tehnică rezolvată de invenție

Problema tehnică rezolvată în cadrul invenției se referă la dezvoltarea unui sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii, folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, cu aplicabilitate în monitorizarea mașinilor și utilajelor industriale. Sistemul include mai multe module subsistem, așa cum se prezintă în Figura 1, și a căror dezvoltare și implementare a condus la rezolvarea problemei tehnice ce face obiectul invenției. Sub-sistemele de bază sunt:

1. VIBROSIG este un modul clasic pentru achiziția semnalelor analogice de tip vibrații, folosind traductoare de tip accelerometre și un număr de 4 până la 8 canale sincrone, în funcție de proces. Se efectuează o serie de prelucrări specifice achiziției de date, din care menționăm: filtrări trece jos, filtrare trece sus, amplificare, conversie analog-numerică și formatare date.
2. VIBROTOOL permite analiza avansată, complexă, a semnalelor de vibrație în modul de lucru off-line, prin implementarea unor funcțiuni pentru detecția schimbărilor și segmentare (CDS), separarea "oarbă" a surselor de vibrație (BSS), analiza timp-frecvență (TFR) și o analiză a concentrației energiei semnalelor de măsură, utilizând entropia Renyi. În plus, se realizează și fuziunea informației rezultate în urma



prelucrărilor menționate anterior, o pre-procesare a datelor de măsură, semnalele de vibrație, precum și o post-procesare a rezultatelor detecției.

- VIBROMOD asigură realizarea funcțiilor ce țin de prelucrarea primară a datelor care urmează să facă obiectul prelucrărilor ulterioare, în scopul detecției și diagnozei mașinii: filtrare programabilă, calculul parametrilor statistici, calculul spectrului de amplitudine Fourier. Soluția folosită este distribuită în module hardware și software, bazate - într-o variantă de lucru - pe dispozitive PLC (Programmable Logic Controllers), asigurând lucrul on-line și pe trei niveluri de reprezentare a timpului de monitorizare: scurt, mediu și lung.

6. Expunerea invenției

Prezentarea invenției se va realiza sub forma descrierii principalelor module hardware-software și a funcțiilor acestora implementate în sistem. Structura de bază a sistemului se prezintă în Figura 1.

Borderou figuri

Figura 1: Structura (modulele) sistemului de detecție a schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Figura 2: Structura hardware a modulului de achiziție VIBROSIG

Figura 3: Fluxul de date principal din VIBROMOD

Figura 4: Principalele proceduri de calcul pentru rezolvarea problemei CDS implementate în modulul VIBROTOOL

Figura 5: Accelerațiile măsurate cu senzorii S1-S7

Figura 6: Detecția schimbărilor utilizând separarea surselor independente de vibrație și detecția schimbărilor în entropia Renyi

Figura 7: Sursele de vibrație independente rezultate în urma aplicării algoritmului SOBI pentru măsurătorile efectuate pe 7 canale

Figura 8: Distribuția timp-frecvență RID pentru sursa S1, în condițiile de funcționare normală și cu producerea unei defecțiuni a mașinii

Figura 9: Distribuția timp-frecvență RID pentru sursa S2, în condițiile de funcționare normală și cu producerea unei defecțiuni a mașinii

Figura 10: Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S1

Figura 11: Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S2

Figura 12: Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S1

Figura 13: Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S2



6.1 Descrierea structurii de achiziție a datelor (VIBROSIG)

Structura bloc este prezentată în Figura 2 și are scopul de a oferi o imagine informativă despre cerințele hardware ale modulului VIBROSIG, de la semnalele de vibrații până la memoria de lucru.

Modulul este proiectat pentru un număr de $n_v = 4$ canale de vibrații, cu achiziție și conversie sincrone, plus un număr de $n_s = 4$ canale suplimentare pentru alte mărimi de interes, de ex. viteza, temperatura, curent, etc. Numărul total de canale este $n = n_v + n_s = 8$.

În partea de jos a Figurii 2 se prezintă achiziția semnalelor de vibrații. Se consideră o bandă de frecvență a vibrațiilor de la $F_{TS} = 100$ Hz până la $F_{TJ} = 5000$ Hz. Ambele filtre sunt analogice, de tip Cebîșev cu riplu de 1 dB în banda de trecere, și ordin $n=2$. Urmează un amplificator, cu amplificare între 10 și 100. Conversia în semnal numeric se face cu frecvența de eșantionare $FS = 10.000$ Hz, fiecare eșantion pe 12 bit. Pentru fiecare canal de vibrație se memorează (în vederea prelucrării și transmiterii) un număr de $NV = 4096$ eșantioane. Pentru cele n_v canale rezultă o matrice de eșantioane de vibrații V , de dimensiune $n_v \times NV$.

Considerând numărul de eșantioane NS și frecvența FS rezultă o durată a observației de

$$T = N \cdot TS = N / FS = 4096 / 10.000 = 409.6 \text{ [ms]} \quad (1)$$

și o rezoluție în frecvență de

$$dF = 1/T = FS / N = 10.000 / 4.096 = 2.44 \text{ [Hz]} \quad (2)$$

Observație: Pentru o rezoluție de 1 Hz, durata înregistrării este de 1 s și numărul de eșantioane este $NV = 10.000$. Aceste valori se vor ajusta în funcție de rezoluția cerută a metodelor de detecție din domeniul frecvență.

În partea de sus a Figurii 2, se prezintă achiziția unor semnale suplimentare, cum sunt viteza la arbore sau diverși curenți. Structura de procesare este similară cu a vibrațiilor, numai că numărul de eșantioane memorate (și implicit frecvența de eșantionare) este mult mai mică, datorită constantelor de timp mari ale acestor mărimi fizice (viteza, de exemplu). O valoare de $N_s = 512$ se consideră a fi suficientă, putând fi schimbată dacă va fi necesar. Datele de la ieșirea acestui lanț de prelucrare sunt memorate într-o matrice de date S , de dimensiune $n_s \times NS$.

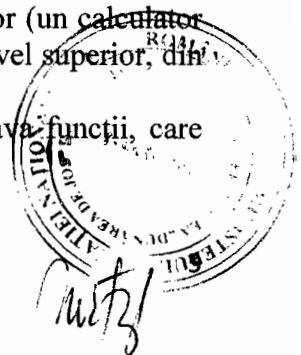
6.2. Prelucrarea primară a datelor în VIBROMOD

Componenta VIBROMOD a sistemului s-a realizat utilizând o soluție bazată pe dispozitive PLC (Programmable Logic Controllers) în vederea asigurării unei integrări ușoare a acestora în structura unor mașini și echipamente industriale existente, în scopul mentenanței predictive a acestora.

Structura de bază a componentei VIBROMOD, din punctul de vedere al managementului datelor, este prezentată în Figura 3. Dispozitivele PLC sunt programate pentru prelucrarea primară a acestora și transmiterea lor către nivelul superior (un calculator PC). Pe calculatorul de nivel 2 datele sunt prelucrate folosind algoritmi de nivel superior, din cei implementați în cadrul modulului VIBROTOOL.

În cadrul modulului VIBROMOD au fost implementate în limbajul Java funcții, care realizează:

1. Filtrarea datelor



2. Calculul parametrilor statistici
3. Calculul spectrului de amplitudine Fourier
4. Extragerea anvelopei și estimarea frecvenței cu transformata Hilbert
5. Analiza timp-frecvență cu transformata Wigner-Ville
6. Extragerea trăsăturilor (localizare și dispersie) din imaginea timp-frecvență
7. Extragerea informației prin calculul entropiei Renyi pentru semnale 1D și 2D

Aplicația software este reprezentată de o interfață cu utilizatorul prin care pot fi vizualizate atât datele de intrare cât și cele prelucrate prin intermediul unui tabel și a unor grafice reprezentative pentru modulele de prelucrare. Tabelul este conectat la o bază de date în care sunt stocate informațiile relevante pentru mașina sau utilajul ce face obiectul monitorizării. Dimensiunea tuturor semnalelor măsurate se poate alege prin inserarea numărului dorit și se poate tipări fereastra ce se deschide după apelarea funcției. Interfața dezvoltată conține tabelul cu variabilele de interes, un buton de printare, unul de avarie și unul de help. Graficele 2D au opțiuni de minimizare/maximizare/autoscalare, de afișare a coordonatelor unui punct selectat din grafic, de export în diferite formate, printare și schimbare de culoare pentru a facilita procesul de analiză și detecție. Graficele 3D (de tip mesh) au aceleași opțiuni ca cele 2D, în schimb, ele pot fi rotite în jurul axelor (x,y,z) . De asemenea, se poate schimba modul de reprezentare al axelor: liniar vs logaritm.

Pentru funcțiile implementate în cadrul VIBROMOD au fost create clase specifice pentru fiecare modul în parte, fiecare având metode proprii de calcul. O metodă (funcție) este o colecție de instrucțiuni, grupate astfel încât să conducă la rezultatul dorit.

Declararea datelor de intrare precum și a variabilelor folosite în cadrul prelucrărilor, s-a realizat folosind tipul de date double - numere reale, reprezentate în virgulă mobilă, cu dublă precizie (reprezentate pe 64 bit), față de tipul de date float (reprezentat pe 32 de bit). Tipul de date folosit în mod automat (implicit) de modulele de calcul din VIBROTOOL este de asemenea de tip double. Pentru reprezentarea numerelor complexe a fost creată clasa Complex, ce generează obiecte de tip Complex, și au fost implementate diferite prelucrări uzuale asupra acestui tip de date.

În cadrul utilizării unor funcții specifice metodelor CDD, implementate în modulul VIBROTOOL, este necesară returnarea mai multor parametri. Pentru a facilita construcția interfeței grafice și realizarea graficelor, s-a optat pentru implementarea, în cadrul aceleiași clase, a mai multor proceduri, fiecare dintre acestea returnând câte un singur parametru. S-a implementat o metodă primară de optimizare: codul este scris o singură dată, iar când se dorește folosirea acestuia, este apelată metoda echivalentă. Această implementare modulară nu garantează minimizarea timpului de rulare, dar asigură înțelegerea mai ușoară a modalității de implementare și facilitează depanarea.

În Figura 3 se prezintă modul în care se prelucrează datele pe cele trei scări (niveluri) de timp: nivel mașină (proces) (interval elementar de timp = *ecart mașina* = 1 minut), nivel secție (interval elementar de timp = *ecart secție* = 1 oră) și nivel întreprindere (interval elementar de timp = *ecart întreprindere* = 1 zi).

La nivel proces, datele numerice din mașina monitorizată, vibrații și mărimi suplimentare, sunt prelucrate pentru calculul unor mărimi statistice (în domeniul timp) și a unor mărimi în domeniul frecvență sau a altor mărimi de interes (de exemplu, entropii) (neprezentate în Figura 3). Aceste mărimi sunt calculate și salvate la intervale de timp de $DTP = 1$ min. Calculul mărimilor statistice și a celorlalte mărimi de interes se face într-un interval de timp mai mic decât ecartul de timp la nivel proces (1 min). La nivel de secție, datele sunt salvate la interval de o oră. La nivel de întreprindere, datele se actualizează la sfârșitul fiecărei zile, deci la 24 de ore.



La fiecare nivel, datele sunt descrise prin tablouri bidimensionale (matrici) de dimensiuni corespunzătoare: **MP** la nivel de proces, **ML** la nivel de laborator și **MI** la nivel de întreprindere. Numărul de coloane al acestor tablouri este impus de ecartul de timp specific fiecărui nivel. Numărul de linii este Q .

La fiecare nivel, datele se salvează în coloană. Când o matrice de date a fost complet actualizată, se calculează (de exemplu) mediile statistice pe linii și aceste valori se transmit la nivelul următor.

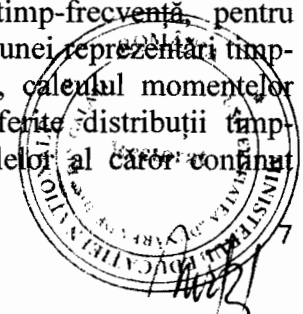
La ultimul nivel, nivelul întreprindere, datele prelucrate sau nu, se memorează pe suporturi corespunzătoare (HDD sau CD-uri) și se transmit la un server pentru prelucrări ulterioare.

6.3. Detecția schimbărilor în semnalele de vibrație cu VIBROTOOL

Acest modul subsistem a fost conceput sub forma unui set de programe (ce definesc un toolbox Matlab) pentru rezolvarea unor sarcini specifice problemei detecției și diagnozei schimbărilor (CDD), reflectate prin semnalele de vibrație măsurate. Acest gen de analiză se realizează off-line, implicând mai multe proceduri complexe de calcul și consumatoare de timp, dar care permit o analiză completă și eficientă.

Algoritmii implementați fac uz de noțiuni din recunoașterea formelor, verosimilitate maximă, tehnici bazate pe model, analiza multirezoluție, soft computing și fuziunea informației, etc., constituind o referință în domeniul CDD. Modulele de calcul implementate pot fi grupate în următoarele categorii:

1. Modulele CDS permit o primă detecție a schimbărilor produse în semnalele de vibrație măsurate, sau în principalele surse independente de vibrație, determinate cu modulele BSS. Printre componentele software implementate menționăm: estimarea punctului de producere a schimbării (mean change), detecția schimbărilor folosind un singur model de regresie și diferite măsuri ale "distanței" dintre modele și reguli de "stop", detecția schimbărilor folosind două modele de regresie, "ferestre" de date alunecătoare și diferite măsuri ale "distanței" dintre modele și reguli de "stop", detecția și segmentarea semnalelor de vibrație utilizând estimatorul de probabilitate maximă a priori (MAP), detecția și discriminarea producerii schimbărilor în parametrii și în dispersia zgomotului modelului semnalului.
2. Modulele BSS permit separarea "oarbă" a surselor de vibrație independente, utilizând algoritmi SOBI (Second Order Blind Identification) și JADE (Joint Approximate Diagonalization of Eigen-matrices) pentru semnale reale. În ingineria mecanică, cel puțin, problema estimării surselor de vibrație endogene necunoscute din măsurătorile exogene reprezintă o preocupare majoră. Utilizarea tehnicilor BSS împreună cu alte tehnici asociate modulelor CDS și TFA se dovedește un succes în rezolvarea problemei CDD. În acest caz, problema CDD este translatată într-un nou spațiu, în locul celui generat de semnalele de vibrație originale, ceea ce simplifică problema de detecție, numărul semnalelor ce fac obiectul analizei fiind mai mic, iar analiza se va realiza pe semnale monodimensionale.
3. Modulele TFR permit calculul și vizualizarea distribuțiilor timp-frecvență, pentru reprezentările din clasa Cohen, calculul marginelor și a energiei unei reprezentări timp-frecvență, calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în frecvență, calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în timp, calculul entropiei Renyi pentru diferite distribuții timp-frecvență. Analiza, prelucrarea și estimarea parametrilor semnalelor al căror conținut



spectral se modifică în timp sunt cruciale în multe aplicații CDD. Aceste module sunt necesare pentru extragerea caracteristicilor semnalelor de vibrație ce fac obiectul analizei, precumși pentru localizarea anumitor componente în semnal, în scopul asistării deciziei. Mai multe versiuni de lucru a modulelor incluse în subsistemul VIBROTOOL, utilizate în rezolvarea unei probleme CDS, se prezintă în Figura 4.

7. Avantaje invenției în raport cu stadiul tehnicii

Avantajele pe care soluția propusă le prezintă, comparativ cu soluțiile cunoscute în prezent, sunt:

1. Sistemul permite efectuarea unor prelucrări avansate de semnal pentru rezolvarea problemei CDD, care se prezintă în Figura 4, și care - după informațiile noastre - nu se regăsesc în alte sisteme similare, menționând în mod special:
 - Segmentarea semnalelor de vibrație utilizând estimatorul de probabilitate maximă apriori (MAP).
 - Detecția și discriminarea schimbărilor produse în parametri și în dispersia zgomotului modelului, ceea ce permite determinarea momentelor de timp ale producerii acestora în condițiile experimentale (mediu) și în dinamica sistemului (procesul fizic), în special pentru sisteme cu intrări arbitrare și nestaționare, cunoscute sau necunoscute;
 - Detecția schimbărilor utilizând entropia Renyi pe termen scurt, ca un nou spațiu dedecizie, ceea ce permite o detecție mai robustă a schimbărilor în semnalele de vibrație, decât în cazul aplicării procedurii de segmentare pe semnalele originale.
2. Prin aplicarea procedurilor implementate în cadrul sistemului, se va realiza și fuziunea informației rezultate în urma etapelor de prelucrare menționate anterior, în scopul unei monitorizării eficiente a mașinii sau utilajului, cu evitarea unor alarme false privind necesitatea efectuării unei revizii, și va furniza informații suplimentare în scop de diagnoză.
3. Prin procedurile cu care se operează în cadrul sistemului, cum ar fi separarea "oarbă" a surselor de vibrație independente, se realizează o pre-procesare a datelor de măsură, ceea ce permite facilitarea detecției schimbărilor produse în funcționarea mașinii (acestea apar mult mai vizibile în sursele de vibrație independente, decât în semnalele originale), dar și o post-procesare a rezultatelor detecției, prin calculul unor mărimi specifice, ce permit extragerea informației din planul timp-frecvență.
4. Sistemul poate fi folosit la testarea în timp real a algoritmilor CDD, folosind lucrul în tandem al subsistemelor VIBROTOOL și VIBROMOD, prin adaptarea la procesul fizic. După optimizarea parametrilor în subsistemul VIBROTOOL, algoritmi sunt exportați și implementați în VIBROMOD, urmând să fie testați pe procese fizice reale. Prin această funcție de testare, se asigură atât îndeplinirea unor condiții de robustețe a algoritmilor folosiți pentru CDD, dar și rezolvarea unei mari probleme din practica inginerescă, când algoritmi utilizați în laborator nu furnizează aceleași soluții când sunt implementați în procese și echipamente reale.



8. Modul de realizare și aplicarea invenției

Modul de realizare și aplicare a invenției constă în utilizarea sistemului într-o problemă de monitorizare a unei mașini rotative, a unui utilaj tehnologic, sau a unor componente ale acestora. Realizarea și aplicarea invenției sunt exemplificate pentru o mașină rotativă, o pompă industrială de mare capacitate, folosind date ce fac obiectul mai multor studii de caz.

Semnalele de vibrație, accelerațiile pe 7 canale, au fost măsurate pe carcasa mașinii și repetate pe două mașini identice, prima aflată în regim de funcționare normal, iar pentru cea de a doua s-a procedat la inducerea unei defecțiuni la cutia de viteze. Semnalele de vibrație, măsurate la înalta frecvență, au fost eșantionate cu 12800 Hz. S-a utilizat un segment de date de 4096 valori, 2048 de la pompa aflată în regim de funcționare normal, și 2048 de la pompa care a fost indusă defecțiunea, ambele la încărcare minimă. Datele au fost filtrate trece jos la 5000 Hz. Accelerațiile măsurate de senzorii S1-S7 sunt reprezentate în Figura 5.

Pentru exemplificarea modului de lucru al sistemului, ca mod de aplicare, s-a utilizat procedura de prelucrare reprezentată în Figura 6, aceasta reprezentând una din facilitățile modulului VIBROTOOL, aplicată după măsurarea și filtrarea semnalelor de vibrație cu modulul VIBROMOD. Prezentăm în continuare principalele etape de lucru și rezultatele obținute în acest studiu de caz.

8.1 Separarea "oarbă" a surselor

Semnalele de vibrație au reprezentat datele de intrare pentru algoritmul SOBI de estimarea surselor independente de vibrație, în cazul modelului de mixare instantaneu; aplicarea procedurii de estimare a numărului surselor independente a condus la 2 surse independente de vibrație. Sursele rezultate sunt reprezentate în Figura 7.

8.2 Analiza timp-frecvență

Figura 8 prezintă distribuția timp-frecvență a cu interferență redusă (RID) pentru sursa S1, cu utilizarea unei fereaste Hanning. Aceasta a fost calculată pentru un număr de puncte de frecvență, $N_f = 4096$, identic cu momentele de timp utilizate, o fereastră de netezire în timp, $g(u)$, de dimensiune $L_g = 204$, o fereastră de netezire în frecvență, $h(v)$, de dimensiune $L_h = 512$, și un prag de 5%. Rezultatele analizei timp-frecvență pentru sursa S2 sunt prezentate în Figura 9, pentru același tip de distribuție, RID, utilizând o fereastră Hanning și aceiași parametri, ca în cazul analizei sursei S1. Se constată o schimbare mai redusă a conținutului spectral al sursei S2, în cea de a doua parte a semnalului, în comparație cu schimbarea de conținut spectral produsă în sursa S1.

8.3 Calculul entropiei Renyi

Estimarea informației conținute în cele 2 surse independente de vibrație s-a realizat prin calculul entropiei Renyi a acestora. Prezentăm în Figura 10 entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S1, cu utilizarea unei fereaste alunecătoare de dimensiune $N = 64$ și o constantă de deviere egală cu 1, adăugată la valoarea semnalului. Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S2, utilizând aceleași valori pentru fereastră alunecătoare și constanta de deviere, este reprezentată în Figura 11.

8.4 Segmentarea entropiei Renyi



Analiza vizuală a entropiei Renyi pentru ambele surse, scoate în evidență faptul că există un moment de timp în care se produce o schimbare în conținutul de energie și de frecvență. Procedura de detecție a schimbărilor în cazul celor două entropii Renyi s-a realizat cu estimatorul MAP, în cazul unui zgomot constant necunoscut, cu următoarele valori ale parametrilor de proiectare: $q = 0.3$, $M = 10$, $l = 8$ și $mseg = 700$. Procedura de segmentare a fost realizată pentru un model autoregresiv AR(1) de forma:

$$y_t = -\Phi_1 * y_{t-1} + e_t \quad (3)$$

Estimările parametrilor modelului și ale dispersiei zgomotului, rezultate în urma aplicării algoritmului bazat pe estimatorul MAP, pentru entropiile Renyi ale celor două surse, sunt prezentate în Figura 12 și respectiv în Figura 13.

Valorile dispersiei zgomotului modelului cu parametrii constanți pe porțiuni, în cazul ambelor surse, prezintă schimbări semnificative în cea de a doua parte a semnalului, ceea ce denotă un fenomen de ruptură, cauzat de inducerea defecțiunii în funcționarea mașinii.

9 Aplicarea în mediul industrial a invenției

În ceea ce privește aplicarea în mediul industrial a invenției, considerăm posibile următoarele moduri de utilizare:

1. Disponând de o înregistrare de date, semnale de vibrație, obținută cu modulul VIBROSIG, se pot analiza utilizând funcțiunile de prelucrare primară implementate în cadrul modulului VIBROMOD, sau cu funcții din modulul VIBROTOOL. Rezultatele obținute oferă o imagine de ansamblu asupra proceselor vibratorii specifice mașinii rotative, sau componentelor acesteia, ce fac obiectul monitorizării.
2. În cazul în care se dispune de o înregistrare de probă a semnalelor de vibrație din funcționarea normală a mașinii rotative, sau a componentelor acesteia, (înregistrare martor), aceasta poate fi concatenată cu o înregistrare curentă din funcționarea mașinii rotative, sau a componentelor acesteia, semnalul rezultat urmând a fi analizat cu procedurile de calcul implementate în cadrul modulului VIBROTOOL, în urma analizei rezultând dacă datele celor două înregistrări sunt coerente, sau dacă s-a produs o schimbare în funcționarea mașinii, sau a componentelor acesteia. Pe baza acestor rezultate și a unor informații ce țin de experiența utilizatorului se poate trece la diagnoză și localizarea posibilei defecțiuni.
3. Disponând de o înregistrare de date, semnale de vibrație, de o anumită lungime N , aceasta poate fi analizată utilizând toate tipurile de prelucrări din modulul VIBROTOOL. Din setul de date se poate renunța, de exemplu, la primele $N/3$ din date, setul de date urmând a fi completat cu alte $N/3$ date recente, furnizate de modulul VIBROSIG, și analiza continuă. Astfel, se poate realiza analiza on-line a semnalelor de vibrație, pe durata funcționării mașinii rotative, rezultând posibilele momente ale producerii unei schimbări în funcționarea acesteia, informațiile obținute urmând a fi utilizate în scop de diagnoză.

Se evidențiază faptul că invenția poate fi aplicată nu numai în domeniul monitorizării stării de bună funcționare a mașinilor rotative și a componentelor acestora, ci și în alte domenii cum ar fi: industria energetică (turbine, generatoare, etc.), ingineria civilă (clădiri mari supuse acțiunii vântului sau mișcărilor seismice, poduri, baraje, platforme marine), aeronautică (structuri și componente supuse solicitărilor), automobile și sisteme de transport, etc.



Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model

Revendicări

Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model, destinat monitorizării mașinilor și utilajelor industriale, în scopuri de mentenanță predictivă, cu largi posibilități de aplicare și în alte domenii, ce include mai multe module ce realizează măsurarea, procesarea primară a semnalelor multidimensionale, analiza complexă a semnalelor de vibrație și implementarea în timp real, pe procese fizice, a unor algoritmi de detecție/segmentare, **caracterizat prin aceea că** realizează integrarea și implementarea unor algoritmi, metode și tehnologii de prelucrare a informației, tehnici de asistare a deciziei, originale, bazate pe analiza componentelor independente, extragerea caracteristicilor și detecție/segmentare, precum și pe analiza timp-frecvență, care asigură performanțe deosebite în procesul de monitorizare, și care nu se regăsesc în alte sisteme de acest gen.



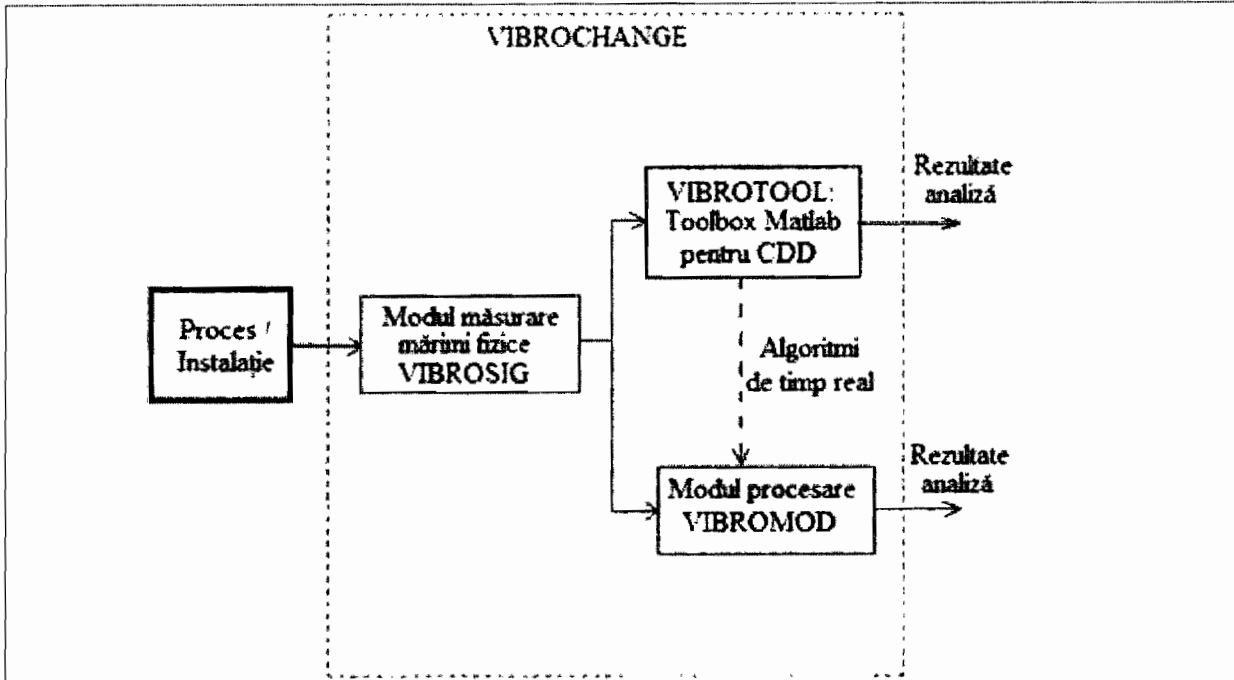


Figura 1- Structura sistemului de detecție a schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici de analiză bazate pe model

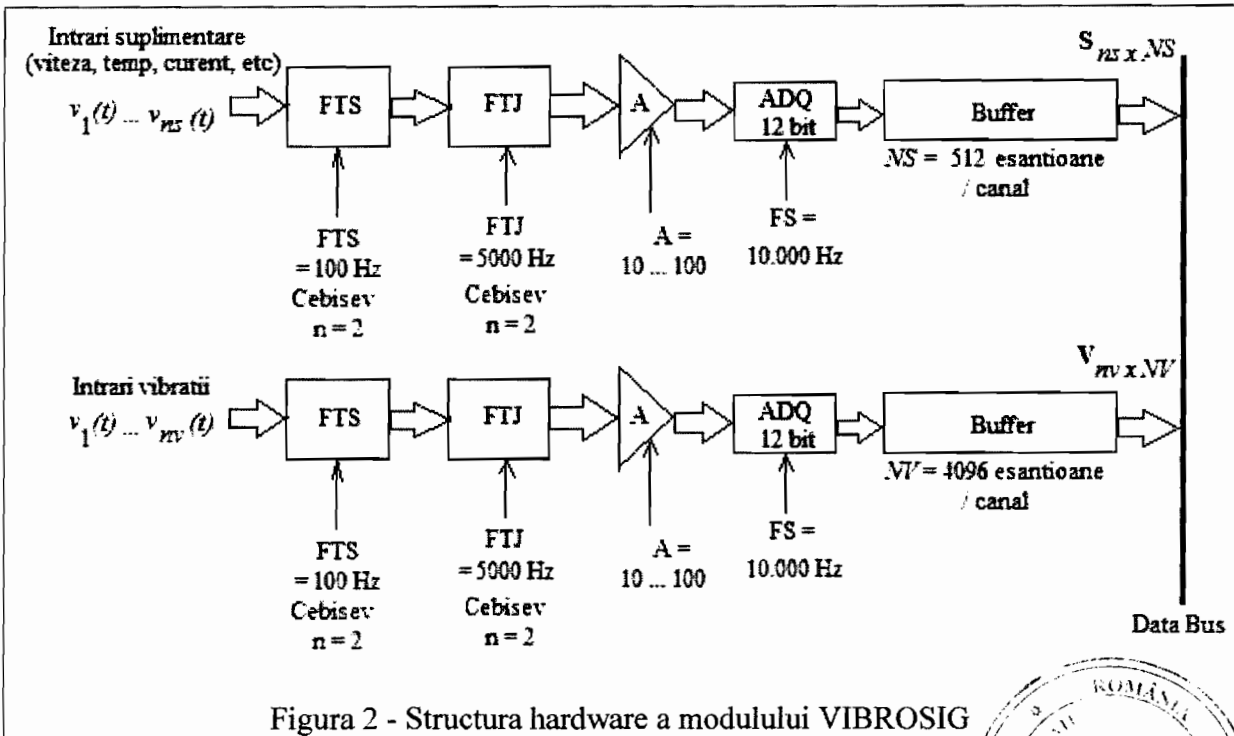


Figura 2 - Structura hardware a modulului VIBROSIG



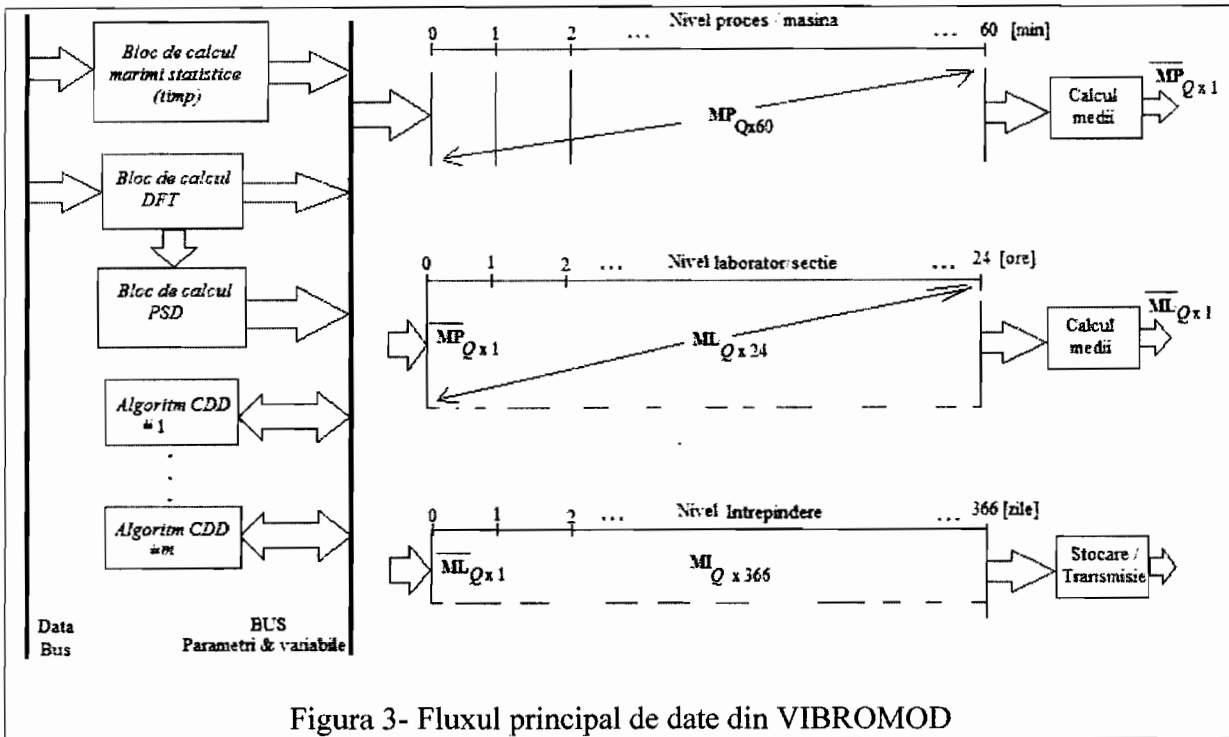


Figura 3- Fluxul principal de date din VIBROMOD

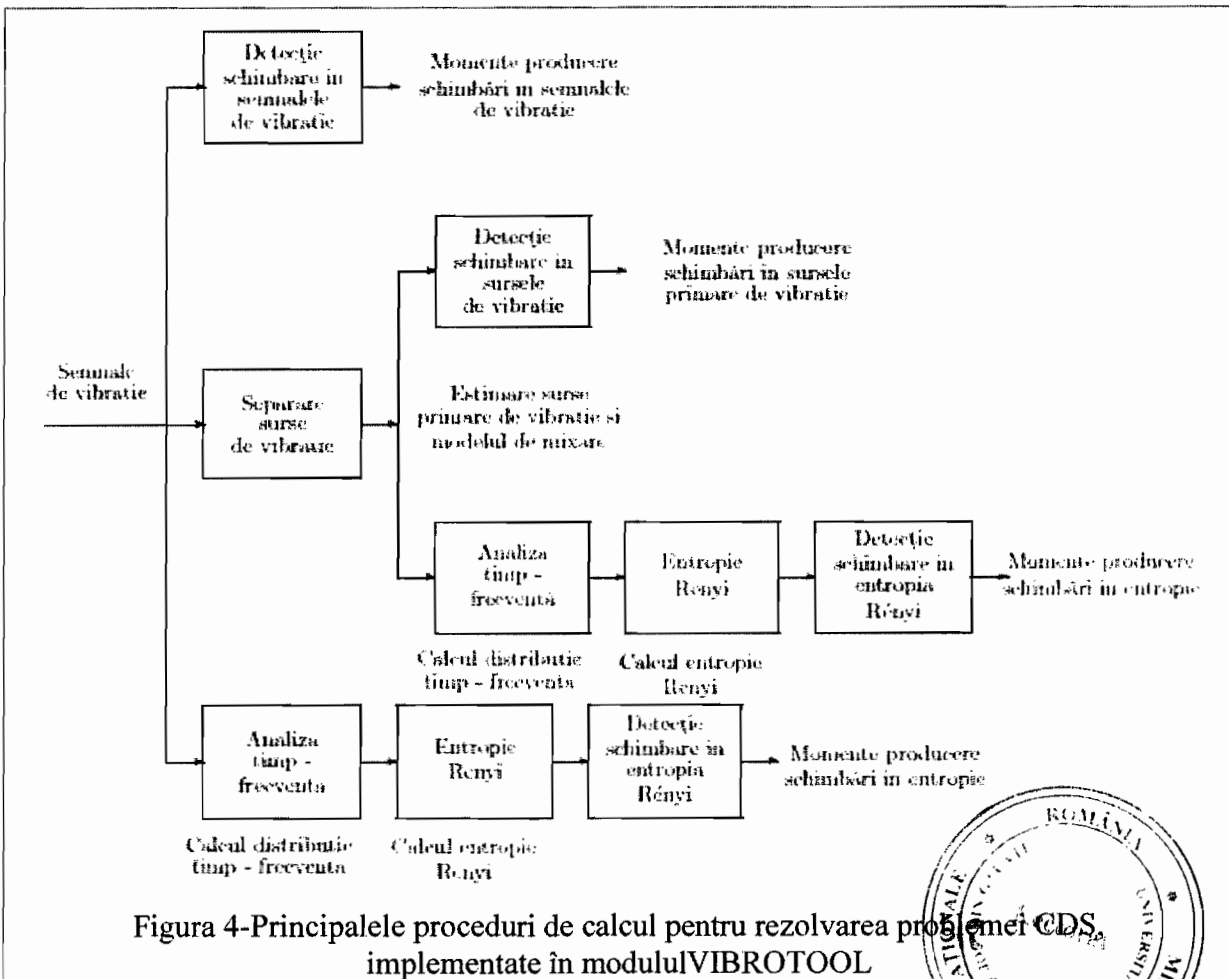
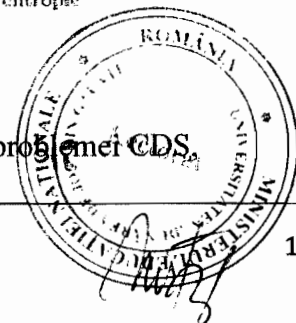
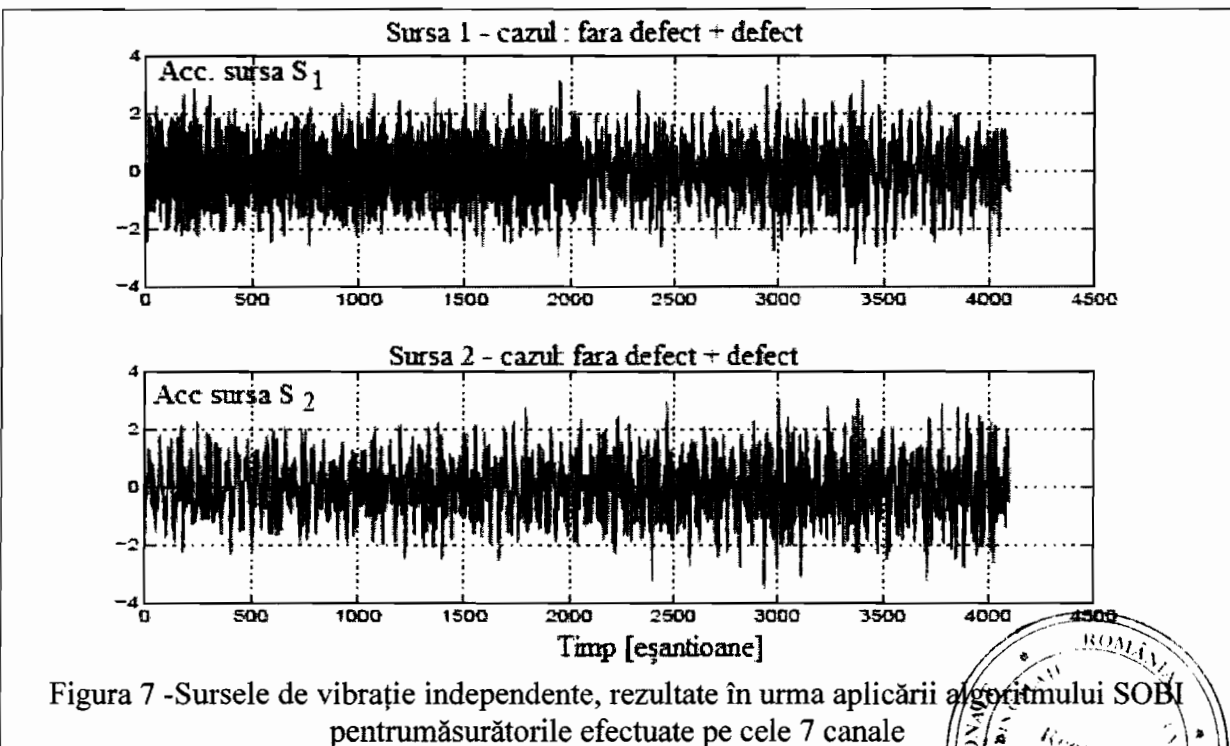
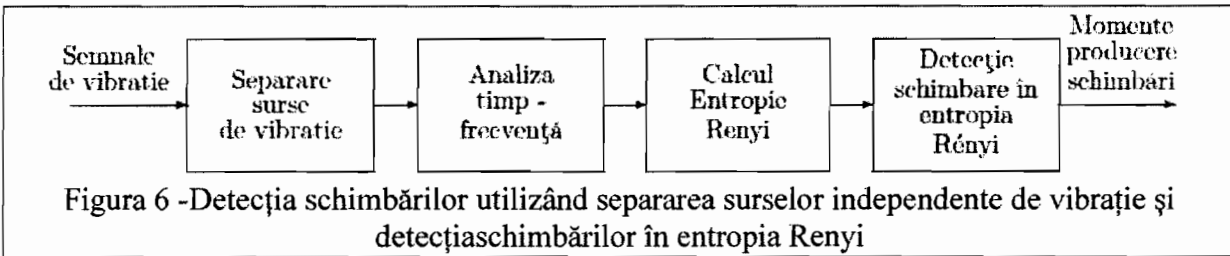
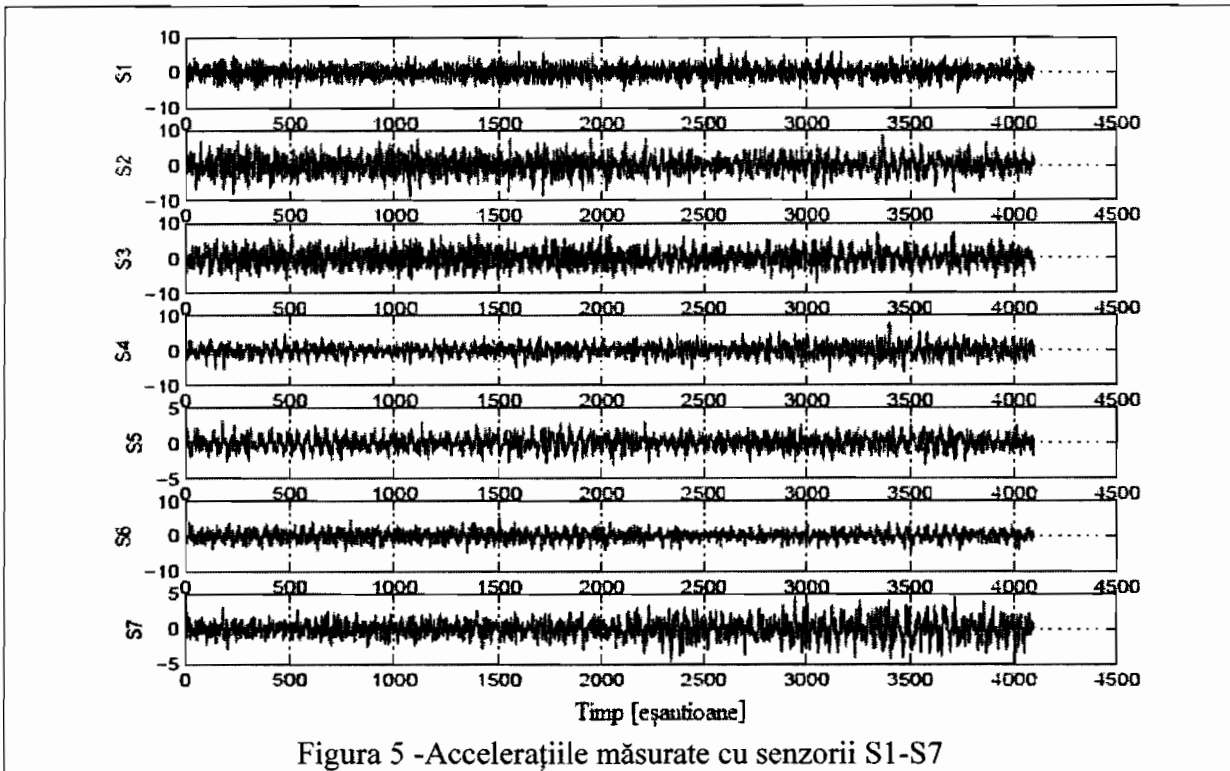
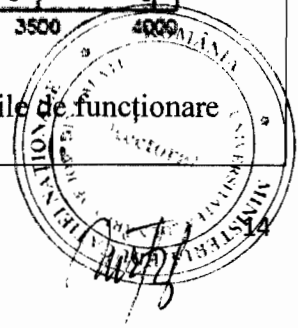
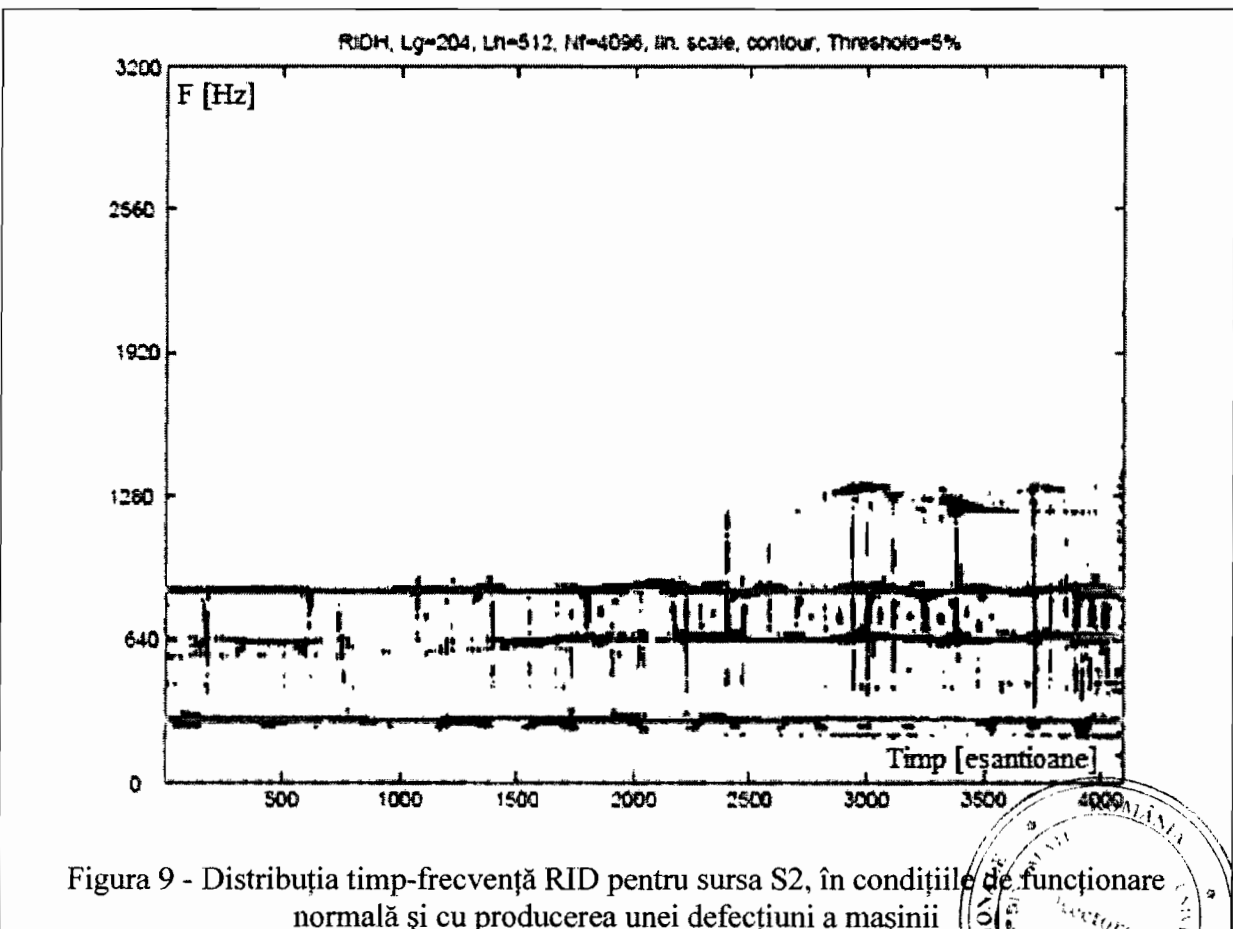
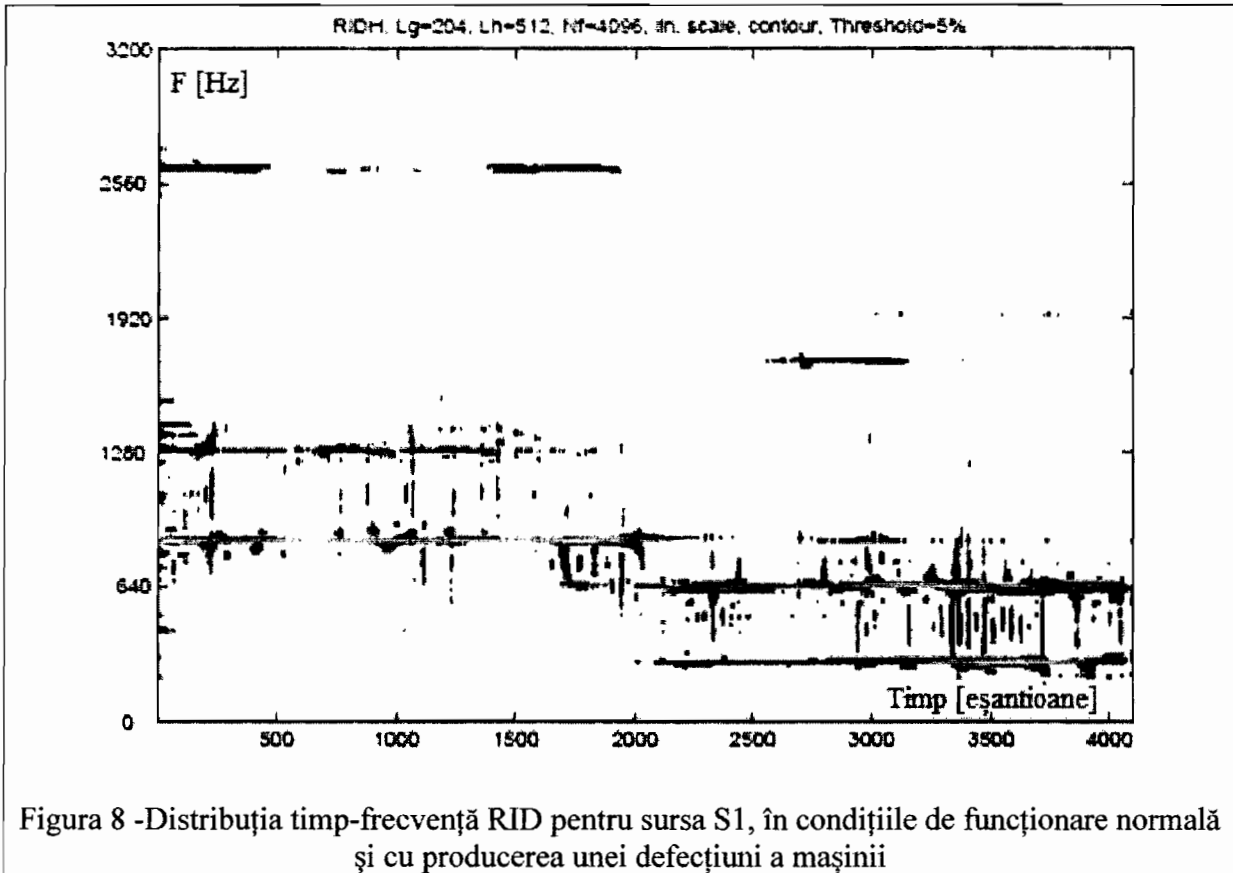


Figura 4-Principalele proceduri de calcul pentru rezolvarea problemei CDS implementate în modul VIBROTOOL







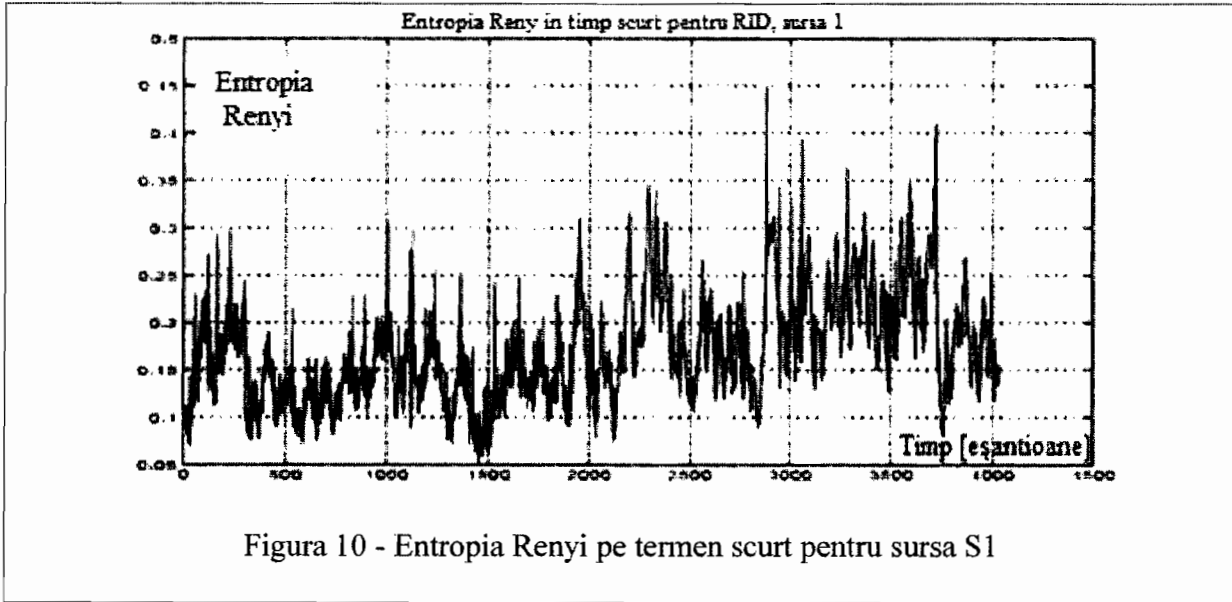


Figura 10 - Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S1

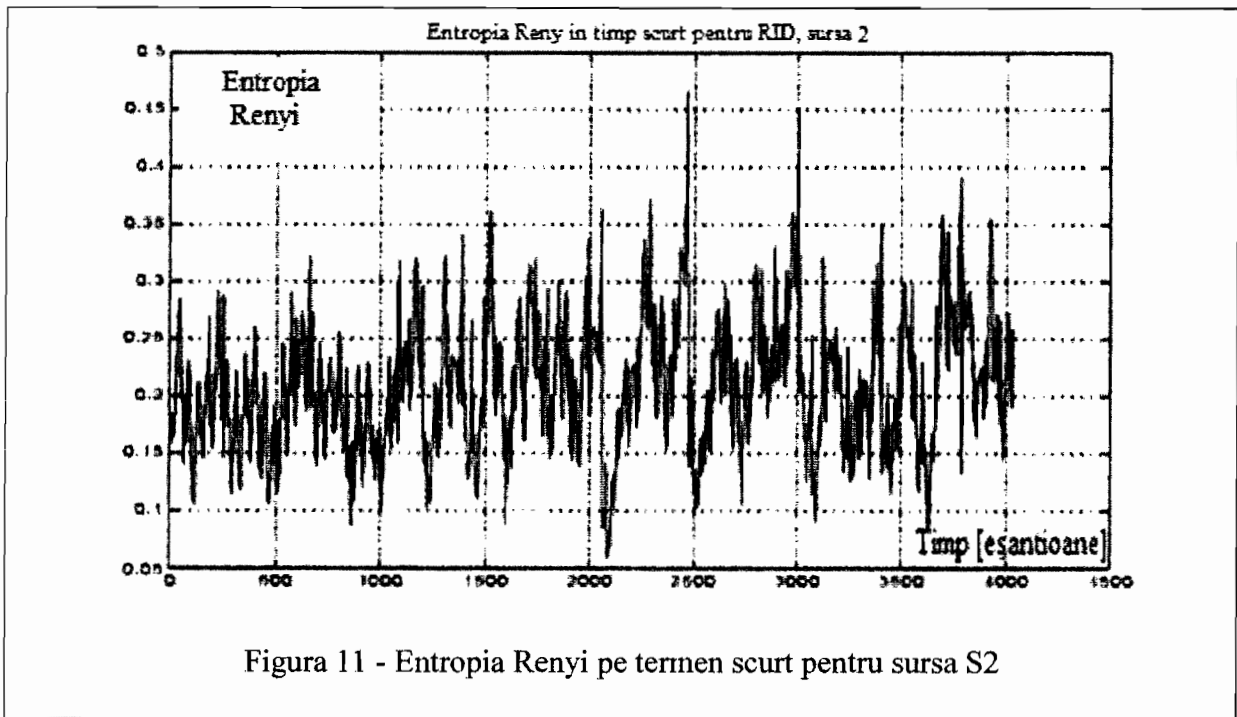


Figura 11 - Entropia Renyi pe termen scurt pentru sursa S2



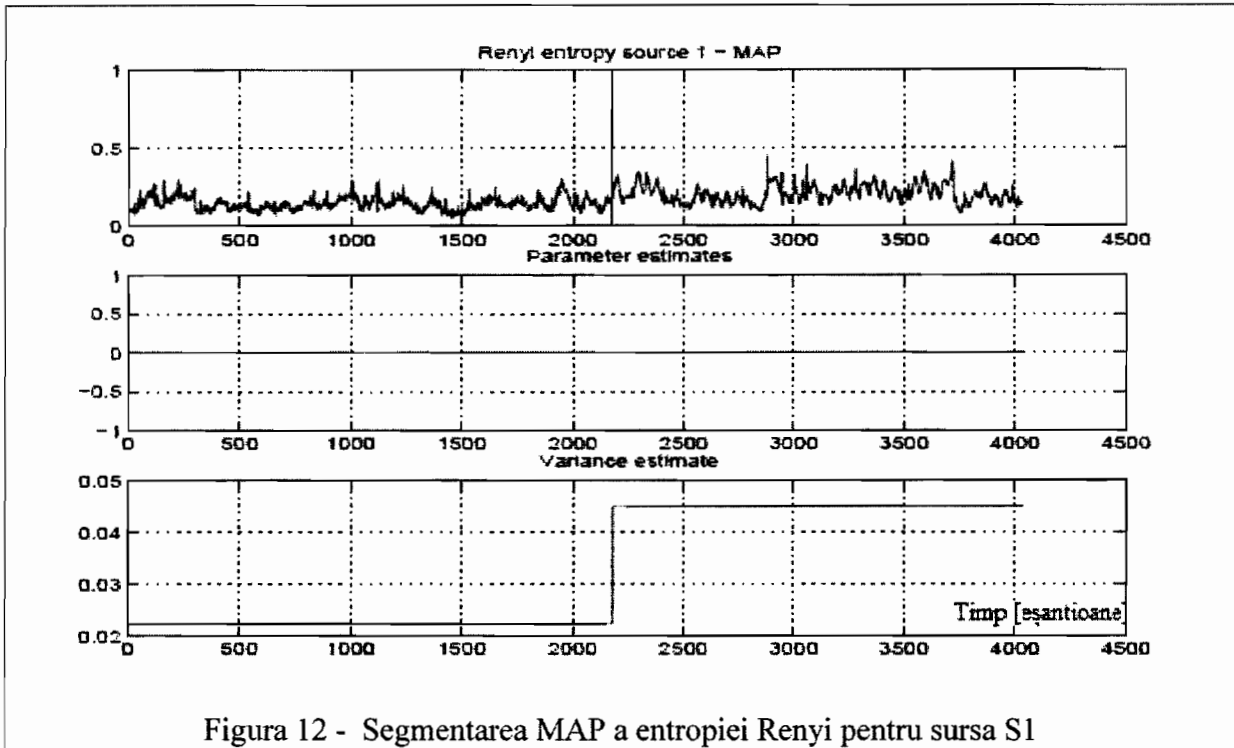


Figura 12 - Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S1

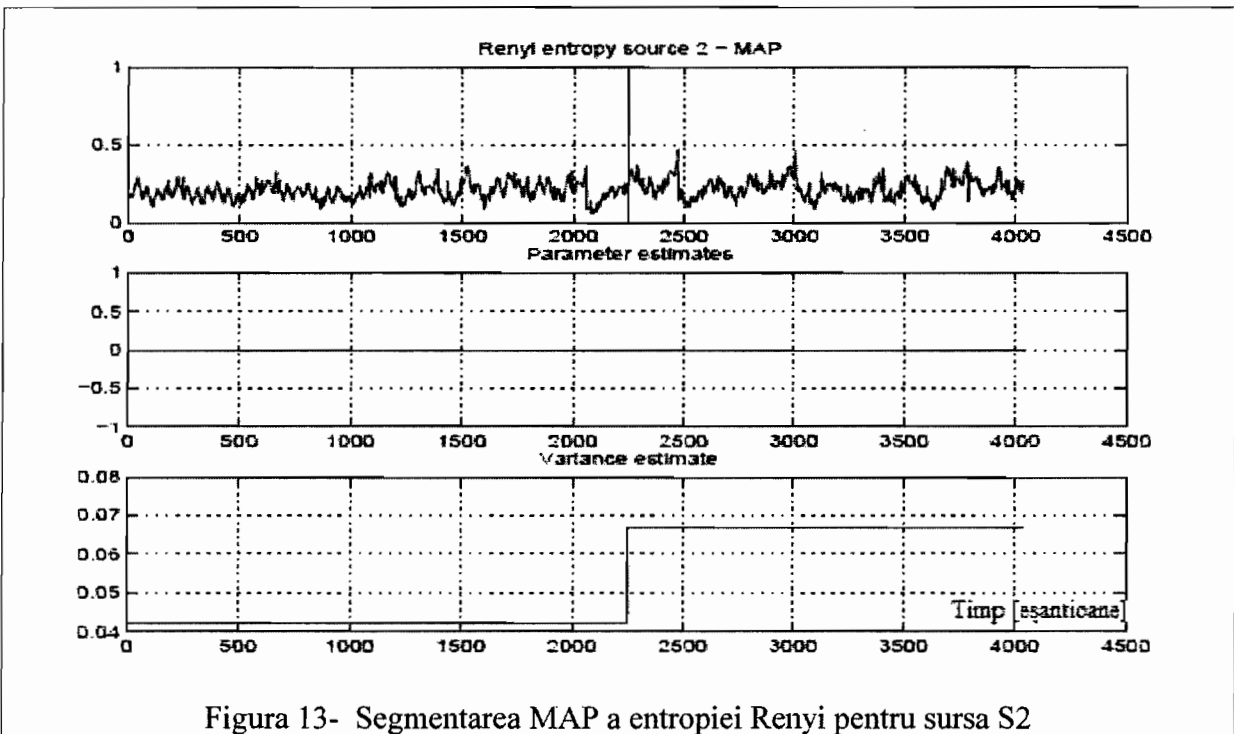


Figura 13- Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S2

