

Capitolul 4. **DETECTAREA DEFECTELOR ÎN SISTEMELE DINAMICE**

4.1. *Noțiunea de defecțiune*

4.2. *Diagnoza defectelor*

4.3. *Modelarea matematică a unui traductor sau a elementului de execuție defect*

4.4. *Metode analitice pentru detecția și localizarea defectelor*

4.5. *Analiza sistemelor cu elemente de execuție defecte*

4.6. *Sinteza comenzilor în cazul defectării elementelor de execuție*

4.7. *Diagnoza defectelor în instalațiile industriale*

4.1. Noțiunea de defecțiune

Încetarea aptitudinii unui produs, bloc, sistem etc. de a-și îndeplini funcția specificată, se numește defectare sau cădere. Cauzele defectării pot fi foarte variate, reprezentând circumstanțele legate de proiectare, fabricație sau utilizarea produsului, care au condus la o comportare necorespunzătoare a acestuia .

Defectarea poate fi: inerenta (atunci când aceasta provine de la slăbiciuni proprii ale produsului sau de la elemente ale acestui produs, livrate de terți în condiții în care solicitările reale nu depășesc posibilitățile admisibile ale acestuia) sau datorate utilizării necorespunzătoare (atunci când acesta provine ca urmare a unor solicitări ce depășesc posibilitățile admisibile ale produsului - acest tip de defecte nu caracterizează produsul și nu se iau în considerație la calculul fiabilității).

Problema detectării și izolării defectelor este una complexă. Necesitatea obținerii unor performanțe în diagnoză, fără instalarea unor echipamente redundante sau dedicate scumpe, forțează dezvoltarea programelor de diagnoză prin adoptarea de tehnici disponibile și descoperirea de informații “ascunse” în procesul tehnologic, [30]. Realitatea sistemelor industriale oferă inginerului însărcinat cu implementarea funcțiilor de monitorizare, modele slabe, inadecvate, bazate pe lipsa redundanței, număr insuficient de măsuri, distorsiuni în datele achiziționate, perturbații nemodelate.

Un defect se definește ca: “o deviație nepermisă a unei proprietăți caracteristice ce duce la inabilitatea îndeplinirii scopului propus”.

Pentru problema detectării și izolării defectelor în sistemele dinamice au fost propuse mai multe abordări incluzând utilizarea *arborilor de defectare*, (cap.2), filtre Kalman, observatori, tehnici de paritate a spațiului și filtre de detecție, etc.

Toate metodele de detectare a defectelor utilizează date redundante (suplimentare) obținute fie direct, când există două sau mai multe traductoare pentru măsurarea unei variabile a procesului, fie analitic, când o variabilă a unui proces este determinată printr-un model matematic. Aceste relații de redundanță pot fi exploatate pentru a genera semnale reziduale. În condiții normale de funcționare aceste semnale reziduale sunt “mici” dar pot afișa variații distincte la apariția defectului. Procesul de diagnoză a defectului constă în trei etape, [16]:

a) Procesul de modelare (estimarea stării, estimarea parametrilor, teoria deciziei statistice, etc.);

b) Generarea semnalelor reziduale. Acestea sunt independente de măsurătorile reale dar, reflectă efectele modelării incerte, zgomot și defectele componentelor. În absența defectelor și erorilor mari de modelare, semnalele reziduale nu prezintă abateri arătând o anumită corespondență între măsurători și detecția bazată pe modelare;

c) Analiza semnalelor reziduale. Datorită efectelor zgomotului și a modelului incert, semnalele reziduale trebuie examinate cu atenție pentru a permite determinare prezenței unor defecte (detectare) și precizarea componentelor care prezintă defecte (izolare).

4.2. Diagnoza defectelor

Un defect cauzează o *degradare* în comportarea sistemului dar nu conduce neapărat la o cădere totală a instalației. Sistemul poate continua să funcționeze la un nivel mai scăzut, motiv pentru care, căderea se poate produce dacă defectul nu este detectat la timp. Sarcinile unui sistem de monitorizare a defectelor sunt, [11]:

- detectarea defectului: o indicație binară dacă defectul s-a produs sau dacă acesta nu s-a produs;
- izolarea defectului, reprezintă a doua sarcină a diagnozei defectului; aceasta înseamnă detectarea traductorului sau a elementului de execuție care prezintă defect;
- sinteza comenzilor în condiționarea defectului care trebuie să asigure viabilitatea sistemului (posibilă într-o mai mică măsură).

Problema detectării și izolării defectului este prezentată în *figura 4.1*, [66].

În general, modelul matematic al unui proces are următoarea expresie:

$$Y = f(U, N, \Theta, X) \quad (4.1)$$

unde s-a notat cu:

Y – variabile de ieșire măsurabile;

U - variabile de intrare măsurabile;

Θ - parametri procesului nemăsurabili;

N - semnale nemăsurabile de perturbații (preluate din proces și din sistemele de achiziție și control);

X – variabilele stării interne (parțial măsurabile și parțial nemăsurabile).

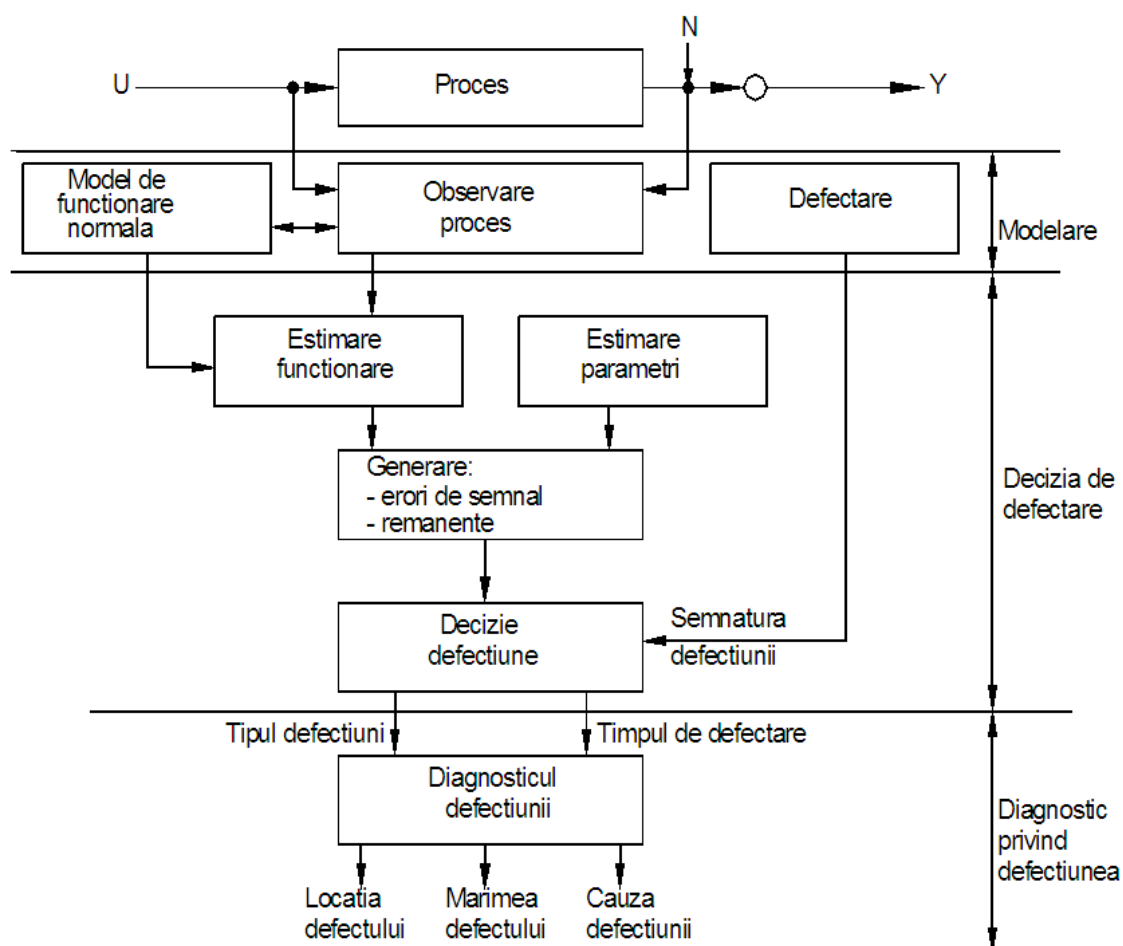


Fig. 4.1. Structura generalizată a modelului bazat pe metodele de detectare și izolare a defectelor

4.3. Modelarea matematică a unui traductor sau a elementului de execuție defect

În figura 4.2 este prezentat sistemul generalizat cu toate posibilitățile de defect, [30]. Semnificația variabilelor este următoarea:

- U_c - intrările dorite pentru control;
- U_d - defecte la dispozitivul de acționare;
- U_r - acționarea instalației (intrare reală);
- Y_c - ieșirea actuală a instalației;
- Y_d - defectele senzorului;
- Y_r - ieșirea măsurată a instalației.

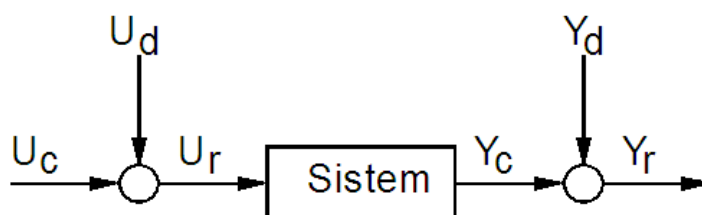


Fig. 4.2. Modelul analitic al traductoarelor și elementelor de execuție defecte

Considerăm două clase de defecte: defecte independente ale senzorilor și defecte independente ale dispozitivelor de acționare.

Este posibilă modelarea defectelor la dispozitivele de acționare sau la senzori ca semnale adiționale, așa cum indică *figura 4.2*. Se presupune că $Uc(t)$ este intrarea corectă (dorită) a instalației și $Ur(t)$ este intrarea reală (actuală) a instalației, modificată de semnalul de eroare $Ud(t)$. Printr-o selecție corectă a semnalelor $Ud_i(t)$ putem reprezenta diferite defecte pentru dispozitivul de acționare "i". În particular, dacă acesta se blochează în poziția inițială neproducând nici o ieșire, atunci $Ud_i(t) = -Uc_i(t)$. Dacă apare o abatere b_i pentru dispozitivul de acționare respectiv, din diferite motive, atunci $Ud_i(t) = b_i$. În final dacă dispozitivul de acționare "i" este blocat la o valoare constantă b_i , atunci $Ud_i(t) = b_i - Uc_i(t)$. Defectele multiple pot fi modelate specificând faptul că, mai multe elemente ale lui $Ud(t)$ trebuie să fie diferite de zero.

Defectele senzorilor pot fi reprezentate într-o manieră asemănătoare pe baza unei alegeri corespunzătoare a semnalelor $Yd_i(t)$. Variabilele $Uc(t)$ și $Yr(t)$ reprezintă semnalele externe disponibile pentru diagnoza defectelor, iar $Ur(t)$ și $Yc(t)$ sunt semnale interne sau inaccesibile.

4.4. Metode analitice pentru detecția și localizarea defectelor

4.4.1. Detecția și localizarea defectelor utilizând analiza sensibilității inverse

Din practica inginerescă este bine știut că, un sistem dinamic nu răspunde la fel la toți stimuli exteriori (mărimi de comandă sau perturbații). Se spune că sistemul este mai sensibil la comanda u_i sau la perturbația ξ_j . În mod similar, modificarea unuia sau a mai multor parametri din structura internă, face ca starea și ieșirea sistemului să se abată de la traiectoria neperturbată, sistemul fiind mai sensibil la unele modificări față de altele. Toate aceste observații au condus la necesitatea analizei sensibilității sistemului care cuprinde următoarele aspecte:

- analiza sensibilității directe – ASD;
- analiza sensibilității inverse – ASI.

În cazul ASD se urmărește determinarea influențelor pe care le au variațiile stării inițiale ale parametrilor și ale comenzilor, asupra evoluției în timp a stării și ieșirii sistemului.

În cazul ASI se pornește de la măsurarea abaterilor traiectoriilor stării și ieșirii sistemului perturbat față de traiectoriile ideale generate de un model al sistemului neperturbat și se caută determinarea cauzelor care au condus la aceste abateri, realizându-se o *diagnosticare tehnică*.

4.4.2. Detecția și localizarea defectelor utilizând metoda filtrelor multiple

Metodele de *detectare a defectelor* bazate pe compararea ipotezelor multiple se bazează pe utilizarea filtrelor multiple cu funcții corespunzătoare.

Alocând ipoteza H_0 pentru funcționarea normală (fără defect) și H_i , $i=1\dots n$, pentru diferite moduri de defecte, prin analiza cu ajutorul calculatorului și utilizând semnalele reziduale pentru fiecare filtru, sunt generate funcțiile corespunzătoare (probabilitățile de defect) pentru H_i , acestea oferind o indicație asupra defectului. Uneori, poate fi utilizat modul de alcătuire a fiecărui filtru și poate fi aleasă ipoteza cea mai plauzibilă ca mod de defect. Principalul dezavantaj al metodei constă în numărul mare de modele utilizate.

4.4.4. Expertizarea stării sistemului

Pentru a realiza o *expertizare de stare* corectă, se pornește de la modelul matematic, [66]:

$$x_{k+1} = A_k + B_d u_k \quad (4.2)$$

$$y_k = C_d x_k \quad (4.3)$$

Fie x_k vectorul de stare real, în timp ce \hat{x}_k reprezintă vectorul stării estimate. Relația cunoscută, ce descrie dinamica estimatorului de stare este:

$$x_{k+1} = A_d \cdot \hat{x}_k + B_d u_k + L \left(y_k - C_d \cdot \hat{x}_k \right) \quad (4.4)$$

Alegerea matricii câștig L se face astfel încât $(A_d - LC_d)$ să fie stabilă.

4.5. Analiza sistemelor cu elemente de execuție defecte

Pentru a analiza comportamentul unui sistem, atunci când unul sau mai multe elemente de execuție sunt blocate, vom considera următoarea relație :

$$\theta_{ir} = \begin{cases} -k_i \theta_i + k_i \theta_{i0} & i=1,2,3 \end{cases} \quad (4.5)$$

în care:

- $k_i=0$ pentru starea în care elementul de execuție este în funcțiune;
- $k_i=1$ în condiții de defect și elementul de execuție este blocat în poziția $(\theta_{i0}; \theta_{ir})$, având semnificația unei comenzi reale a elementului de execuție i .

Pentru cazul în care $k_i=1$ putem simula un element de execuție care nu funcționează și rămâne blocat, θ_{i0} . În concluzie, apariția unui defect este echivalentă cu o modificare a structurii ecuației de stare pentru elementele de execuție. Vectorul de comandă are expresia :

$$E_r = \begin{bmatrix} \theta_{1r} \\ \theta_{2r} \\ \theta_{3r} \end{bmatrix} = \begin{cases} -K_D \end{cases} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} + K_D \begin{bmatrix} \theta_{10} \\ \theta_{20} \\ \theta_{30} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

în care:

$$K_D = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

este numită matrice de defect . Când $K_D=0$ sistemul nu are nici un defect.

Vectorul $\begin{bmatrix} \theta_{10} & \theta_{20} & \theta_{30} \end{bmatrix}^T$ reprezintă poziția de blocaj a elementului de execuție. Ca urmare, putem studia comportamentul în condiții de defect fixând matricea de defect. Polinomul caracteristic al sistemului este:

$$L(s) = \det(sI - A_s)^{-1} \det[I - (sI - A_s)^{-1} A_D] \quad (4.8)$$

și, dacă presupunem că sistemul fără defect este stabil , nu ne rămâne decât să analizăm condițiile în care soluțiile ecuației sunt în semiplanul stâng al planului complex:

$$\det[I - (sI - A_s)^{-1} A_D] = 0 \quad (4.9)$$

4.6. Sinteza comenzilor în cazul defectării elementelor de execuție

Dacă sistemul de control este proiectat folosind un controlor dinamic sau static, atunci putem asigura controlabilitatea în cazul defectării unui element de execuție, dacă acesta nu este interferat în structura sistemului de control. Mai mult, acțiunea controlerului asupra canalului defect (care caută să împiedice apariția unei erori) perturbă puternic celelalte canale pentru că acele ieșiri vor tinde repede spre valoarea minimă sau maximă.

Pentru a descrie simplu (matematic) un sistem defect avem următoarele ecuații:

$$\dot{x}_p(t) = A_p x_p(t) + B_p \begin{bmatrix} -K_D \\ K_C \end{bmatrix} u_r(t) + B_p K_D u_0 \quad (4.10)$$

$$y(t) = C_p x_p(t); \quad u_r(t) = f \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} (t) - y(t) \quad (4.11)$$

unde: $K_D = \text{diag}[k_{ij}]$ cu $k_i=0$ pentru funcționare normală și $k_j=1$ pentru defectarea elementului de execuție pe canalul j . Trebuie rezolvată problema determinării coeficienților matricii K_C , astfel încât procesul să poată fi menținut în starea dorită. În acest caz, produsul $(I - K_D)K_C$ are linia j cu toate elementele zero, unde $(I - K_D) = \text{diag}[a_{ii}]$ cu $a_{ii}=1$ și $a_{ij}=0$, celelalte elemente a_{ik} fiind zero. Pentru că este folosită cu variabile standard, starea statică prognozată va corespunde la $x_s=0$, $u_{rs}=0$, $y_s=0$. Se folosește indicele "d" pentru valorile variabilelor statice în condiții de defect. În aceste condiții, ecuațiile (4.10-4.11) devin:

$$A_p x_p(t) + B_p \begin{bmatrix} -K_D \\ K_C \end{bmatrix} u_r(t) + B_p K_D u_0 = 0 \quad (4.12)$$

$$y_d = C_p A_p^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -K_D \\ K_C \end{bmatrix} u_{rd} + K_D u_0 \quad (4.13)$$

Sinteza comenzii este considerată rezolvată dacă matricea K_C și/sau vectorul de comandă u_{rd} sunt determinați pentru o matrice K_D și vectorul u_0 .

4.7. Diagnoza defectelor în instalațiile industriale

Diagnoza defectelor: determinarea tipului, locației și timpului de detectare a defectului. Acest proces urmează detectării defectelor și include izolarea și identificarea defectelor.

Sistemele de detectare și diagnoza a defectelor (FDD - Fault Detection and Diagnosis): funcționarea acestora presupune următoarele etape:

1. *Detectarea defectelor*: determinarea prezentei unui defect în sistem și timpul de detectare; indică dacă s-a produs un eveniment nedorit în sistemul de supraveghere;
2. *Izolarea defectelor*: determinarea tipului de defect, a locului de producere a defectului și a momentului de detectare; urmează detectării defectelor. Se determină subsistemul funcțional care se află la originea anomaliilor și progresiv se rafinează această determinare pentru a izola organul sau dispozitivul elementar defect.
4. *Identificarea defectelor*: determinarea mărimii și comportării în timp a defectului; urmează etapei de izolare a defectelor. Se determină cauza care a generat defectarea constatată.

4.7.1. Compararea diferitelor metode de detectare a defectelor

Diferitele abordări ale detectării bazate pe model a defectelor au diferite proprietăți în ceea ce privește detectare diverselor tipuri de defecte. Pentru o bună aplicabilitate, trebuie luate în considerare următoarele aspecte:

- ❖ înscrierea defectelor reale în reziduurile generate;
- ❖ viteza de dezvoltare a defectului (abrupt, incipient);
- ❖ cunoștințe apriori asupra modelului (structura, parametrii);
- ❖ excitația prin semnalele de intrare (static, dinamic);
- ❖ extinderea informațiilor pentru o diagnoză a defectelor în adâncime.

Metodele cu estimarea parametrilor sunt potrivite, în special, pentru detectarea defectelor multiplicative (modificări de parametri). Aceste schimbări au loc, în principal, în proces sau în elementul de execuție. Estimarea parametrilor produce de asemenea câteva simptome pentru procesele SISO. Ele pot fi folosite direct pentru anumite clase de procese neliniare și de asemenea pentru caracteristici statice neliniare. Oricum, ele necesită o excitație a intrărilor procesului cu un anumit spectru de frecvență. Aceasta nu este o problemă pentru multe procese cu modificări ale intrărilor în funcționarea normală, ca de exemplu: servo-motoare, mașini unelte, vehicule, etc. Pentru procese cu o funcționare preponderent staționară, ca de exemplu: procesele industriale sau chimice, un mic semnal de excitație poate fi permis dacă se presupune apariția unui defect. Metodele cu estimare a parametrilor dețin o structură modulară, unificată, și, de aceea, ele pot fi ușor configurate. Calcularea coeficienților procesului depinde de fiecare proces în parte.

Ecuațiile de paritate sunt folosite, în special, pentru detectarea defectelor aditive. Ele apar pentru senzori, elemente de execuție și chiar pentru proces (de exemplu:

scurtcircuite). Oricum, modelul folosit pentru proces trebuie să descrie destul de precis procesul real. Un avantaj îl constituie efortul relativ mic de calcul și faptul că pentru o parte a defectelor nu sunt necesare excitări ale intrărilor. Ecuațiile de paritate sunt foarte sensibile la perturbații nemăsurabile ale procesului, care nu au fost înlăturate în timpul proiectării. Reziduuri multiple sunt obținute doar pentru semnale de ieșire multi - măsurabile.

Observerii de stare au proprietăți similare cu cele ale ecuațiilor de paritate. Ei sunt potriviți pentru defecte aditive. Efortul de proiectare este relativ mic pentru defecte sensibile la filtre și relativ mare și dependent de proces pentru celelalte. O diferență de bază între aceste metode este reprezentată de faptul că estimarea parametrilor este proiectată să elimine valorile constante ale semnalelor perturbate iar observerii de stare și ecuațiile de paritate să determine valorile dependente de timp din semnalele neperturbate. De aceea răspunsul unui estimator de parametru pentru semnalele cu zgomot este mai încet dar mai precis. Observerii de stare reacționează mai rapid dar cu valori nu foarte relevante (cu dependență mare). Dacă estimarea de parametri este proiectată pentru parametri dependenți de timp sau dacă se includ modele dinamice pentru parametri (Isermann, 1992a), estimarea parametrilor are efecte rapide asupra suprimării zgomotului. Din acest motiv, abilitatea de urmărire rapidă a modificărilor abrupte depinde de proiectarea lor, atât pentru estimarea parametrilor cât și pentru estimarea stărilor.

4.7.2. Combinarea diverselor metode de detecție

Dacă toate tipurile de defecte trebuie detectate, diferite metode de detectare trebuie integrate astfel încât să se folosească avantajele proprii fiecărei metode. Cum în majoritatea cazurilor, parametrii modelului nu sunt cunoscuți, este natural să se înceapă cu o estimare a parametrilor. Atunci pot rezulta următoarele combinații de metode de detecție bazate pe model:

I) Estimarea secvențială a parametrilor și a stării:

- estimarea parametrilor pentru obținerea modelului;
- estimarea stării pentru detectarea rapidă a modificărilor;
- estimarea parametrilor (la cerere) pentru diagnoza defectelor în adâncime;

II) Estimarea secvențială a parametrilor și ecuații de paritate:

- estimarea parametrilor pentru obținerea modelului - ecuații de paritate pentru detectarea schimbărilor (efort de calcul redus);
- estimarea parametrilor (la cerere) pentru diagnoza defectelor în adâncime;

III) Estimarea parametrilor și a stării în paralel:

- pentru defecte aditive și multiplicative;
- dependența de excitația intrării;

IV) Estimarea parametrilor și analiza vibrațiilor:

- estimarea parametrilor pentru trasarea defectelor parametrilor;
- analiza vibrațiilor pentru alte tipuri de defecte ca instabilitatea, bătaia unui mecanism și alte defecte specifice mașinilor rotative;

Modul de integrare depinde foarte mult de proces, de defectele posibil de detectat și de mijlocul de calcul disponibil. În unele cazuri integrarea metodelor de detectare bazate pe modele ale semnalelor sau ale procesului poate oferi informații bune asupra ansamblului.

Diagnoza tehnică se afla la răscrucea mai multor domenii cum ar fi: automatica, prelucrarea semnalelor sau informatică. Metodele de detectare și diagnoza a defectelor nu au un caracter universal. În funcție de natura proceselor, echipamentelor sau a sistemelor de conducere trebuie să se pună în practică metode specifice ce țin cont de tehnologiile folosite.

Problema constă în detecția erorilor din proces, element de execuție sau senzor prin folosirea dependentelor dintre diferitele semnale măsurate. Aceste dependente sunt exprimate fie prin modele analitice fie prin modele de date. În domeniul metodelor bazate pe model, cercetările au progresat semnificativ în ultimii ani.

Scopul acestora nu este doar de a pune în evidență dacă un defect este prezent sau nu (detecția defectului) ci și de a determina timpul și locația acestuia (izolarea defectului) sau a mărimii și comportării în timp a defectului.

Majoritatea schemelor de detectare și diagnoza constau în două nivele: un nivel de generare a simptomelor și un nivel de diagnosticare. Primul nivel indică starea procesului (prezența sau nu a defectului), folosindu-se semnătura defectelor, în cel de-al doilea nivel sunt diagnosticate defecțiunile.

Dificultatea în construirea unor scheme de detectare și diagnoza a defectelor constă în a găsi acele manifestări semnificative, robuste la zgomote, perturbații, incertitudini de modelare și modificare a punctului static de funcționare. Abordările moderne se bazează pe modele ale procesului și exploatează relațiile matematice dintre diferitele semnale măsurate în proces. Ele permit o diagnosticare în mare profunzime, dar necesită modele matematice exacte ale procesului.

O modelare analitică bazată pe ecuațiile fizice ale procesului reprezintă o muncă laborioasă, în special pentru procese neliniare, dar permite totodată o mare acuratețe în diagnosticare, datorită posibilității de interpretare fizică a parametrilor. Aceste metode sunt bazate pe estimatori de stare, observatori sau ecuații de paritate.

Modelele bazate pe date, cum ar fi rețelele neurale sau funcțiile fuzzy, oferă un instrument puternic și rapid de calcul pentru tratarea problemelor de diagnoză. Complementar acestor metode tehnicile de prelucrare a semnalului pot aduce în domeniul detecției și diagnozei defectelor noi valențe, ținând cont de utilitatea practică a acestor tehnici pentru procesele ce conțin elemente în mișcare, mașini rotative, etc. Tehnicile de prelucrare a semnalelor pentru detectarea defectelor pot fi folosite pentru detectarea schimbărilor în semnale provenite fie direct din măsurători, fie din reziduuri rezultate în urma altor tehnici de detectare a defectelor. Utilizarea acestor tehnici vizează analiza în timp (detectarea unei modificări a proprietăților statistice ale semnalelor: medie sau dispersie), analiza în frecvență (detectarea unei schimbări de spectru a semnalului: FFT) sau analiza în domeniul timp-frecvență (STFT, wavelets).

Toate aceste metode și tehnici sunt prezente în literatura de specialitate la nivel de cercetări științifice ale diferitelor grupuri de lucru internaționale dar lipsește o prezentare abordabilă prin prisma unui tutorial însoțit de exemple și simulări dinamice, accesibil publicului mai puțin avizat. Din prisma unei prezentări abordabile a noțiunilor de bază în

diagnoza tehnică s-au realizat programele de curs structurate pe module pentru prezentarea noțiunilor și metodelor specifice domeniului detecției și diagnozei defectelor.

4.7.3. Metode de diagnoza a defectelor

Metodele de diagnosticare a defectelor constau în determinarea tipului de defect cu cat mai multe detalii posibile, cum ar fi dimensiunea defectului, localizarea și timpul de detectare al acestuia. Procedura de diagnosticare este bazata pe observarea simptomelor analitice și euristice și pe cunoștințe euristice despre proces.

Reprezentarea simptomelor

Intrările mecanismului de inferență a defectelor bazat pe cunoștințe sunt toate simptomele disponibile ca evenimente iar cunoștințele relevante pentru defecte despre proces sunt majoritatea în forma euristica:

a) *Simptomele analitice (Sai)* - sunt rezultatele verificării valorilor limita ale semnalelor măsurabile, a metodelor de detecție a erorilor bazate pe modelul procesului sau al semnalului și detectarea schimbărilor.

b) *Simptome euristice (Shi)* - reprezintă observațiile personalului ce supraveghează instalația, sub formă de sunete, oscilații sau impresii optice (culori, fum), obținute prin inspecție. Evenimentele empirice pot sa fie reprezentate, de obicei, doar sub forma de masuri calitative, ca de exemplu expresii lingvistice (mic, mediu, mare).

c) *Istoria procesului și statistica defectelor* - aceasta categorie de evenimente depinde de starea generala a procesului, bazata pe funcționarea anterioara a acestuia. Aceste evenimente includ informații despre timpul de funcționare, măsurători de sarcina, ultimele operații de întreținere sau reparații. Dacă exista statistici de defecte, ele descriu frecventa anumitor defecte pentru același proces sau unul similar. Depinzând de calitatea acestor măsurători, ele pot fi folosite ca simptome analitice sau euristice. În general, informațiile provenite din istoria procesului sunt vagi și evenimentele rezultate trebuie considerate ca fiind simptome euristice. Cunoștințele despre aceste simptome se pot reprezenta sub forma de șiruri de caractere și pot include, de exemplu: numere, nume, valori numerice, valori de referință, valori de încredere sau de apartenența, timp de detectare, texte explicative.

d) *Reprezentarea uniforma a simptomelor* - pentru procesarea tuturor simptomelor într-un mecanism de inferență este avantajos sa se folosească o reprezentare uniforma. O posibilitate este sa se formuleze atât simptomele euristice cat și cele analitice sub forma numerelor de încredere $0 < c(S_i) < 1$, tratate în sensul abordării probabilistice cunoscute din teoria probabilităților (Freyermuth, 1991). O alta posibilitate este reprezentarea ca functii membre $0 < m(S_i) < 1$ sau seturi fuzzy (Isermann and Ulieru, 1993).

Figura următoare arata câteva exemple pentru cazurile în care simptomul DS_i indica fie creșterea fie descreșterea mărimii urmărite. Primele doua figuri a) și b) au avantajul folosirii unei funcție membru unice în contrast cu figura c) unde trebuie prelucrate informațiile pentru 5 funcții membru, care exprima modificările lingvistice.

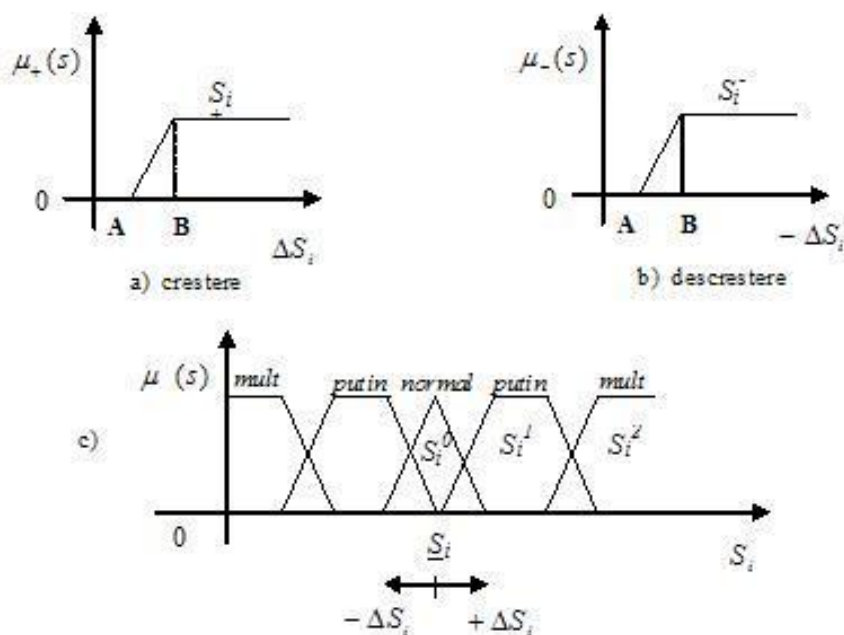


Fig. 4.3. Funcțiile membre ale simptomelor și reprezentate ca funcții fuzzy

Prin aceste tipuri de seturi fuzzy și funcții membre corespunzătoare, toate simptomele euristice și analitice trebuie reprezentate într-un mod uniform în intervalul $0 < m(S_i) < 1$. Aceste reprezentări ale simptomelor sunt apoi intrări ale mecanismului de inferență.

e) *Relațiile dintre simptomele ce caracterizează defectele* - propagarea defectelor, sesizabila prin caracteristici sau simptome, urmărește în general relațiile fizice cauza-efect, unde proprietățile fizice și variabilele sunt conectate cantitativ între ele și funcție de timp. Se întâmplă frecvent, ca legile fizice ce definesc cel mai bine procesul în forma analitică să nu fie cunoscute sau să fie prea complicat de calculat. Dacă nu sunt disponibile informații asupra cauzalității defect-simptom, se pot aplica metode de clasificare antrenate experimental. Aceasta conduce la o bază de cunoștințe nestructurată. În cazul în care cauzalitatea defect-sistem poate fi exprimată sub forma de reguli if-then, se pot folosi metode de raționare. Atât timp cât relația cauza-defect nu este cunoscută, în majoritatea cazurilor, relațiile sunt considerate statice.

4.7.4. Diagnoza folosind metode de clasificare

Caracteristicile sau simptomele euristice sunt reprezentate într-un vector:

$S^T = [S_1 \ S_2 \ \dots \ S_n]$, precum și defectele corespunzătoare presupuse a fi cunoscute: $F^T = [F_1 \ F_2 \ \dots \ F_m]$.

Elementele vectorului F pot fi binare $F_j \in [0, 1]$, exprimând faptul că un anumit defect fie s-a întâmplat, fie nu, sau pot exprima gradual existența defectului, dacă elementele vectorului F sunt de forma.

Dacă nu sunt disponibile alte informații despre relațiile simptom-defect se pot folosi metode de clasificare sau recunoaștere de forme. Fie S_n vectorul referință al comportamentului normal și S_i vectorul caracteristicilor (simptomelor) asociate unui anumit defect F_j , atunci relația dintre F și S este învățată (antrenată) experimental și memorată

pentru fiecare defect j într-o baza de cunoștințe. Prin compararea stării observate S cu referința normală S_n poate fi concluzionat defectul F . Se poate face distincția între metode de clasificare statice sau geometrice, cu sau fără anumite funcții de probabilitate (Tou and Gonzalez, 1974). O altă posibilitate este folosirea rețelelor neurale datorită abilității lor de a aproxima relații neliniare și de a genera decizii flexibile. Ariile de separație pot fi generate și prin clustere fuzzy.

4.7.5. Diagnoza folosind metode de raționare

Pentru anumite procese tehnice relațiile de bază între defecte și simptome sunt parțial cunoscute. Atunci aceste cunoștințe a-priori pot fi reprezentate prin relații cauzale: defect – eveniment - simptom.

Stabilirea acestei cauzalități se realizează în urma analizei arborilor de defectare (FTA-fault tree analysis) pornind de la defect - prin evenimente intermediare - la simptom (cauza fizică) sau prin analiza arborilor de funcționare (ETA-event tree analysis) pornind de la simptom la defect (înlănțuirea înainte) (Lee et al., 1985).

Pentru a asigura un diagnostic, informația calitativă trebuie exprimată sub forma de reguli: DACA - ATUNCI . Premisa conține starea de fapt sub forma simptomelor și ca intrări iar concluzia include evenimentele E_k și defectele F_j ca o cauză logică a faptelor. Dacă aceste simptome indică un eveniment sau un defect, faptele sunt asociate prin conexiuni și ori SAU, conducând la reguli de forma:

DACA (S_1 și S_2) ATUNCI (E_1)

DACA (E_1 și E_2) ATUNCI (F_1)

Pentru stabilirea acestor cunoștințe euristice sunt folosite o serie de abordări așa cum sunt prezentate în (Frost, 1986) și (Torasso and Console, 1989).

În analiza arborilor de defectare, simptomele și evenimentele sunt considerate ca variabile binare iar partea condițională a regulilor poate fi calculată cu ajutorul algebrei booleene (Barlow and Proschan, 1975; Freyermuth, 1993). Aceasta procedură nu s-a demonstrat a fi de succes datorită naturii continue a defectelor și simptomelor. Pentru procese tehnice sunt mai potrivite metode de raționare aproximativă (Isermann and Ulieru, 1993) și (Ulieru, 1996).

Folosind strategia de înlănțuire înainte, faptele sunt potrivite cu premisele și concluziile sunt bazate pe consecințe logice.

Pentru raționarea aproximativă simptomele sunt considerate fapte incerte. Aceasta se poate realiza prin reprezentarea simptomelor ca funcții de încredere $c(S_i)$, funcții membre ale seturilor fuzzy $m(S_i)$ sau funcții de densitate probabilistice $p(S_i)$.

Raționarea probabilistică este bazată pe rețele Bayesiene cu probabilități condiționate pentru cauzalități (Pearl, 1988). Pentru a reduce efortul de calcul, simptomele independente statistic trebuie să fie presupuse. Atunci formularea este foarte asemănătoare cu operația de însumare-multiplicare din logica fuzzy (Ulieru, 1996). Raționarea probabilistică cu logica fuzzy este foarte puternică. Simptomele sunt reprezentate ca seturi fuzzy cu semnificație lingvistică: mic, mediu, mare. Urmează apoi conform sistemului de reguli fuzzy: fuzzificarea, inferența, acumularea și defuzzificarea.

Rezultatul este posibilitatea de a măsura un defect și mărimea sa (Isermann, 1995; Ulieru, 1996; Ballé and Isermann, 1998).

Datorita generării greoaie a bazei de date s-au dezvoltat sisteme adaptive-fuzzy pentru raționamente aproximative. Folosind similitudine dintre sistemele fuzzy și rețelele neuronale s-a propus un sistem neuro-fuzzy în care funcțiile membre ale simptomelor și conexiunile SI/SAU sunt acordate experimental.

Strategia de înlănțuire înapoi presupune cunoscuta concluzia și caută toate premisele posibile. Aceasta abordare este interesanta daca simptomele nu sunt complete. De aceea, pornind de la simptome cunoscute, sunt alese toate evenimentele și defectele posibile (înlănțuire înainte), ulterior aplicând înlănțuirea înapoi, evenimentele și defectele posibile sunt considerate premise și se caută simptomele lipsa, după care este repornita căutarea înainte. Aceasta procedura este cel mai bine implementata prin intermediul unui dialog interactiv și repetata până când este terminata de către operator.

Exemplu de diagnoza în cazul unei turbine cu aburi

Analizorul VPA 316 este destinat supravegherii și diagnozei avansate a turbinelor de putere prin analiza și monitorizarea complexa a principalilor parametri de stare:

- ✓ Vibrații
- ✓ Dilatări
- ✓ Temperaturi
- ✓ Turație
- ✓ Calitatea parametrilor electrici

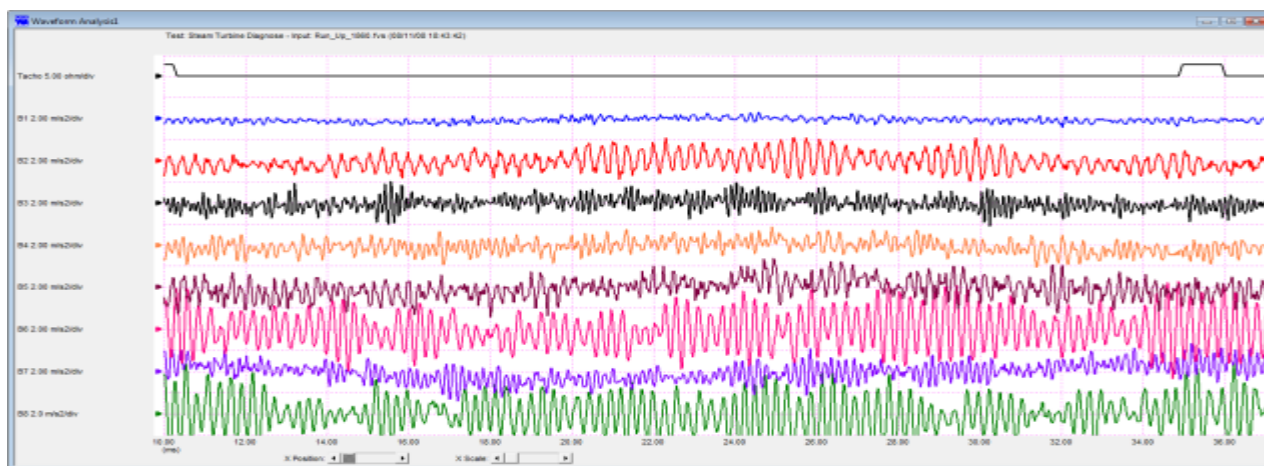


Fig. 4.4. Formele de undă ale accelerației vibrațiilor

Cele 8 intrări pentru accelerometre permit monitorizarea simultana a tuturor lagărelor turbinei. Fiind sensibile la frecvențe înalte, aceste semnale sunt utilizate pentru detectarea șocurilor, fricțiunilor, defectelor de etanșare și angrenare, defectelor generatorului electric.

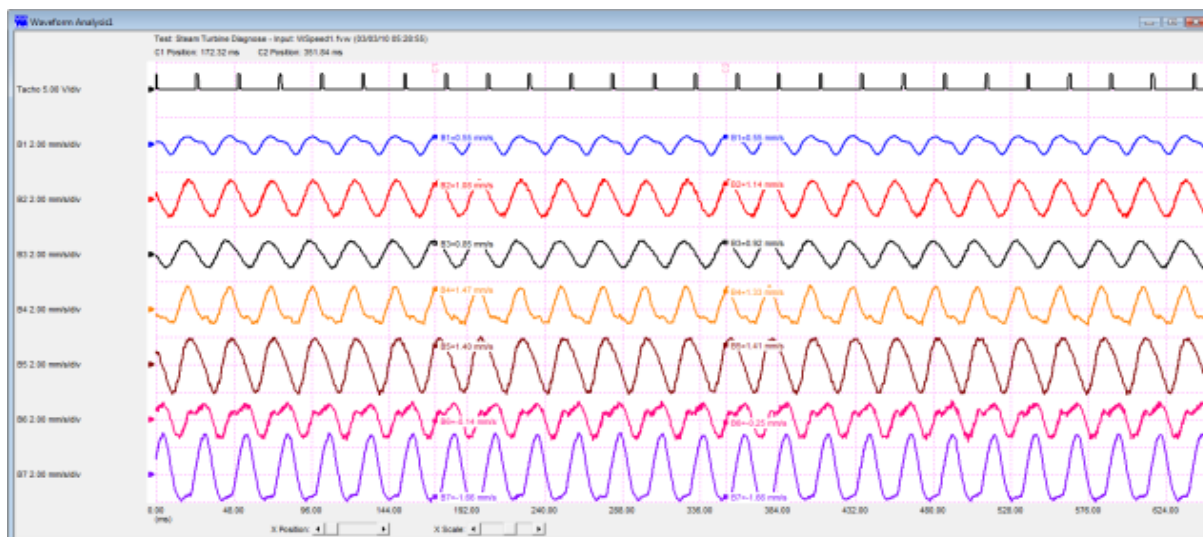


Fig. 4.5. Formele de unda ale vitezei vibrațiilor

Prin integrarea în domeniul timp a accelerației vibrațiilor sunt obținute formele de unda ale vitezei vibrațiilor. Parametrii statistici ai acestor semnale sunt utilizați pentru supravegherea turbinei și semnalarea defectelor datorate dezechilibrului, dezalinierii, dilatărilor neuniforme, asimetriilor de întrefier sau dezechilibrului electrice.

Spectrele de frecvență sincronizate cu turația și diagrama polara multicanal, prezintă într-un mod sugestiv starea de funcționare a fiecărui lagăr și a turbinei în ansamblu. Fereastra *Parameters Measurement* afișează și supraveghează zeci de parametri selectați de către utilizator. Evoluția acestor parametri este înregistrată în mod continuu în cadrul ferestrei *Parameters Trend*.

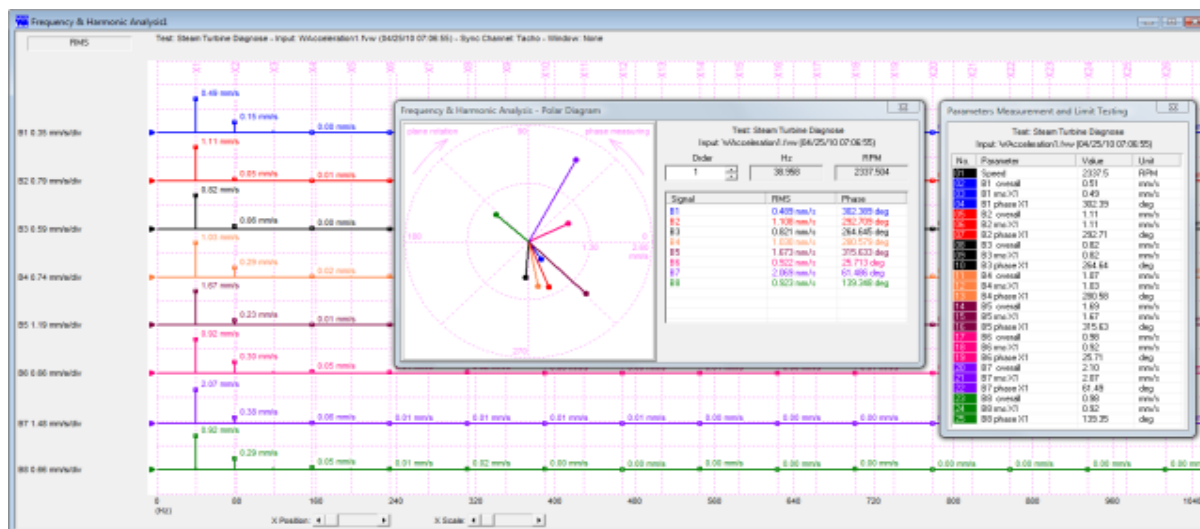


Fig. 4.5. Spectrele vibrațiilor, diagrama polară multicanal și lista parametrilor urmăriți

Prin analiza traiectoriei arborelui sau a carcasi sunt obținute informații utile în diagnoza întregului lanț de arbori. Diagrama orbită FFT descompune mișcarea monitorizată în elipsele constitutive și calculează parametrii geometrici ai acestora și sensul de parcurgere.

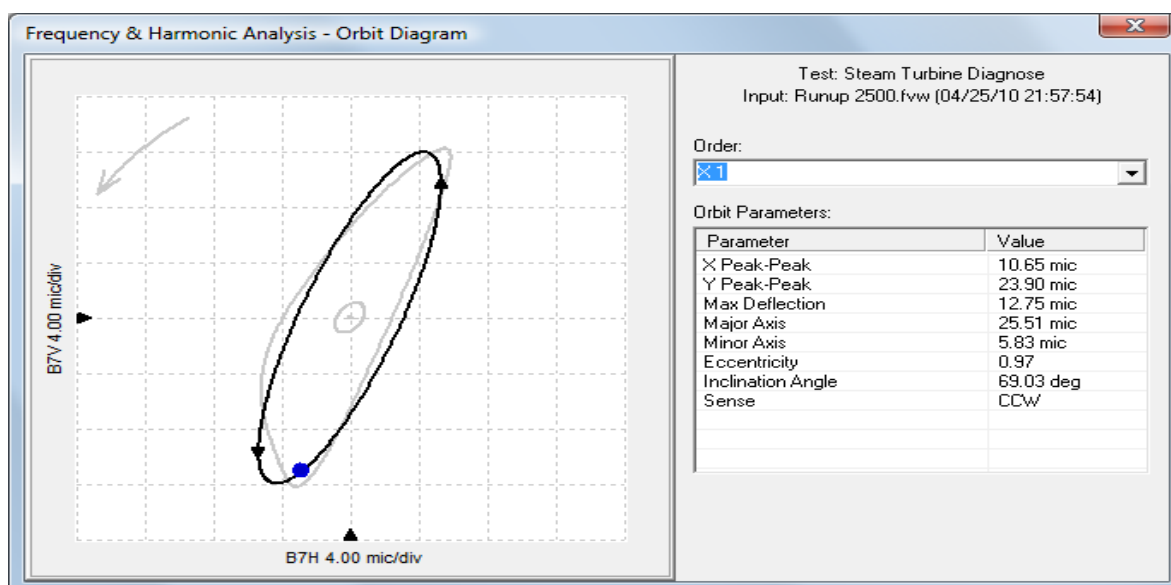


Fig. 4.6. Orbita compusa, orbitele elementare și parametrii orbitei selectate

Waveform

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	Steam Turbine Diagnose: Waveform Samples								
3	Input: WSpeed1.fvw (03/03/10 05:28:55)								
4									
5	Time	Tacho1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
6	[ms]	[V]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
7									
8	0	2.8	0.16	0.52	-0.1	-0.37	0.94	0.69	1.09
9	0.02	2.8	0.16	0.47	-0.09	-0.38	0.9	0.74	1.09
10	0.04	2.8	0.16	0.42	-0.1	-0.39	0.87	0.77	1.09
11	0.06	2.79	0.16	0.37	-0.1	-0.39	0.85	0.79	1.08
12	0.08	2.8	0.16	0.34	-0.11	-0.38	0.85	0.79	1.08

Waveform

Fig. 4.7. Tabel Excel cu eșantioanele formelor de undă

Parametrii finali și rezultatele fiecărui tip de analiză sunt înregistrate în format propriu sau Excel pentru prezentare și prelucrări specifice.