



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00937

(22) Data de depozit: 02/12/2015

(41) Data publicării cererii:
28/07/2017 BOPI nr. 7/2017

(71) Solicitant:
• NEXTRON INDUSTRIES S.R.L.,
STR. AVIATORILOR NR. 10, GHERCEȘTI,
DJ, RO

(72) Inventatori:
• IANCU EUGEN PETRIȘOR,
STR. BRAZDA LUI NOVAC NR. 79, BL. C8,
AP. 23, CRAIOVA, DJ, RO;
• BOBAȘU EUGEN,
STR. EUSTATIU STOENESCU NR. 1A,
BL. T8, SC. 1, AP. 6, CRAIOVA, DJ, RO;

• SELISTEANU DAN, STR. CÂMPIA ISLAZ
NR. 13, CRAIOVA, DJ, RO;
• SENDRESCU GHEORGHE DORIN,
STR. DESNATUI NR.26, BL. A3, AP. 53,
CRAIOVA, DJ, RO;
• ANTONIE CLAUDIU-ALIN, STR. ROMUL
NR. 7A, BL. C2, SC. 1, ET. 1, AP. 7,
CRAIOVA, DJ, RO

(74) Mandatar:
CABINET DOINA ȚULUCA, BD.LACUL TEI
NR.56, BL.19, SC.B, AP.52, SECTOR 2,
BUCUREȘTI

(54) METODĂ DE DETECȚIE ȘI LOCALIZARE A DEFECTELOR
LA NIVELUL SENZORILOR UTILIZAȚI ÎN CONTROLUL
MOTOARELOR ELECTRICE DE C.C. FĂRĂ PERII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de detecție și localizare a senzorilor defecti, utilizați pentru măsurarea tensiunilor și curenților în cazul unui motor electric de curent continuu fără perii, montat într-un vehicul electric. Metoda conform invenției cuprinde etapele de stabilire a unei valori pentru coeficientul de intercorelație ρ , valoare considerată normală pentru o bună funcționare a motorului, achiziție a mărimilor furnizate de către doi senzori care măsoară ieșirea procesului, valorile furnizate de senzori fiind notate cu z_1 și z_2 , mărimea de intrare a procesului, notată cu u , fiind cunoscută, și calculare a coeficienților de corelație $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_2, u)$ dacă se folosește varianta cu două traductoare, sau $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_m, u)$ dacă se folosește varianta cu un traductor și modelul matematic pentru motor.

Revendicări: 7
Figuri: 7

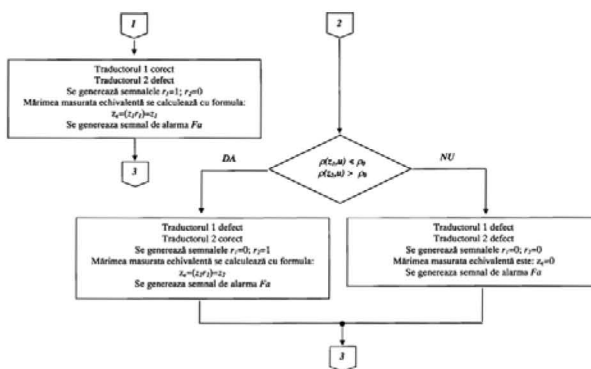
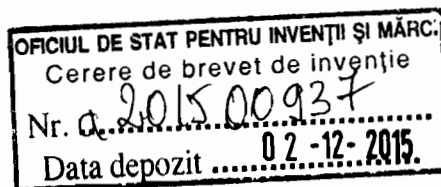


Fig. 5

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).





METODĂ DE DETECȚIE ȘI LOCALIZARE A DEFECTELOR LA NIVELUL SENZORILOR UTILIZAȚI ÎN CONTROLUL MOTOARELOR ELECTRICE DE C.C. FĂRĂ PERII

Prezenta invenție se referă la posibilitatea detectării și localizării senzorilor defecti cu ajutorul cărora se măsoară tensiunile și curenții în cazul motorului electric de c.c. fără perii utilizat în acționarea vehiculului electric.

Defectele, în special în sistemele complexe, sunt practic inevitabile, fapt ce impune o detecție rapidă, localizarea și diagnosticarea lor în scopul evitării unor situații cu consecințe catastrofale. Aceste cerințe devin imperioase atunci când se pune problema protecției vieții oamenilor, așa cum este și cazul autovehiculelor.

Conceptul de detecție și localizare a defectelor (*FDI – Fault Detection and Identification*) a devenit un element de bază în teoria conducerii automate. La implementarea sa în aplicațiile practice se face apel la:

- *Redundanța fizică, mai mulți senzori pentru același parametru măsurat* - ce are în vedere realizarea unor structuri hardware cu procesări paralele ale informației și adoptarea deciziei pe baza votului majoritar.

- *Redundanța analitică, care presupune prelucrarea la un nivel superior a informației* achiziționate în scopul detectării unor posibile schimbări cauzate de defecte. Ea este utilizată atunci când redundanța hardware nu este acceptată din cauza unor limitări fizice: spațiu, greutate, consum de energie, etc. Din aceste motive, metoda în sine devine deosebit de tentantă pentru aplicațiile mobile. Metoda utilizează un model matematic al motorului electric de c.c. fără perii. Principalele cerințe ce se impun unui algoritm pentru detecția erorilor pot fi rezumate astfel:

1. Răspuns rapid în cazul apariției unui defect.
2. Robustețe în raport cu erorile modelului și zgomotele din sistem.
3. Reducerea riscului de apariție a unor alarme false.
4. Efort de calcul cât mai mic.

În expunerea ce urmează se presupune cunoscut modelul matematic al motorului electric de c.c. fără perii.

Prelucrarea semnalelor. Breviar teoretic

Fie semnalele $x(t)$ și $y(t)$ ce descriu două procese. Funcția de *corelație* este o mărime statistică, fiind definită cu ajutorul relației:

$$R_{xy}(\tau) = E\{x(t)y(t + \tau)\} \quad (1)$$

De asemenea, funcția de *covariație* a două semnale este definită de relația:

$$C_{xy}(\tau) = E\{(x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y)\} \quad (2)$$

sau

$$C_{xy}(\tau) = R_{xy}(\tau) - \mu_x \mu_y \quad (3)$$

unde μ_x și μ_y sunt valorile medii. Pentru procese continue, funcția de corelație poate fi calculată cu formula:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)y(t + \tau)dt \quad (4)$$

În practică este însă necesară estimarea acestei funcții, întrucât este posibil să avem acces la cele două semnale doar pe un interval finit de timp. O formă comună pentru calculul funcției de corelație (*time-ambiguity function*), utilizată atunci când avem N eșantioane din $x(t)$ și $y(t)$ (x_n și y_n) este prezentată în relația (5) (MathWorks, 1999):

$$R_{xy}(m) = \sum_{n=0}^{N-m-1} x_n y_{n+m}, \quad m \geq 0 \quad (5)$$

În aceleași condiții, relația (3) devine:

$$C_{xy}(m) = \sum_{n=0}^{N-m-1} x_n y_{n+m} - \mu_x \mu_y, \quad m \geq 0 \quad (6)$$

iar valorile medii sunt calculate cu formulele:

$$\mu_x = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N + 1} \sum_{n=-N}^N x_n \quad (7)$$

$$\mu_y = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N + 1} \sum_{n=-N}^N y_n \quad (8)$$

Un parametru important ce caracterizează procesele este *coeficientul de intercorelație* (Spataru, 1987):

$$\rho(x_n, y_n) = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (9)$$

unde

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (10)$$

$$\sigma_y = \sqrt{D_y} \quad (11)$$

D_x și respectiv D_y reprezentând *varianța* celor două semnale, determinată cu ajutorul relațiilor:

$$D_x = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N + 1} \sum_{n=-N}^N (x_n - \mu_x)^2 \quad (12)$$

$$D_y = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N (y_n - \mu_y)^2 \quad (13)$$

Valorile coeficientului (9) sunt limitate la intervalul:

$$0 \leq |\rho(x_n, y_n)| \leq 1 \quad (14)$$

Două semnale $x(t)$ și $y(t)$, respectiv x_n și y_n , sunt necorelate (statistic independente) dacă (Murgan, Dogaru, Comaniciu, 1995):

$$C_{xy}(m) = 0 \quad (15)$$

de unde rezultă:

$$\rho(x_n, y_n) = \frac{C_{xy}(m)}{\sigma_x \sigma_y} = 0 \quad (16)$$

Reciproca, în general, nu este adevărată. Necorelarea este o proprietate mai slabă decât independența statistică. Totuși, în cazul aplicațiilor pe care le avem în vedere, se pot face următoarele afirmații:

- Pentru $|\rho(x_n, y_n)| \cong 1$, avem două procese puternic corelate;
- Pentru $|\rho(x_n, y_n)| = 0$, cele două procese sunt necorelate (este foarte posibil să fie independente).

Algoritmul utilizat pentru detecția și localizarea defectelor

Din analiza noțiunilor teoretice prezentate se desprinde următoarea justificare a algoritmului de estimare a funcționalității traductoarelor. Pentru exemplificare, se consideră următoarea structură (fig. 1):

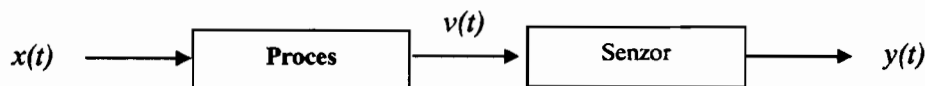


Fig. 1. Schemă pentru ilustrarea algoritmului.

În figura 1, semnalele $x(t)$ și $y(t)$ sunt accesibile, în timp ce semnalul $v(t)$ nu este accesibil. Conform structurii prezentate, între semnalul de intrare $x(t)$ și semnalul de ieșire $y(t)$, există o legătură funcțională, de cauzalitate. Conform noțiunilor teoretice prezentate, cele două semnale sunt intercorelate, deci coeficientul de intercorelație $\rho(x,y)$ este aproape de 1. Dacă unul din blocuri se defectează (senzorul) legătura de cauzalitate nu mai este asigurată, semnalele sunt independente, fapt ce se reflectă în valori foarte mici ale coeficientului de intercorelație ($\rho(x,y)$ tinde către zero).

Metodă

Varianta 1

Schema propusă are structura din figura 2.

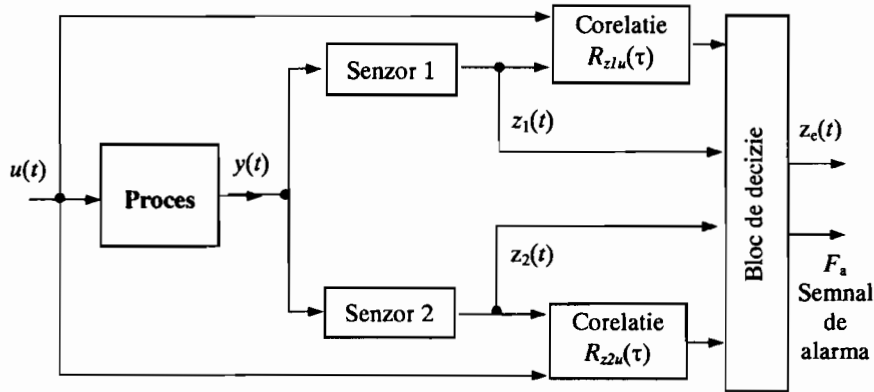


Fig. 2. Schemă pentru detecția și localizarea senzorilor defecți (folosind două traductoare).

În acest caz, ieșirea procesului este măsurată prin intermediul a două traductoare identice. Ne propunem să detectăm și să identificăm apariția unui defect la nivelul traductoarelor. Dacă p este probabilitatea de defect a unui traductor, atunci defectarea simultană a ambelor traductoare este $p^2 \ll 1$, dacă presupunem că cele două evenimente sunt independente. Instalarea a două traductoare nu ridică probleme tehnice deosebite, în schimb în această situație nu se mai poate aplica metoda votului majoritar. Structura blocului de decizie este reprezentată în figura 3.

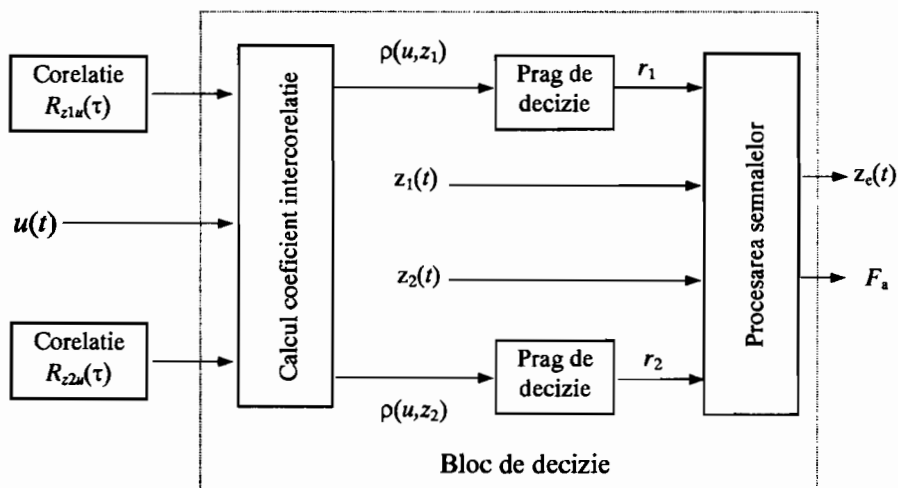


Fig. 3. Structura blocului de decizie.

Schema logica care stă la baza acestui algoritm presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Se achiziționează semnale de la procesul monitorizat: mărimea de intrare $u(t)$ și mărimile

măsurate $z_i(t), i=1,2$. Pentru determinarea semnalului măsurat echivalent $z_e(t)$, ce va fi transmis sistemului de procesare (control) al motorului, se procedează astfel:

- Se determină valorile coeficienților de corelație $\rho(u, z_1)$ și $\rho(u, z_2)$.
- Se fixează *a priori* un prag de decizie ρ_0 , pe baza observațiilor experimentale. Dacă

$$\rho(u_n, z_{1,n+m}) \geq \rho_0 \quad (17)$$

și dacă

$$\rho(u_n, z_{2,n+m}) \geq \rho_0 \quad (18)$$

putem considera că ambele traductoare sunt în stare bună de funcționare. De menționat că valoarea parametrului m este fixată în funcție de constantele de timp ale procesului și traductoarelor.

- Valoarea semnalului echivalent de ieșire $z_e(t)$, cel care este procesat ca semnal de reacție (*feedback*) de către echipamentul de conducere, este calculat cu ajutorul relației:

$$z_e(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}[r_1 z_1(t) + r_2 z_2(t)], & \text{daca } r_1 = r_2 = 1 \\ r_1 z_1(t), & \text{daca } r_1 = 1 \text{ si } r_2 = 0 \\ r_2 z_2(t), & \text{daca } r_1 = 0 \text{ si } r_2 = 1 \end{cases} \quad (19)$$

unde $r_i, i=1,2$, sunt coeficienți calculați conform relației:

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{daca } \rho(u_n, z_{i,n+m}) \geq \rho_0, \text{ traductor functional} \\ 0, & \text{daca } \rho(u_n, z_{i,n+m}) < \rho_0, \text{ traductor defect} \end{cases}, i = 1,2 \quad (20)$$

Structura blocului pentru procesarea semnalelor este reprezentată în figura 4.

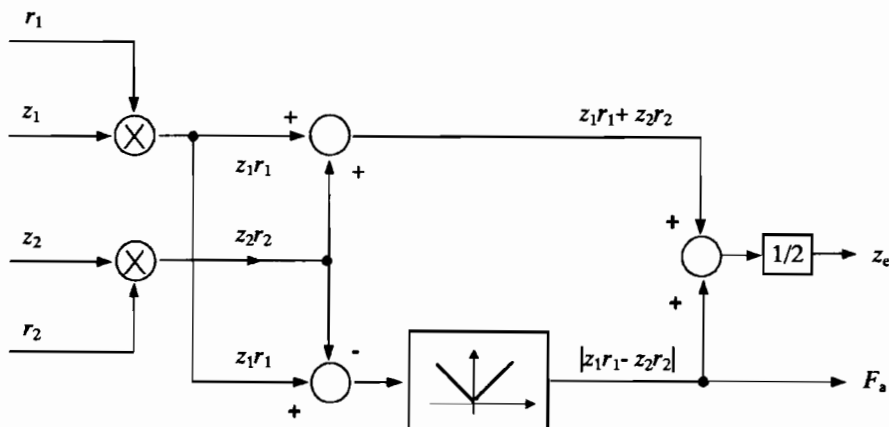


Fig. 4. Structura blocului pentru procesarea semnalelor.

Semnalul intermediar $|z_1 r_1 - z_2 r_2|$ poate fi folosit ca semnal de alarmă F_a . Dacă ambele traductoare funcționează corect, atunci:

$$|z_1(t)r_1 - z_2(t)r_2| \approx 0 \quad (21)$$

Dacă avem un traductor defect, atunci:

$$|z_1(t)r_1 - z_2(t)r_2| \neq 0 \quad (22)$$

iar localizarea senzorului defect se face cu ajutorul semnalului r_i a cărui valoare este zero.

Varianta 2

O altă aplicație propusă este reprezentată de cazul când se folosește un singur traductor. Posibilitatea detectării momentului în care traductorul se defectează constă din utilizarea unei scheme similare (fig. 4). De această dată rolul celui de al doilea traductor este preluat de un model matematic al motorului (procesului). Structura blocurilor de decizie și pentru prelucrarea semnalelor este aceeași ca în cazul anterior (fig. 2). Se înlocuiește semnalul z_2 furnizat de al doilea traductor cu semnalul z_m furnizat de modelul matematic.

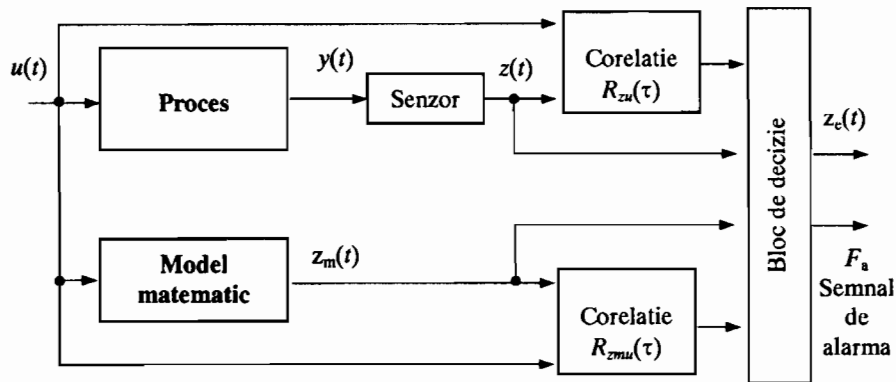


Fig. 4. Schemă pentru detecția defectării senzorului folosind un singur traductor și modelul matematic al procesului (motorului electric).

Pentru ambele variante de detecție și localizare a senzorilor defecti, schema logică a algoritmului este prezentată în fig. 5.

Mai întâi se fixează o valoare pentru coeficientul de intercorelație ρ , valoare considerată ca fiind normală pentru o buna functionare a motorului. Aceasta se notează cu ρ_0 . Apoi, se face achiziția mărimilor furnizate de către cei doi senzori, senzori care măsoară iesirea procesului. Valorile furnizate de către cei doi senzori, le notăm cu z_1 și z_2 . Mărimea de intrare a procesului, notată cu u , este cunoscută. Se calculează coeficienții de corelație $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_2, u)$ dacă se folosește varianta cu două traductoare sau, $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_m, u)$ dacă se folosește varianta cu un traductor și modelul matematic pentru motor.

Dacă $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$, atunci înseamnă că cele două traductoare funcționează corect și, se generează semnalele de corelație $r_1=r_2=1$. Se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e , apoi se reia procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

Dacă cele două relații de calcul $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$ nu sunt adevărate atunci, este posibil ca unul sau chiar amândouă traductoarele să fie defecte. Se trece la depistarea traductorului defect.

Dacă relația $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) < \rho_0$ este adevărată, atunci înseamnă că traductorul nr.2 este defect iar traductorul nr.1 funcționează corect. Se generează semnalele de corelație $r_1=1$ și $r_2=0$. Se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e cu formula $z_e=(z_1 r_1)=z_1$. Întrucât traductorul nr.2 nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

Dacă relația $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) < \rho_0$ nu este adevărată, atunci se verifică și relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$.

Dacă relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$ este adevărată, atunci înseamnă că traductorul nr.1 este defect iar traductorul nr.2 funcționează corect. Se generează semnalele de corelație $r_1=0$ și $r_2=1$. Se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e cu formula $z_e=(z_2 r_2)=z_2$. Întrucât traductorul nr.1 nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

Dacă relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$ nu este adevărată, atunci înseamnă că ambele traductoare sunt defecte. Se generează semnalele de corelație $r_1=0$ și $r_2=0$. Se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e iar în acest caz $z_e=0$. Întrucât ambele traductoare nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

REVENDICĂRI

1. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație **caracterizată prin aceea că** are următoarele etape:
 - a) mai întâi se fixează o valoare pentru coeficientul de intercorelație ρ , valoare considerată ca fiind normală pentru o buna functionare a motorului, aceasta se notează cu ρ_0 ;
 - b) apoi, se face achiziția mărimilor furnizate de către cei doi senzori, senzori care măsoară ieșirea procesului, valorile furnizate de către cei doi senzori, le notăm cu z_1 și z_2 ; mărimea de intrare a procesului, notată cu u , este cunoscută,
 - c) se calculează coeficienții de corelație $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_2, u)$ dacă se folosește varianta cu două traductoare sau, $\rho(z_1, u)$ și $\rho(z_m, u)$ dacă se folosește varianta cu un traductor și modelul matematic pentru motor.

2. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** dacă $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$, atunci înseamnă că cele două traductoare funcționează corect și, se generează semnalele de corelație $r_1=r_2=1$, se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e , apoi se reia procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

3. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** dacă cele două relații de calcul $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$ nu sunt adevărate atunci, este posibil ca unul sau chiar amândouă traductoarele să fie defecte, se trece la depistarea traductorului defect.

4. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 3 **caracterizată prin aceea că** dacă relația $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) < \rho_0$ este adevărată, atunci înseamnă că traductorul nr.2 este defect iar traductorul nr.1 funcționează corect, se generează semnalele de corelație $r_1=1$ și $r_2=0$, se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e cu formula $z_e=(z_1 r_1)=z_1$, întrucât traductorul nr.2 nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

5. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 3 **caracterizată prin aceea că** dacă relația $\rho(z_1, u) > \rho_0$ și $\rho(z_2, u) < \rho_0$ nu este adevărată, atunci se verifică și relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$.

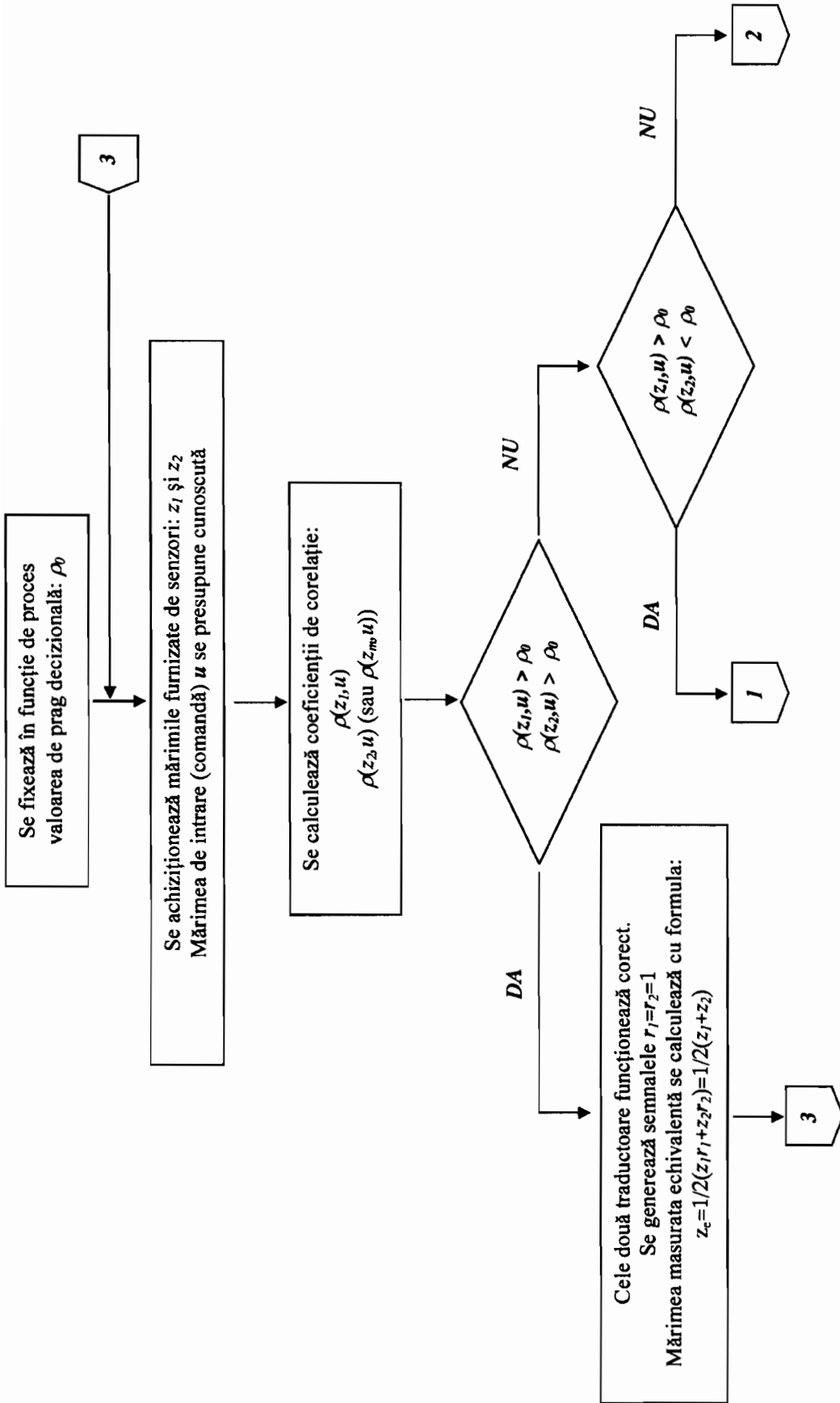
6. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 4 **caracterizată prin aceea că** dacă relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și

$\rho(z_2, u) > \rho_0$ este adevărată, atunci înseamnă că traductorul nr.1 este defect iar traductorul nr.2 funcționează corect, se generează semnalele de corelație $r_1=0$ și $r_2=1$, se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e cu formula $z_e=(z_2 r_2)=z_2$, întrucât traductorul nr.1 nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

7. Metodă analitică de estimare a senzorilor defecți folosind calculul coeficientului de intercorelație conform revendicării 5 **caracterizată prin aceea că** dacă relația $\rho(z_1, u) < \rho_0$ și $\rho(z_2, u) > \rho_0$ nu este adevărată, atunci înseamnă că ambele traductoare sunt defecte, se generează semnalele de corelație $r_1=0$ și $r_2=0$, se calculează mărimea măsurată echivalentă z_e iar în acest caz $z_e=0$, întrucât ambele traductoare nu funcționează, se va genera un semnal de alarmă *Fa* apoi, se reia algoritmul cu procesul de achiziție a mărimilor furnizate de către cele două traductoare.

Bibliografie:

- [1] Murgan, A. T., R. Dogaru, C. Comaniciu - *Teoria transmisiunii informației. Detectia, estimarea și filtrarea semnalelor aleatoare*, Editura Politehnica București, 1995.
- [2] Spătaru, Al. (1987) *Fondements de la théorie de la transmission de l'information*, Ed. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Elveția, ISBN 2-88074-133-0.
- [3] <https://www.mathworks.com>, 1999



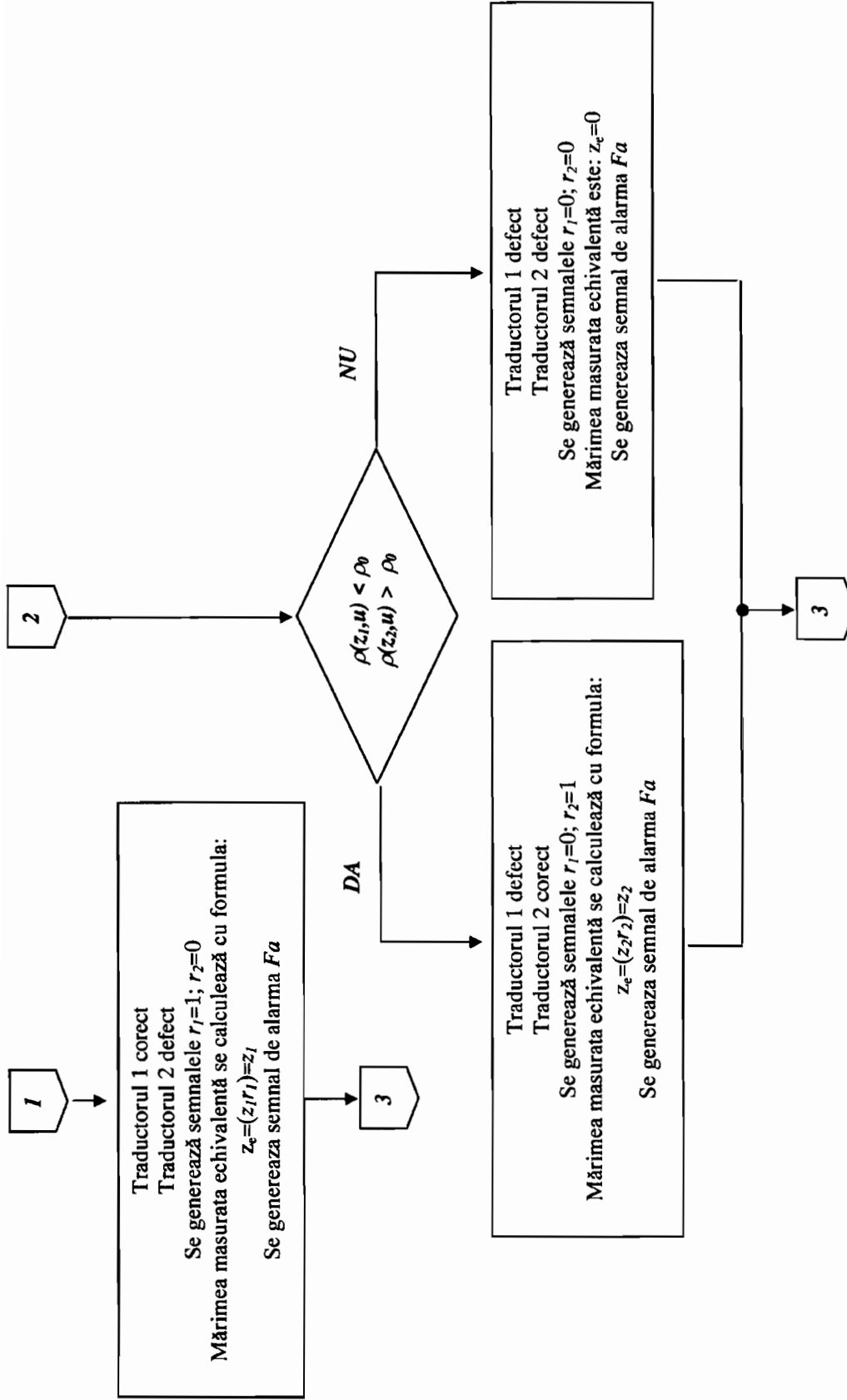


Fig. 5. Schema logică pentru detecția și localizarea senzorului defect.