



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00370

(22) Data de depozit: 02/06/2015

(41) Data publicării cererii:  
30/01/2017 BOPI nr. 1/2017

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

(72) Inventatori:  
• SENDRESCU GHEORGHE DORIN,  
STR. DESNATUI NR.26, BL. A3, AP. 53,  
CRAIOVA, DJ, RO;  
• IVANOV IURI-SERGIU, BD. 1 MAI NR. 67,  
BL. 21, SC. 1, AP. 7, CRAIOVA, DJ, RO;  
• SELISTEANU DAN, STR. CÂMPIA ISLAZ  
NR. 13, CRAIOVA, DJ, RO;

• PETRE EMIL,  
STR. EUSTATIU STOENESCU NR. 1A,  
BL. T8, SC. 1, AP. 6, CRAIOVA, DJ, RO;  
• BOBOSANU EUGEN, STR. LAMAITEI,  
BL. K8, AP. 9, CRAIOVA, DJ, RO;  
• MECHE MARIUS,  
STR. C. BRÂNCOVEANU NR. 18, CRAIOVA,  
DJ, RO;  
• ANTONIE ALIN CLAUDIU, STR. ROMUL  
NR. 7A, BL. C2, SC. 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 ESTIMARE A PARAMETRILOR MOTOARELOR  
DE C.C. FĂRĂ PERII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de estimare a parametrilor motoarelor de curent continuu fără perii. Metoda conform invenției constă în estimarea parametrilor sub forma unei probleme de optimizare, rezolvată cu ajutorul unui algoritm PSO (Particle Swarm Optimization) care se desfășoară astfel: se aplică o tensiune de alimentare  $U_d$  care este modificată în trepte, și se măsoară stările sistemului  $\xi = [i_a, i_b, i_c, \omega, \theta]$  la momentele de eșantionare  $q \cdot T_s$ , unde  $i_a, i_b, i_c$  reprezintă intensitățile curenților de fază,  $\omega$  este viteza unghiulară a rotorului,  $\theta_e$  este unghiul electric al rotorului,  $T_s$  este perioada de eșantionare, iar  $q$  este numărul eșantionelor; se inițializează o populație de particule cu poziții aleatoare în spațiul de căutare, numărul maxim de iterații  $K_{max}$  al algoritmului și o valoare maximă a funcției obiectiv, notată cu  $V_{max}$ ; pentru fiecare particulă se evaluează funcția obiectiv, apoi se compară valoarea funcției obiectiv cu valoarea corespunzătoare celei mai bune poziții a unei particule anterioare și, după caz, se înlocuiește sau nu cu poziția actuală; se determină particula din grup cu cea mai bună poziție, și se alocă poziția ei variabilei; se modifică poziția și viteza fiecărei particule, conform unor relații prestabilite, după care se trece la iterația următoare, sau, dacă este îndeplinită o condiție de stop, algoritmul se oprește.

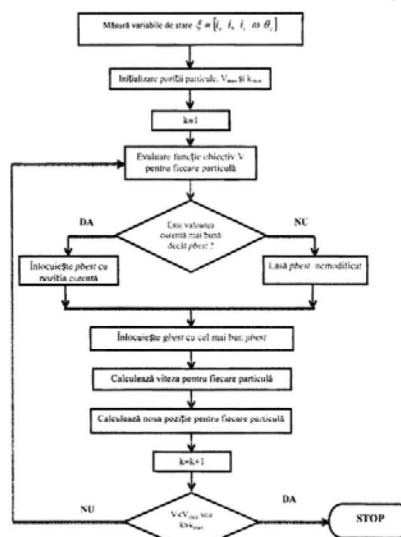


Fig. 3

Revendicări: 1  
Figuri: 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, 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 ESTIMARE A PARAMETRILOR MOTOARELOR DE C.C. FĂRĂ PERII

Metodele numerice de optimizare euristică au cunoscut un succes deosebit în ultima perioadă datorită rezultatelor foarte bune obținute în rezolvarea unor probleme de optimizare dificile, precum și datorită simplității implementării acestora. Apariția metodelor euristice de optimizare a făcut posibilă rezolvarea unor probleme de optimizare globală care erau considerate dificil sau imposibil de rezolvat. Dezvoltarea metodelor euristice de optimizare a fost favorizată de creșterea puterii de calcul a microcontrollerelor și microprocesoarelor precum și de faptul că sunt ușor de implementat.

Dintre cele mai utilizate metode euristice utilizate în optimizări menționăm: Simularea călirii metalelor (*simulated annealing*), Căutare TABU (*tabu search*), Metoda GRASP (*Greedy Random Adaptive Search Procedure*), Calcul evoluționist (algoritmi genetici, strategii de evoluție, programare genetică), ACO (*Ant Colony Optimization*), WBM (*Wasp Behavioral Model*) etc. Aceste tehnici se bazează pe concepte din teoria evoluției biologice, rezolvarea inteligentă a problemelor, matematică și fizică, mecanica statistică. În general, aceste metode sunt dificil de implementat în practică. Dezavantajul major al acestor metode este legat de resursele de calcul mari (memorie și timp) necesare.

Tehnica de optimizare euristică utilizată în această invenție este de tip *Particle Swarm Optimization* (PSO). PSO este un algoritm euristic de optimizare de tip "populație" introdus prima dată de Kennedy și Eberhart [1] și cunoscut sub numele de tehnică de tip inteligența roiului. Algoritmul se bazează pe asemănarea cu comportamentul anumitor viețuți cum ar fi stolurile de păsări, bancurile de pești sau roiurile de insecte. În acest algoritm populația este numită "swarm", un element al grupului este numit "particle" (particulă) iar traiectoria fiecărei particule în spațiul de căutare este controlată cu ajutorul unui termen denumit "velocity" (viteza particulei), care este determinată de propria experiență, precum și de experiența celorlalți membri ai grupului.

Invenția se referă la formularea problemei de estimare (identificare) a parametrilor unui motor de c.c. fără perii sub forma unei probleme de optimizare, care este apoi rezolvată cu ajutorul unui algoritm de tip PSO. Această metodă elimină dezavantajul resurselor de calcul și timp mari, rezolvarea problemei de optimizare fiind mult mai rapidă.

## 1. Modelul matematic al motorului de c.c. fără perii utilizat în algoritmul de identificare

Motorul de curent continuu fără perii, referit în literatura de specialitate de limba engleză ca "BLDC (*BrushLess Direct Current*) motor", este un motor electric de tipul celui sincron, fără perii, uzual trifazat, având rotorul construit cu magneți permanenți și statorul cu înfășurări concentrate sau uniform distribuite. Specifică este comutația electronică, realizată prin comutația elementelor semiconductoare din structura inverterului trifazat de alimentare, care este sincronă cu poziția rotorului. Poziția rotorului trebuie să fie cunoscută la anumite unghiuri, pentru a alinia tensiunea aplicată cu tensiunea electromotoare. Uzual, pentru a obține informația privind poziția rotorului, sunt folosite trei traductoare cu efect Hall, încapsulate în stator.

Modelarea matematică a sistemului de acționare poate fi realizată pe baza schemei echivalente de principiu din Fig.1.1.

În ecuațiile tensiunilor pe faze, respectiv [1], [2]:

$$u_a = R_s i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + L_m \frac{di_b}{dt} + L_m \frac{di_c}{dt} + e_a, \quad (1.1)$$

$$u_b = R_s i_b + L_m \frac{di_a}{dt} + L_s \frac{di_b}{dt} + L_m \frac{di_c}{dt} + e_b, \quad (1.2)$$

$$u_c = R_s i_c + L_m \frac{di_a}{dt} + L_m \frac{di_b}{dt} + L_s \frac{di_c}{dt} + e_c, \quad (1.3)$$

unde:

$u_a, u_b, u_c$  – valorile instantanee ale tensiunilor de fază;

$e_a, e_b, e_c$  – valorile instantanee ale tensiunilor electromotoare de fază;

$i_a, i_b, i_c$  – valorile instantanee ale curenților de fază;

$R_s, L_s$  – rezistența și inductivitatea de fază statorică, presupuse aceleași pe toate fazele;

$L_m$  – inductivitatea mutuală.

Având în vedere conexiunea în stea a înfășurărilor statorice, condiția

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (1.4)$$

permite rescrierea ecuațiilor (1)-(3) sub forma:

$$u_a = R_s i_a + (L_s - L_m) \frac{di_a}{dt} + e_a; \quad (1.5)$$

02-06-2015

$$u_b = R_s i_b + (L_s - L_m) \frac{di_b}{dt} + e_b; \quad (1.6)$$

$$u_c = R_s i_c + (L_s - L_m) \frac{di_c}{dt} + e_c. \quad (1.7)$$

Tensiunile electromotoare de fază depind de poziția rotorului și formează un sistem trifazat simetric, cu formă de undă impusă, de regulă trapezoidală. Astfel, acestea pot fi exprimate ca [2], [3]:

$$e_a = \omega \cdot K_e \cdot f(\theta_e), \quad (1.8)$$

$$e_b = \omega \cdot K_e \cdot f(\theta_e - 2\pi/3), \quad (1.9)$$

$$e_c = \omega \cdot K_e \cdot f(\theta_e - 4\pi/3), \quad (1.10)$$

în care  $\theta_e$  este unghiul electric al rotorului,  $\omega$  este viteza unghiulară a rotorului,  $K_e$  este constanta tensiunii electromotoare (V/(rad/sec)), iar funcția de referință  $f(\theta_e)$  pentru tensiunile electromotoare este alternativ trapezoidală, cu amplitudinea 1 (Fig. 1.2).

Curenții de fază sunt alternativ dreptunghiulari, cu alternanțele pe durata de  $2\pi/3$ , centrate pe cele ale tensiunilor electromotoare (Fig. 1.2).

Considerând originea de fază ca în Fig. 1.2, funcția  $f(\theta_e)$  definită pe intervale are expresia:

$$f(\theta_e) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } \theta_e \in \left[0, \frac{2\pi}{3}\right] \\ 1 - \frac{6}{\pi} \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \text{pentru } \theta_e \in \left[\frac{2\pi}{3}, \pi\right] \\ -1 & \text{pentru } \theta_e \in \left[\pi, \frac{5\pi}{3}\right] \\ -1 + \frac{6}{\pi} \left(\theta_e - \frac{5\pi}{3}\right) & \text{pentru } \theta_e \in \left[\frac{5\pi}{3}, 2\pi\right] \end{cases}. \quad (1.11)$$

Ecuțiilor tensiunilor li se adaugă ecuația mișcării,

$$m = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + m_s, \quad (1.12)$$

în care  $m$  și  $m_s$  sunt cuplul electromagnetic dezvoltat de motor, respectiv cuplul static.  $J$  este momentul de inerție total (motor plus sarcină), iar  $B$  este coeficientul de fricțiune.

Cuplul electromagnetic dezvoltat de motor este suma cuplurilor corespunzătoare fazelor și depinde de curenții de fază, viteza unghiulară și tensiunile electromotoare și are expresia [1]:

$$m = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega} = K_e \cdot [i_a \cdot f(\theta_e - 2\pi/3) - i_b \cdot f(\theta_e - 2\pi/3) + i_c \cdot f(\theta_e - 4\pi/3)]. \quad (1.13)$$

Cuplul este, în principal, influențat de formele de undă ale tensiunilor electromotoare induse în stator datorită mișcării rotorului. În mod ideal, tensiunile electromotoare au forme de undă trapezoidale și curenții statorici sunt dreptunghiulari (Fig. 1.2), rezultând un cuplu constant. În practică, există pulsații ale cuplului datorate imperfecțiunilor de proiectare care conduc la îndepărtarea tensiunilor electromotoare de la forma perfect trapezoidală, riplurilor curentului rezultate din controlul PWM sau prin histerezis și comutației.

Ținând seama și de relația de legătură dintre unghiul electric  $\theta_e$  și unghiul mecanic  $\theta_m$ , prin numărul de perechi de poli  $p$ ,

$$\theta_e = p \cdot \theta_m, \quad (1.14)$$

și de faptul că

$$\omega = \frac{d\theta_m}{dt}, \quad (1.15)$$

ecuațiile de funcționare (5)-(7), (12) și (15) pot fi scrise sub forma ecuațiilor de stare, respectiv:

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R_s}{L_s - L_m} i_a - \frac{K_e f(\theta_e)}{L_s - L_m} \omega + \frac{1}{L_s - L_m} u_a; \quad (1.16)$$

$$\frac{di_b}{dt} = -\frac{R_s}{L_s - L_m} i_b - \frac{K_e f(\theta_e - 2\pi/3)}{L_s - L_m} \omega + \frac{1}{L_s - L_m} u_b; \quad (1.17)$$

$$\frac{di_c}{dt} = -\frac{R_s}{L_s - L_m} i_c - \frac{K_e f(\theta_e - 4\pi/3)}{L_s - L_m} \omega + \frac{1}{L_s - L_m} u_c; \quad (1.18)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{K_e f(\theta_e)}{J} i_a + \frac{K_e f(\theta_e - 2\pi/3)}{J} i_b + \frac{K_e f(\theta_e - 4\pi/3)}{J} i_c - \frac{B}{J} \omega - \frac{1}{J} m_s; \quad (1.19)$$

$$\frac{d\theta_e}{dt} = p\omega. \quad (1.20)$$

28

Sub forma matriceală, ecuația de stare este:

$$\dot{\xi} = \mathbf{A} \cdot \xi + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u} \quad (1.21)$$

în care vectorii variabilelor de stare ( $\xi$ ) și de intrare ( $\mathbf{u}$ ) sunt:

$$\xi = [i_a \ i_b \ i_c \ \omega \ \theta_c], \quad (1.22)$$

$$\mathbf{u} = [u_a \ u_b \ u_c \ m_s], \quad (1.23)$$

iar matricele  $\mathbf{A}$  și  $\mathbf{B}$  au forma:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{R_s}{L_s - L_m} & 0 & 0 & -\frac{K_v f(\theta_v)}{L_s - L_m} & 0 \\ 0 & \frac{R_s}{L_s - L_m} & 0 & \frac{K_v f(\theta_v - 2\pi/3)}{L_s - L_m} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R_s}{L_s - L_m} & -\frac{K_v f(\theta_v - 4\pi/3)}{L_s - L_m} & 0 \\ \frac{K_e f(\theta_e)}{J} & \frac{K_e f(\theta_e - 2\pi/3)}{J} & \frac{K_e f(\theta_e - 4\pi/3)}{J} & -\frac{B}{J} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p & 0 \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s - L_m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s - L_m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_s - L_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{J} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

## 2. Estimarea parametrilor motorului folosind optimizarea euristica

Considerăm motorul de c.c. descris de un set de ecuații diferențiale  $n$ -dimensional:

$$\frac{d\xi(t)}{dt} = f(\xi, t; \tau) \quad (2.1)$$

unde

- $\xi \in R^n$  este vectorul de stare al sistemului;
- $\tau \in R^m$  este vectorul parametrilor necunoscuți:  $\tau = [R_s, L_s - L_m, K_e, B, J]$ ;
- $f$  este o funcție dată.

Pentru estimarea parametrilor necunoscuți este definit sistemul următor:

$$\frac{d\hat{\xi}(t)}{dt} = f(\hat{\xi}, t; \hat{\tau}) \quad (2.2)$$

unde

- $\hat{\xi} \in R^n$  este vectorul de stare estimat;
- $\hat{\tau} \in R^m$  este vectorul parametrilor estimați.

Determinarea parametrilor necunoscuți se realizează prin minimizarea unei funcții obiectiv obținute definită ca media erorilor pătratice între valorile măsurate și cele estimate ale variabilelor de stare pentru un număr de  $N$  eșantioane (măsurători):

$$V = \frac{1}{N \cdot P} \sum_{j=1}^P \sum_{q=1}^N (\xi_j^q - \hat{\xi}_j^q)^2 \quad (2.3)$$

unde  $P$  este numărul variabilelor de stare măsurate,  $N$  este numărul de eșantioane (măsurători), iar  $\xi_j^q$  și  $\hat{\xi}_j^q$  sunt valorile măsurată și, respectiv, estimată pentru starea  $j$  la momentul de timp  $q \cdot Ts$  ( $q$  numărul eșantionului,  $Ts$  perioada de eșantionare).

Această problemă de optimizare este rezolvată folosind un algoritm de tip PSO descris în continuare. Considerând spațiul de căutare  $M$ -dimensional ( $M$  – numărul de parametri necunoscuți), poziția și viteza particulei  $i$  sunt definite de vectorii  $M$ -dimensionali  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM})$  și respectiv  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iM})$ . Fiecare particulă este potențial o soluție a problemei de optimizare. Cea mai bună poziție a unei particule (acea valoare a poziției pentru care funcția obiectiv are valoarea cea mai mică) este reprezentată ca  $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iM})$ , și va fi denumită în continuare  $pbest$ , iar cea mai bună poziție a unei particule din întreg grupul va fi reprezentată prin  $p_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gM})$ , numită  $gbest$ .

La fiecare pas al algoritmului poziția și viteza fiecărei particule se modifică conform formulei:

$$\begin{aligned} v_i^{k+1} &= h \cdot [v_i^k + c_1 r_1 (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 r_2 (gbest_i^k - x_i^k)] \\ x_i^{k+1} &= x_i^k + v_i^{k+1} \end{aligned} \quad (2.4)$$

unde  $h$  reprezintă un factor de constrângere definit astfel:

$$h = \frac{2}{\left| 2 - \alpha - \sqrt{\alpha^2 - 4\alpha} \right|} \quad (2.5)$$

$$\alpha = c_1 + c_2 > 4 \quad (2.6)$$

unde  $k$  reprezintă numărul iterației,  $c_1$  și  $c_2$  sunt doi coeficienți ce controlează viteza relativă a particulei către cele mai bune poziții locală și respectiv globală (denumiți coeficienți de accelerare), iar  $r_1$  și  $r_2$  sunt două numere aleatoare în intervalul  $[0, 1]$ .

Pentru coeficienții de accelerare propunem o evoluție variabilă în timp (liniară) a acestora, după cum urmează:

$$\begin{aligned} c_1 &= (c_{1f} - c_{1i}) \cdot \frac{k_{\max} - k}{k_{\max}} + c_{1i} \\ c_2 &= (c_{2f} - c_{2i}) \cdot \frac{k_{\max} - k}{k_{\max}} + c_{2i} \end{aligned} \quad (2.7)$$

unde  $k_{\max}$  este numărul maxim de iterații al algoritmului,  $c_{1i}$  și  $c_{2i}$  sunt valorile inițiale ale coeficienților  $c_1$  și  $c_2$ ;  $c_{1f}$  și  $c_{2f}$  sunt valorile finale ale coeficienților  $c_1$  și, respectiv  $c_2$ . Pentru acești coeficienți propunem valorile:  $c_{1i} = 2.5$ ;  $c_{2i} = 0.5$ ;  $c_{1f} = 0.5$  și  $c_{2f} = 2.5$ .

Se dă în continuare algoritmul de implementare a invenției pe un sistem de calcul. Algoritmul poate fi implementat și rulat în diferite medii de programare, de exemplu poate fi utilizat Matlab versiunea 2014a, care dispune și de biblioteci puternice pentru tehnici de optimizare.

### **Algoritmul de estimare folosind PSO.**

**Pasul 1.** Se aplică o tensiune de alimentare  $U_d$  care este modificată în trepte și se măsoară stările sistemului ( $\xi = [i_a \ i_b \ i_c \ \omega \ \theta_c]$ ) la momentele de eșantionate  $q^*Ts$ .

Tensiunea  $U_d$  (Fig. 1.1) se modifică în trepte de câte 20% din valoarea maximă corespunzătoare motorului testat. Intensitățile curenților de fază  $i_a, i_b, i_c$  se măsoară cu transformatoare de curenți și cu un sistem de achiziție a datelor. Viteza de rotație  $\omega$  se măsoară cu un tahogenerator și cu un sistem de achiziție a datelor. Unghiul  $\theta_c$  se calculează pe baza măsurătorilor vitezei de rotație  $\omega$  folosind relațiile (1.14), (1.15) sau (1.20).  $Ts$  este



perioada de eșantionare, de zece ori mai mică decât constantele de timp electrice ale motorului testat, iar  $q$  este un număr întreg pozitiv care reprezintă numărul eșantioanelor și care ia valori de la 0 la o valoare maximă  $N$ . Exemplu: dacă experimentul de identificare se desfășoară pe un interval de timp de 100 de secunde, iar  $T_s = 0.01$  secunde, atunci  $q$  ia valori între 0 și  $N = 10000$ .

**Pasul 2.** Se inițializează populația de particule cu poziții aleatoare în spațiul de căutare (de dimensiune 5), numărul maxim de iterații  $k_{max}$  al algoritmului și o valoare maximă a funcției obiectiv (2.3), notată  $V_{max}$ .

Exemplu: Se inițializează un număr de 50 de particule (notate p1, p2, ..., p50) cu valori aleatoare în intervalul  $[0, 10000]$  (un exemplu de particulă este vectorul  $p1=[3;50;11;200;1000]$ ),  $k_{max}=100$ ,  $V_{max}=0.1$ . Considerând că s-au măsurat 10000 de eșantioane, funcția obiectiv pentru particula p1 se calculează cu relația:

$$V_{p1} = \frac{1}{50000} \sum_{j=1}^5 \sum_{q=1}^{10000} (\xi_j^q - \hat{\xi}_j^q)^2 \quad (2.8)$$

unde

$\xi_1^q$  este curentul  $i_a$  măsurat la momentul de eșantionare  $q \cdot T_s$

$\xi_2^q$  este curentul  $i_b$  măsurat la momentul de eșantionare  $q \cdot T_s$

$\xi_3^q$  este curentul  $i_c$  măsurat la momentul de eșantionare  $q \cdot T_s$

$\xi_4^q$  este viteza de rotație a rotorului  $\omega$  măsurată la momentul de eșantionare  $q \cdot T_s$

$\xi_5^q$  este unghiul electric al motorului  $\theta_e$  măsurat la momentul de eșantionare  $q \cdot T_s$

$\hat{\xi}_j^q$  sunt aceleași mărimi prezentate mai sus, dar estimate prin integrarea numerică a modelului matematic (1.16) – (1.20) cu parametrii modelului dați de către particula p1.

**Pasul 3.** Pentru fiecare particulă se evaluează funcția obiectiv  $V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{p50}$ , folosind relația (2.8). Vom da variabilei  $V$  valoarea cea mai mică dintre  $V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{p50}$ .

**Pasul 4.** Pentru fiecare particulă se compară valoarea funcției obiectiv cu valoarea corespunzătoare poziției  $pbest$  anterioare. Dacă valoarea actuală este mai bună se înlocuiește  $pbest$  cu poziția actuală.

**Pasul 5.** Se determină particula din grup cu poziția cea mai bună și se asignează poziția ei variabilei  $gbest$ . O particulă  $p_m$  are o poziție mai bună decât particula  $p_j$  ( $m \neq j$ ) dacă  $V_{pm} < V_{pj}$ .

**Pasul 6.** Se modifică poziția și viteza fiecărei particule conform relațiilor (2.4)-(2.7).

**Pasul 7.** Dacă o condiție de stop este îndeplinită ( $V < V_{max}$  sau  $k > k_{max}$ )

atunci

mergi la Pasul 8.

altfel

mergi la Pasul 3.

**Pasul 8.** Dacă ( $V < V_{max}$ )

atunci

valorile parametrilor sunt egale cu valorile lui  $gbest$ .

STOP

altfel

rezultatul nu este validat și algoritmul este reluat de la Pasul 2.

Schema logică a algoritmului este prezentată în Fig. 2.1.

### Bibliografie:

- [1] Kennedy, J. and Eberhart, R. C. Particle swarm optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ, pp. 1942-1948, 1995.
- [2] V. Fedák, T. Balogh and P. Záskalický, *Dynamic Simulation of Electrical Machines and Drive Systems Using MATLAB GUI- A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 1*, Prof. Vasilios Katsikis (Ed.), ISBN: 978-953-51-0750-7, InTech, 2012.
- [3] G. Prasad, N. Sree Ramya, P.V.N. Prasad, and G. Tulasi Ram Das, Modelling and Simulation Analysis of the Brushless DC Motor by using MATLAB, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol. 1, Issue 5, Oct. 2012.

## REVENDICĂRI

Metodă de estimare a parametrilor motoarelor de c.c. fără perii **caracterizată prin aceea că** folosește metoda numerică de optimizare euristică Partiele Swarm Optimization (PSO).

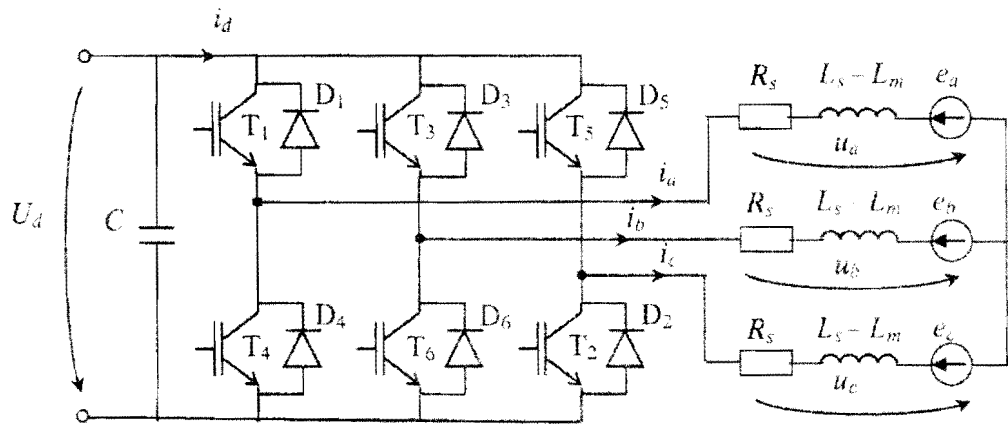


Fig. 1.1 Schema de principiu a sistemului de acționare cu motor de curent continuu fără perii

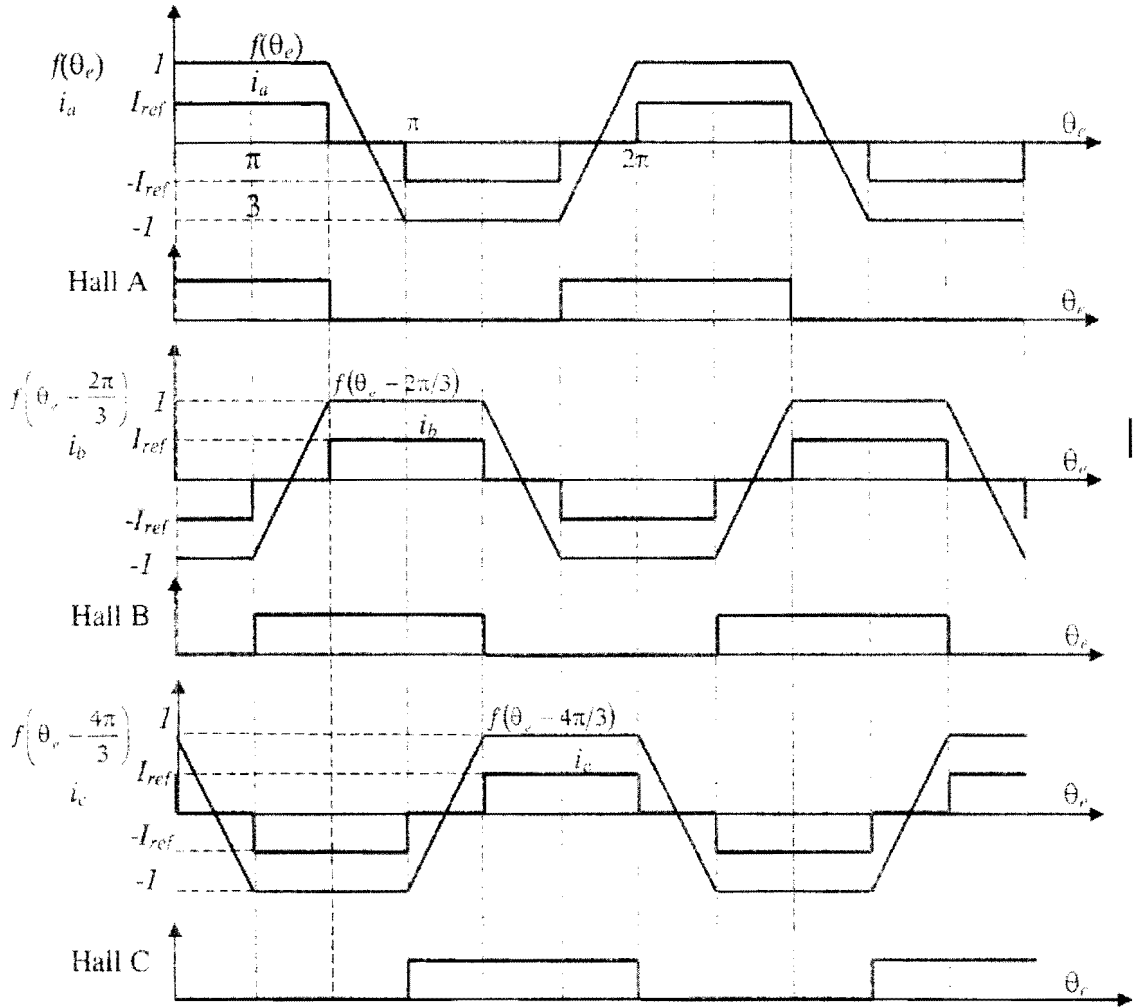


Fig. 1.2 Tensiunile electromotoare, curenții de fază și ieșirile traductoarelor de poziție Hall

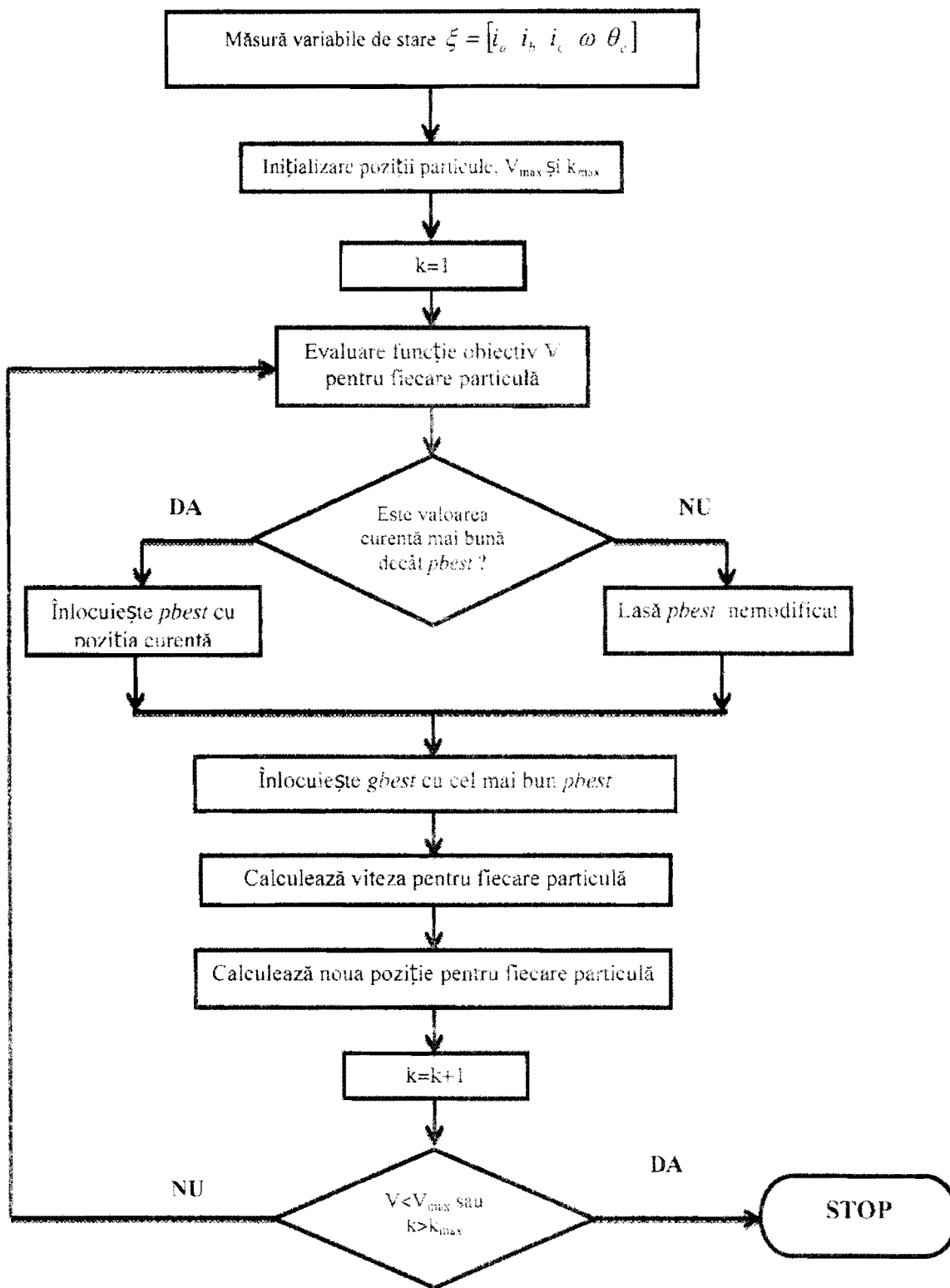


Fig. 2.1 Schema logică pentru identificarea parametrilor motorului