



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00751**

(22) Data de depozit: **28.07.2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.07.2014** BOPI nr. 7/2014

(41) Data publicării cererii:  
**30.04.2012** BOPI nr. 4/2012

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

(72) Inventatori:  
• **URSU IOAN, STR.LIVIU REBREANU  
NR.20, BL.A 6, SC.4, ET.3, AP.45,  
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **ARGHIR MINODOR,  
STR.ELENA VĂCĂRESCU NR.11, BL.21/3,  
SC.A, ET.1, AP.7, SECTOR 1, BUCUREȘTI,  
B, RO;**

• **TOADER ADRIAN, STR.UNIRII, BL.12,  
ET.3, AP.14, POGOANELE, BZ, RO;**  
• **TECUCEANU GEORGE, STR.ISTRIEI  
NR.22, BL.3 D, SC.3, ET.2, AP.39,  
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **CĂLINOIU CONSTANTIN,  
STR.ROȘIA MONTANĂ NR.15, BL.29, SC.2,  
AP.25, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 5711712 (A); US 5737994 (A);  
DE 102008050826 (A1);  
WO 2009033948 (A1); EP 2322808 (A2)**

(54) **SERVOACTUATOR ELECTROHIDROSTATIC PENTRU  
AVIAȚIE**



# RO 127329 B1

1           Invenția se referă la un servoactuator electrohidrostatic, cu urmărire în poziție și cu lege  
de reglare de tip neconvențional, neuro-fuzzy. Servoactuatorul este destinat, în principal,  
3           acționării suprafețelor de comandă ale avionului, dar poate fi utilizat în orice domeniu în care  
acționarea hidraulică este lipsită de existența unei surse separate de presiune sau în montaje  
5           în care pierderea accidentală de ulei, pe traseul conductelor rigide sau flexibile, trebuie evitată,  
din diverse motive (cost, lipsă de spațiu, siguranță în exploatare).

7           În prezent, în comenzile avioanelor, se folosesc din ce în ce mai mult servoactuatori  
electrohidrostatici, din rațiuni de economisire a energiei, dar și ecologice, dacă se ia în con-  
9           siderare reducerea poluării cu bioxid de carbon, ca urmare a generării electrice a puterii  
hidraulice. Ca exemple de utilizare în comenzile avioanelor se dau: 1. Raportul NASA/TM-97-  
11           **206224**, privind performanțele unui servoactuator hidrostatic pe un avion de cercetare F-18, și  
2. Brevetul **US 5737994/14.04.1998**, "Digital variable actuation system", privind un servo-  
13           actuator hidrostatic cu controler al turației pompei. Nu sunt cunoscute invenții românești, având  
ca obiect un servoactuator hidrostatic.

15           Există două tipuri de bază de servoactuatori electrohidraulici, considerând criteriul  
reglării debitului în sistem: prin intermediul unei servovalve electrohidraulice, racordată la o  
17           magistrală de putere hidraulică, sau prin intermediul unei pompe acționate de un motor, în cel  
de-al doilea caz, asigurându-se un circuit închis al debitului hidraulic. Primul tip este al servo-  
19           actuatorului electrohidraulic, convențional, clasic, care prezintă avantajul unei constante de timp  
mai rapide, dar și dezavantaje majore precum pierderi energetice însemnate în servovalvă, cost  
21           ridicat, determinat, în special, de servovalva electrohidraulică, dependentă de puterea hidra-  
ulică, externă, furnizată, într-o magistrală, de o pompă acționată continuu de un motor, indi-  
23           ferent de faptul că actuatorul este sau nu este în mișcare.

          Aceste dezavantaje sunt contracarate de servoactuatorul de-al doilea tip, numit  
25           electrohidrostatic, în care există o conectare directă a cilindrului de execuție la pompă, prin  
eliminarea servovalvei, iar sensul de rotație al pompei determină debitul în circuit închis pompă-  
27           cilindru de execuție și cilindru de execuție-pompă, deci și sensul de mișcare pentru tija de  
execuție. Cât privește dezavantajul cunoscut și asumat, pentru actuatorul hidrostatic, al unei  
29           viteze de răspuns relativ mai mici decât în cazul celui clasic, în cazul invenției de față, acest  
dezavantaj este redus sensibil, prin intermediul a două soluții tehnice de sinteză a legii de  
31           control: eliminarea unei bucle de reglare interne, pentru turația motorului, și concepția unei  
bucle de reglare de urmărire în poziție, în care viteza sarcinii, la ieșirea servoactuatorului, se  
33           ponderează avantajos, ca pondere a unei rețele neuronale.

          Un alt document relevant din stadiul tehnicii este cererea de brevet de invenție  
35           **US 57117712**, din data de 19.07.1996, cu titlul „Controler pentru transmisia automată a unui  
autovehicul”.

37           Controlerul pentru transmisia automată a unui autovehicul are menirea de a transmite  
automat informația și stabilește un raport de transmisie continuu, prin utilizarea datelor stocate,  
39           în funcție de poziția pedalei de gaz și viteza vehiculului. Prin folosirea circuitului logic de control  
fuzzy, viteza este setată automat, prin reglarea continuă a ratelor de transmisie, specifică unui  
41           raport de transmisie optim, a unui nivel minim de gaze de emisie evacuate sau a unei puteri  
maxime. Condiția de încărcare a motorului autovehiculului depinde de stilul de conducere, de  
43           tipul de drum, elemente care trebuie luate în calcul, în acest proces. Corecția circuitului atrage,  
după sine, o corecție dinamică a ratei de transmisie. Datele pot fi stocate, de exemplu, în niște  
45           hărți de caracteristici de control sau pot fi generate de un alt circuit logic de control fuzzy.

          Problema tehnică, pe care o rezolvă invenția, este acționarea suprafețelor de comandă  
47           ale avionului.

# RO 127329 B1

Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, caracterizat prin aceea că este alcătuit dintr-un hidroacumulator cu rezervor, o pompă cu capacitate constantă, cu roți dințate, bidirecțională, acționată de un motor electric de curent continuu, fără perii, care, la rândul ei, acționează pe două căi, un cilindru de execuție cu piston, în condițiile în care un grup de supape de sens permite alimentarea alternativă, cu lichid hidraulic sub presiune, a celor două camere ale cilindrului de execuție, și un alt grup de supape asigură trecerea lichidului hidraulic, din calea cu presiunea cea mai mare, la un moment dat, dintre căile de comandă ale cilindrului de execuție, către o altă supapă de presiune, unică în sistem, ce limitează presiunea maximă, atinsă în cele două căi, și în care motorul electric este comandat prin intermediul unui semnal electric de control, determinat într-un bloc de calcul, pe baza unor informații de intrare-ieșire, ale sistemului, informația de poziție fiind furnizată de un traductor de poziție.	1 3 5 7 9 11
Invenția prezintă următoarele avantaje:	
- se elimină, din schema funcțională, o componentă costisitoare, mai exact, servovalva electrohidraulică;	13
- se elimină dependența de putere hidraulică, externă, furnizată, într-o magistrală, de o pompă acționată continuu de un motor;	15
- se elimină bucla internă, de reglare a turației motorului și a pompei, buclă susceptibilă de a produce eroare staționară, de urmărire în poziție, răspuns lent și pierderi hidraulice.	17
Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției și în legătură cu figurile, în care:	19
- fig. 1 reprezintă schema hidraulică a servoactuatorului;	21
- fig. 1' reprezintă schema generală a servoactuatorului electrohidrostatic, pentru aviație, cu lege neconvențională de reglare de poziție;	23
- fig. 2 reprezintă schema bloc a unui actuator hidrostatic, conform referinței Simpson et al., 2004;	25
- fig. 3 reprezintă schema bloc a servoactuatorului electrohidrostatic, conform invenției;	
- fig. 4 reprezintă algoritmul de control comutant neuro-fuzzy;	27
- fig. 5 reprezintă funcții caracteristice;	
- fig. 6 reprezintă funcția Singleton, pentru controlul fuzzy;	29
- fig. 7 reprezintă înregistrarea experimentală a răspunsului servoactuatorului de referință "superpoziție de sinusoides";	31
- fig. 8 reprezintă blocul de calcul al legii de control de urmărire în poziție:	
a. blocul de calcul al buclei de urmărire de poziție, implementată în mediul de programare LabView;	33
b. secvența de calcul pentru algoritmul comutant neuro-fuzzy.	35
Servoactuatorul electrohidrostatic pentru aviație este un sistem în circuit hidraulic închis, în care hidroacumulatorul cu rezervor <b>3</b> , presurizat, după alimentarea, cu lichid hidraulic, a sistemului, compensează pierderile hidraulice, atenuează pulsațiile de presiune și asigură evitarea funcționării pompei cu capacitate constantă, cu roți dințate <b>1</b> , în regim de cavitație, altfel foarte posibil, odată cu variația altitudinii de zbor și/sau la modificarea temperaturii mediului ambiant sau a temperaturii actuatorului în sine, din cauza funcționării. Presurizarea cu azot se face prin robinetul <b>8</b> . Controlul valorilor prescrise în această operație se face, urmărind indicațiile unui manometru <b>11</b> , montat, în mod special, în schemă. Alimentarea cu lichid hidraulic, precum și golirea instalației, se face prin robinetul <b>5</b> . Pompa este bidirecțională și este acționată de un motor electric de curent continuu, fără perii <b>6</b> , cu turația și sensul variabile.	37 39 41 43 45
Racordul de drenaj, legat direct la hidroacumulator în punctul <b>9</b> , înlătură pericolul presurizării periculoase a carcasei pompei, precum și al apariției aerului în pompă, fapt care ar duce la instabilități în funcționare și la întârzieri în răspuns. Grupul de supape de sens <b>4</b> , conform	47

# RO 127329 B1

1 invenției, permite alimentarea alternativă, cu lichid hidraulic sub presiune, a celor două camere  
ale cilindrului de execuție 2, care acționează o sarcină 16, fig. 1, cu componente tipice, inerțială,  
3 frecare vâscoasă și elastică. Grupul de supape 7, conform invenției, asigură trecerea lichidului  
hidraulic din calea cu presiunea cea mai mare, existentă la un moment dat, în căile de comandă  
5 ale cilindrului de execuție 2, către supapa de presiune 10. Supapa este unică în sistem, conform  
invenției, și limitează presiunea maximă, atinsă în cele două ramuri ale montajului. Supapa are,  
7 drept referință, presiunea cea mai joasă din sistem, adică presiunea din hidroacumulator.  
Sistemul permite utilizarea unui motor hidraulic, rotativ, în locul celui liniar.

9 **Exemplu de funcționare.** La sensul de funcționare stânga, al motorului și al pompei,  
se generează o presiune în ramura I, fapt care duce la deplasarea pistonului motorului hidraulic  
11 - în schiță, liniar - spre dreapta. La atingerea capătului de cursă sau la întâlnirea unei forțe care  
depășește capacitățile motorului, grupul de supape 7 face ca supapa de presiune 10 să  
13 protejeze această cale, fără să afecteze curgerea din ramura II. Dilatările lichidului hidraulic, ca  
urmare a fluctuațiilor de temperatură din timpul funcționării sau a variațiilor de temperatură ale  
15 mediului ambiant, sunt preluate de grupul de supape 4 și compensate prin transportul excesului  
de lichid în hidroacumulatorul 3. În acest timp, în racordul de admisie al pompei, intră lichidul  
17 ce trebuie evacuat din camera legată la ramura II, a motorului hidraulic și/sau lichid din  
hidroacumulator, dacă apare necesitatea compensării volumice.

19 La schimbarea sensului de rotație a grupului motor electric-pompă bidirecțională,  
funcționarea este identică și motorul hidraulic schimbă sensul de deplasare liniară sau rotativă.  
21 Similitudinea mișcărilor stânga-dreapta este dată de simetria celor două căi I și II.

23 Montajul se execută în sistem compact, în care conductele, care unesc elementele  
componente, sunt înlocuite cu circuite hidraulice, executate într-un bloc comun.

25 Este cunoscut că, în ceea ce privește concepția actuatorilor electrohidrostatici, există  
două tipuri de bază: 1. servoactuatori cu pompă cu capacitate constantă, acționată de un motor  
electric de curent continuu, fără perii, având o buclă, numită internă, de reglare a turației, și 2.  
27 servoactuatori cu servopompă, o pompă de capacitate variabilă, acționată de un motor fără  
perii, de regulă, de curent alternativ, fără controlul turației. Primul tip de bază de servoactuator  
29 presupune două bucle de reglare: una internă, prin intermediul căreia se controlează turația  
motorului, în funcție de sarcină (se citează, ca exemplu de dată foarte recentă, European Patent  
31 Application EP 2322808 A2/18.05.2011), și alta externă, prin intermediul căreia se controlează  
poziția elementului de execuție, tija cilindrului, în cazul motorului liniar, sau unghiul de rotație,  
33 la ieșirea unui motor rotativ.

35 Servoactuatorul electrohidrostatic este de primul tip, în care, conform invenției, se  
elimină bucla internă de reglare a turației motorului și deci, și a pompei, fig. 2, buclă susceptibilă  
de a produce eroare staționară, de urmărire în poziție, răspuns lent și pierderi hidraulice.  
37 Această buclă este menționată ca fiind prezentă într-o serie de surse bibliografice, între care  
se citează: E. Simpson et al., "Effect of controller in reducing steady-state error due to flow and  
39 force disturbances in the electrohydraulic actuator system", *Intern. Journal of Fluid Power*, vol.  
5, 2004, pp. 57-66; S. Wang et al., "Sliding mode control for an electrohydraulic system with  
41 discontinuous no-linear friction", *Proc. Inst. Mech. Eng., Part I, J. Syst. Contr. Eng.*, vol. 222,  
2008, pp. 799-814; Cho și Burton, "Position control of high performance hydrostatic actuation  
43 system using a simple adaptive control (SAC) method", *Mechatronics*, vol. 21, 2011, pp. 109-  
115. În aceste lucrări, sunt descrise legi de control, de complexitate crescută, pentru bucla  
45 externă, legi care au, în principal, scopul de a compensa eroarea staționară de poziție și de a  
asigura un răspuns mai rapid pentru servoactuator ca sistem de urmărire în poziție.

Schema hidraulică, din fig. 1, este completată, în fig. 1', cu elementele buclei de urmărire în poziție și cu sarcina la ieșirea servoactuatorului. Bucula de urmărire în poziție generează un semnal de reacție inversă (feedback), calculat, conform invenției, în blocul **14**, de calcul al legii de control, fig. 1' și 3, pe baza unei metode neconvenționale, aparținând inteligenței artificiale, și anume, metoda controlului optimal cu rețea neuronală, supervizat de o logică fuzzy, de prevenire a saturației semnalului de control. Arhitectura sistemului, conform invenției, este dată în fig. 3 și se constituie din următoarele elemente:

1. un motor electric **6**, fără perii, de curent continuu, comandat de semnalul electric de control  $u$ , furnizat la intrarea driverului **15**, măsurat în V [Volți], prin care se generează, la ieșirea motorului, o turație  $\omega$  (rad/sec), transmisă rigid pompei 1, fig. 1, 1' și 3. Blocul de reglare a turației pompei, prezent în schema uzuală a servoactuatorului hidrostatic, fig. 2, dispăre din schema servoactuatorului, fig. 3, conform invenției, ceea ce reprezintă o simplificare notabilă;

2. o pompă bidirecțională 1, cu roți dințate, antrenată de un motor **6**, fig. 1, 1' și 3. Un circuit hidrostatic, care cuprinde, conform invenției și notațiilor din fig. 1, un cilindru de execuție **2** și elementele auxiliare, următoare: un grup de supape de sens **4**, un grup de supape **7**, o supapă de presiune **10** și un hidroacumulator;

3. cilindrul de execuție sau, alternativ, un motor hidraulic, rotativ, care înlocuiește, în schema din fig. 1, un cilindru de execuție **2**, antrenează o sarcină la ieșire, conform reprezentării schematice din fig. 1';

4. o lege de control neuro-fuzzy, implementată pe un calculator echipat cu o placă de achiziție National Instruments NI PCI-6259, care se constituie, împreună cu blocul de calcul **14**, fig. 1'. Legea de control elaborează semnalul  $u$  [V], pe baza măsurătorilor și calculelor intrare-ieșire, privind sistemul, și anume: a. eroarea măsurată  $r - y$ , dintre semnalul de referință  $r$  [V] **13**, fig. 1', și semnalul de deplasare a sarcinii,  $y$  [V], furnizat de un traductor **12**, de deplasare liniară (sau, după caz, unghiulară), fig. 3; b. viteza  $\dot{y}$  a sarcinii, calculabilă pe baza măsurătorilor succesive de deplasări  $y$ ; c. semnalul de control  $u$ . Legea de control, conform invenției, este de tip comutant (fig. 4), între un control optimal  $u_n$ , definit de o rețea neuronală de tip perceptron cu un singur strat, și un control supervizant  $u_f$ , cu logică fuzzy. Componenta de tip neural, a semnalului de control, este dată de relația:

$$u_n = v_1 y_1 + v_2 y_2, \quad y_1 = r - y, \quad y_2 = \dot{y} \quad (1) \quad 31$$

Prin urmare, rețeaua neuronală are un singur strat și două intrări  $y_1$  și  $y_2$ . Se prezintă, în continuare, concepția algoritmului de calcul al componentei neurale  $u_n$ . În esență, algoritmul constă în actualizarea on-line a vectorului ponderilor pe control,  $v = [v_1 \ v_2]^T$ , în baza minimizării unei funcții de cost,

$$J = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (q_1 y_1^2(i) + y_2^2(i) + q_2 u_n^2(i)) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n J(i) \quad (2) \quad 37$$

deci, în baza "negocierii" între indicatorii performanței de urmărire  $y_1$  și  $y_2$ , și controlul  $u_n$ . Raportul dintre valorile componentelor perechii de ponderi alese off-line, în funcția de cost ( $q_1$  și  $q_2$ ), măsoară această negociere, respectiv, accentul care se pune, în proces, pe minimizarea uneia sau a alteia dintre componentele costului. Vectorul ponderilor pe control  $v = (v_1 \ v_2)^T$  este actualizat on-line, prin metoda gradientului descendent:

$$\Delta v(n) := - \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 \\ 0 & \delta_2 \end{bmatrix} \frac{\partial J}{\partial v(n)} = - \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 \\ 0 & \delta_2 \end{bmatrix} \sum_{i=n-N}^n \left( \frac{\partial J(i)}{\partial y(i)} \frac{\partial y(i)}{\partial u(i)} + \frac{\partial J(i)}{\partial u(i)} \right) \frac{\partial u(i)}{\partial v} \quad (3) \quad 47$$

# RO 127329 B1

1 Ideea acestei metode este cunoscută în tehnica optimizărilor, aceea de a adopta acea  
 2 actualizare care să conducă la variația descendentă, deci descrescătoare, a costului. Altă  
 3 pereche de ponderi, introdusă de matricea diagonală,  $\text{diag} = [\delta_1, \delta_2]$ , caracterizează rata de  
 4 actualizare ("învățare"). Influența acestor ponderi se evaluează pe parcursul simulărilor  
 5 numerice, pentru a obține o "învățare" convenabilă, în conducerea procesului fizic, suficient de  
 6 rapidă, dar nu atât de rapidă, încât să riște instabilitatea sistemului și/sau saturația controlului.  
 7  $\Delta v(n)$  este valoarea actualizării,  $N$  reprezintă un număr de pași de "retro-memorare", iar  $y = (y_1, y_2)^T$  este vectorul intrărilor în rețea.

9 Algoritm de calcul al componentei neurale  $u_n$  este ilustrat schematic în ramura din  
 10 stânga a fig. 4. În fereastra respectivă, se notează pașii algoritmului. La un pas generic de timp  
 11  $k\tau$ , cu  $\tau$  pasul de eșantionare și  $k = 1, 2, \dots$ , se dispune de semnalul de control care a operat  
 12 pe intervalul de timp  $((k-1)\tau, k\tau)$ . Acesta este un produs scalar între vectorul curent al  
 13 ponderilor  $v$  și vectorul curent  $y$ , anume:

$$15 \quad u_n((k-1)\tau) := u_n(k-1) = v(k-1)^T y(k-1).$$

16 În continuare, este descris calculul componentei neurale pentru intervalul de timp  
 17  $[k\tau, (k+1)\tau)$ . În acest scop, așa cum s-a arătat mai sus, se actualizează vectorul ponderilor,

$$19 \quad v \rightarrow v + \Delta v, \text{ pe baza metodei gradientului descendent, } \Delta v = - \text{diag}(\delta_1, \delta_2) \frac{\partial J}{\partial v(k)}.$$

21 Detaliile acestui calcul sunt prezentate în fig. 8a, ca bloc de calcul implementat în mediul  
 22 LabView, și în fig. 8b, ca secvență de calcul Matlab Simulink, încorporată în mediul de  
 23 programare LabView. Algoritm, transcrierea calculului din rândul al doilea al relației 3 este  
 24 următoarea:

$$27 \quad \Delta v = - \left( 2q_1 y_1(k) \frac{y_1(k) - y_1(k-1)}{u_n(k) - u_n(k-1)} + 2y_2(k) \frac{y_2(k) - y_2(k-1)}{u_n(k) - u_n(k-1)} + 2q_2 u_n(k) \right) \begin{bmatrix} \delta_1 & y_1(k) \\ \delta_2 & y_2(k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

29 Astfel, actualizarea ponderii necesită doar informații de măsurare și calcul intrare-ieșire  
 30 ale sistemului, derivata  $\partial y(i) / \partial u(i)$  din relația 3, fiind aproximată în relația 4, prin relația:

$$33 \quad (y(i) - y(i-1)) / (u(i) - u(i-1)) \quad (4')$$

35 Valoarea controlului neural, care urmează să opereze pe intervalul  $[k\tau, (k+1)\tau)$   
 36 este, în consecință, aceea indicată în fereastra din fig. 4, și anume:

37  $u_n(k\tau) := u_n(k) = (v(k-1) + \Delta v)^T y(k)$ . La startul algoritmului, se asumă o inițializare a  
 38 vectorului ponderilor  $v^{(0)}$ , această valoare fiind importantă în desfășurarea procesului con-  
 39 trolat, așa cum au arătat simulările numerice și testele pe banc.

41 Legea de control optimală cu rețea neuronală (1) comută, de pe componenta neurală  $u_n$ ,  
 42 pe o componentă de control cu logică fuzzy  $u_f$  și, invers, de pe componenta  $u_f$ , pe  
 43 componenta  $u_n$ , în condiții definite, conform invenției, de legea de comutare descrisă în relația  
 44 9, de mai jos. Comutarea este în legătură cu saturația controlului neural și cu o dinamică,  
 45 apreciată ca nesatisfăcătoare, a contracarării, prin control, a erorii de urmărire  $y_1$ .

# RO 127329 B1

Legea de control cu logică fuzzy, de tip Mamdani, conform invenției, moderează așadar semnalul de control la valori admisibile și se bazează pe evaluarea ca mulțimi fuzzy (vagi), definite prin universuri lingvistice (“mic”, “mare”, “mediu”, “zero”), a semnalelor  $y_1, y_2, u$ , precum și a unui al patrulea semnal, care măsoară viteza de anulare a semnalului de eroare  $y_1$ .

Controlul cu logică fuzzy de tip Mamdani presupune trei etape ale calculului: *fuzzyficarea informației, inferența fuzzy și defuzzyficarea*. În etapa de *fuzzyficare*, semnalele:

$$I_2(y_{1k}) := \sqrt{\sum_{j=k-2}^k y_{1j}^2}, y_{1k}, y_{2k}, k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

sunt transformate în valorile funcțiilor caracteristice ale variabilelor fuzzy relevante, folosind un set de termeni lingvistici: zero (ZE), pozitiv sau negativ mic (Pm, Nm), pozitiv sau negativ mediu (Pme, Nme), pozitiv sau negativ mare (Pma, Nma). Conform invenției, setul fuzzy și funcțiile caracteristice, asociate variabilelor  $y_1$  și  $y_2$ , sunt alese triunghiulare (fig. 5a), iar pentru variabilele  $I_2$  și  $u$ , sunt alese ca funcții caracteristice de tip Singleton (fig. 5b și 6). În acest fel, considerarea normei  $I_2$ , a semnalului  $y_1$ , calculează, peste o fereastră glisantă de lungimea  $k$ , intervale de eșantionare, variația maximă a erorii de urmărire. Conform invenției, inserarea semnalului  $I_2$ , în componenta fuzzy, va reduce numărul de comutări ale algoritmului.

Conform invenției, ideea construcției *inferenței fuzzy* este ideea proporționalității (directe) între semnalul de eroare  $y_1$  și valoarea componentei de control fuzzy  $u_f$ . În consecință, baza de reguli de inferență conține  $n = 4 \times 7 \times 7$  DACĂ... ATUNCI... reguli, acesta fiind numărul de elemente ale produsului cartezian  $A \times B \times C = \{Nma; Nme; Nm; ZE; Pm; Pme; Pma\}$ . Aceste seturi sunt asociate cu seturile termenilor lingvistici, alese să definească funcțiile caracteristice pentru variabilele fuzzy  $I_2(y_1)$ ,  $y_1$  și, respectiv,  $y_2$ . În consecință, succesiunea de reguli este următoarea: 1. DACĂ  $I_2(y_1)$  este ZE și  $y_2$  este Pma și  $y_1$  este Pma, ATUNCI  $u_f$  este Pma; 2. DACĂ  $I_2(y_1)$  este ZE și  $y_2$  este Pma și  $y_1$  este Pme, ATUNCI  $u_f$  este Pme; ... 7. DACĂ  $I_2(y_1)$  este ZE și  $y_2$  este Pma și  $y_1$  este Nma, ATUNCI  $u_f$  este Nma; 8. DACĂ  $I_2(y_1)$  este ZE și  $y_2$  este Pme și  $y_1$  este Pma, ATUNCI  $u_f$  este Pma; ... 196. DACĂ  $I_2(y_1)$  este Pma și  $y_2$  este Nma și  $y_1$  este Nma, ATUNCI  $u_f$  este Nma.

Se alege o valoare  $\tau$  a pasului de timp de eșantionare și se determină, prin măsurare și calcul, valorile scalate  $I_2(y_{1k})$ ,  $y_{1k}$  și  $y_{2k}$ , la fiecare pas de timp  $t_k = k\tau$  ( $k = 1, 2, \dots$ ). Acestor valori le corespund câte două ordonate în fig. 5 (nu vor fi obținute valori raționale prin măsurare sau calcul!), deci fiecareia dintre cele trei variabile îi corespunde un număr de  $M = 2^3$  combinații, care trebuie investigate. Cu aceste combinații, un număr de  $M$  reguli DACĂ... ATUNCI... vor opera în forma:

DACĂ  $y_{1k}$  este  $B_i$  și  $y_{2k}$  este  $C_i$  și  $I_2(y_{1k})$  este  $A_i$ , ATUNCI  $u_{fk}$  este  $D_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$  (6)  
 ( $A_i, B_i, C_i, D_i$  sunt termeni lingvistici în relație cu seturile  $A, B, C, D$  și  $D = B = C$ , fig. 5 și 6).  
 Etapa de *defuzzyficare* înseamnă transformarea acestor reguli într-o formulă de calcul a variabilei de ieșire, controlul  $u_f$ . În termeni de logică fuzzy, fiecare regulă 6 definește un set fuzzy  $A_i \times B_i \times C_i \times D_i$  din spațiul produsului cartezian de intrare-ieșire  $R_1 \times R^3$ , a cărui funcție caracteristică poate fi definită ca:

$$\mu_{u_i} = \min[\mu_{B_i}(y_{1k}), \mu_{C_i}(y_{2k}), \mu_{A_i}(I_2(y_{1k}))], i = 1, \dots, M \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (7)$$

# RO 127329 B1

1 Pentru simplitate, funcția caracteristică de tip Singleton  $\mu_{Di}(u)$  a variabilei de control a  
fost înlocuită, în acest caz, cu  $u_i^0$  abscisa Singletonului. În consecință, folosind: 1. fuzzyficarea  
3 Singleton pentru  $u_f$  și 2. defuzzyficarea de tip mediere centrală, cele  $M$  reguli DACĂ...,  
ATUNCI... se convertesc, la fiecare pas de timp  $kT$ , în următoarea formulă, pentru calculul  
5 controlului fuzzy:

$$7 \quad u_f = \sum_{i=1}^M \mu_{u_i} u_i^0 / \sum_{i=1}^M \mu_{u_i} \quad (8)$$

9 Algoritmul operează în varianta cu logică fuzzy, în cazul în care controlul neural  
11 saturează sau când norma  $l_2$  a erorii de urmărire  $y_1$  crește peste o valoare de prag. Controlul  
fuzzy  $u_f$  comută pe neurocontrolul  $u_n$ , în cazul în care acesta este nesaturat  
13 ( $|u_n| \leq u_{n, \max}$ ) și în cazul în care  $l_2(y_1) \leq l_{2, \min}$ . În cazul când operează controlul fuzzy  $u_f$ , controlul  
neural  $u_n$  este continuu actualizat, ca și când ar fi operant, pe baza controlului fuzzy  $u_f$ . Scopul  
15 este acela de a se dispune, la momentul revenirii pe control neural, de o procedură de revenire.

17 Conform invenției, controlul general neuro-fuzzy  $u_{nf}$ , al sistemului de tip comutant, este  
definit de legea de comutare următoare:

$$19 \quad \text{daca} \begin{cases} |u_n| \leq u_{n, \max} \\ \text{și} \\ l_2(y_1) < l_{2, \min} \end{cases} \text{ atunci } u_{nf} = u_n \quad (9)$$

23 altfel  $u_{nf} = u_f$

25 Legea de actualizare a ponderilor controlului neural  $u_n$ , când operează controlul fuzzy  
 $u_f$ , s-a stabilit conform invenției a fi următoarea:

$$27 \quad u_f = \sum_{i=1}^M \mu_{u_i} u_i^0 / \sum_{i=1}^M \mu_{u_i} \quad (10)$$

31 Fig. 7 prezintă o înregistrare experimentală a funcționării sistemului în prezența unui  
33 semnal de referință "combinație de semnale sinusoidale", iar fig. 8 prezintă blocul general de  
calcul al legii de control de urmărire în poziție.



# RO 127329 B1

## Revendicări

1. Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un hidroacumulator cu rezervor (3), o pompă (1) cu capacitate constantă, cu roți dințate, bidirecțională, acționată de un motor (6) electric de curent continuu, fără perii, care, la rândul ei, acționează, pe două căi (I și II), un cilindru (2) de execuție cu piston, în condițiile în care un grup de supape (4) de sens permite alimentarea alternativă, cu lichid hidraulic sub presiune, a celor două camere ale cilindrului (2) de execuție, și un alt grup de supape (7) asigură trecerea lichidului hidraulic din calea cu presiunea cea mai mare la un moment dat, dintre căile (I și II) de comandă ale cilindrului (2) de execuție, către o supapă (10) de presiune, unică în sistem, ce limitează presiunea maximă atinsă în cele două căi (I și II), și în care motorul (6) electric este comandat, prin intermediul unui semnal electric de control, determinat într-un bloc de calcul, pe baza unor informații de intrare-ieșire ale sistemului, informația de poziție fiind furnizată de un traductor de poziție (12). 3  
5  
7  
9  
11  
13
2. Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** supapa de presiune (7) are racordul de retur legat la hidroacumulator, asigurând o raportare consecventă a presiunii din cele două ramuri hidraulice (I și II), la o presiune unică de referință, din hidroacumulatorul cu rezervor (3). 15  
17
3. Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** rezervorul (3) presurizat din componența hidroacumulatorului păstrează, pe linia de înaltă presiune și pe retur, o presiune constantă, asigurând astfel evitarea funcționării pompei (1) în regim de cavitație. 19  
21
4. Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** are o singură buclă de reacție, pentru urmărirea de poziție, informația de poziție fiind furnizată de un singur traductor (12) de poziție. 23  
25
5. Servoactuator electrohidrostatic, pentru aviație, conform revendicărilor 1 și 4, **caracterizat prin aceea că** bucla de urmărire de poziție este calculată pe baza unei legi de comutare neuro-fuzzy, în care sinteza optimală de tip rețea neuronală este supravegheată și preluată, în caz de saturație a semnalului, de sinteza cu logică fuzzy, de tip Mandani. 27  
29

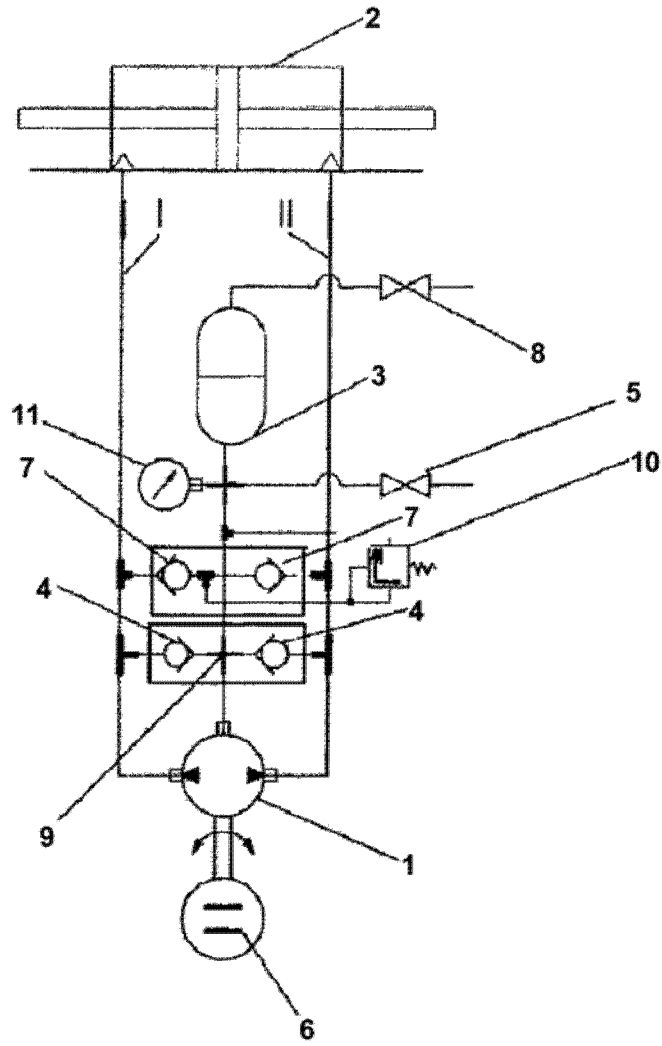


Fig. 1

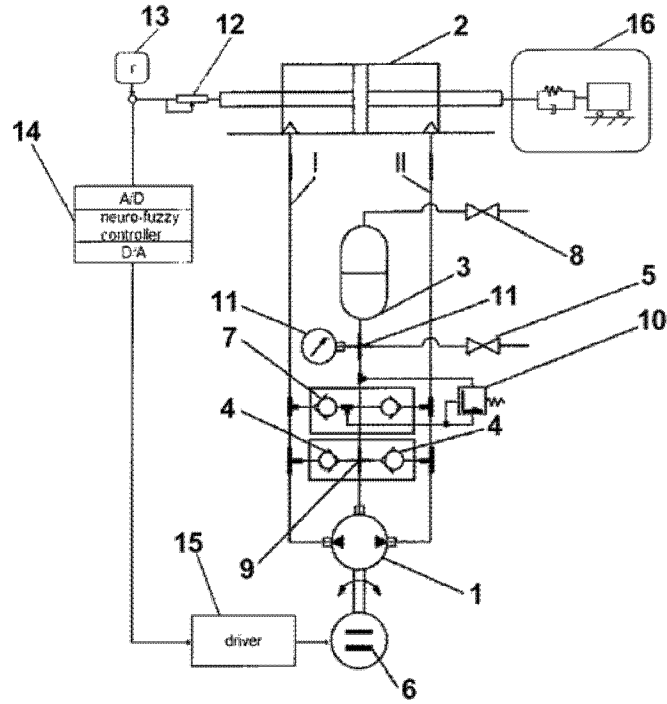


Fig. 1'

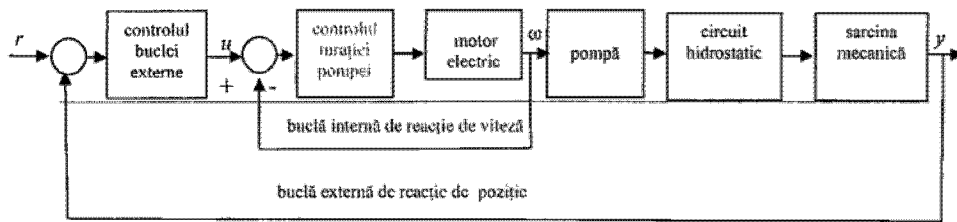


Fig. 2

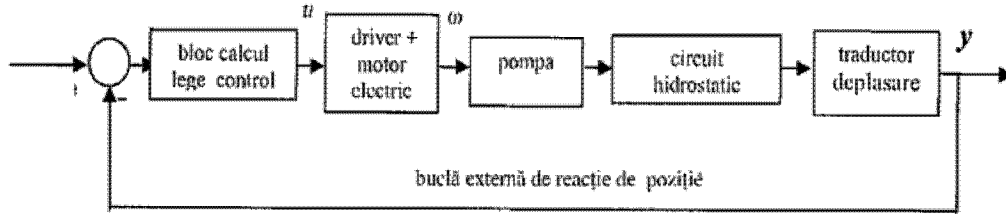


Fig. 3

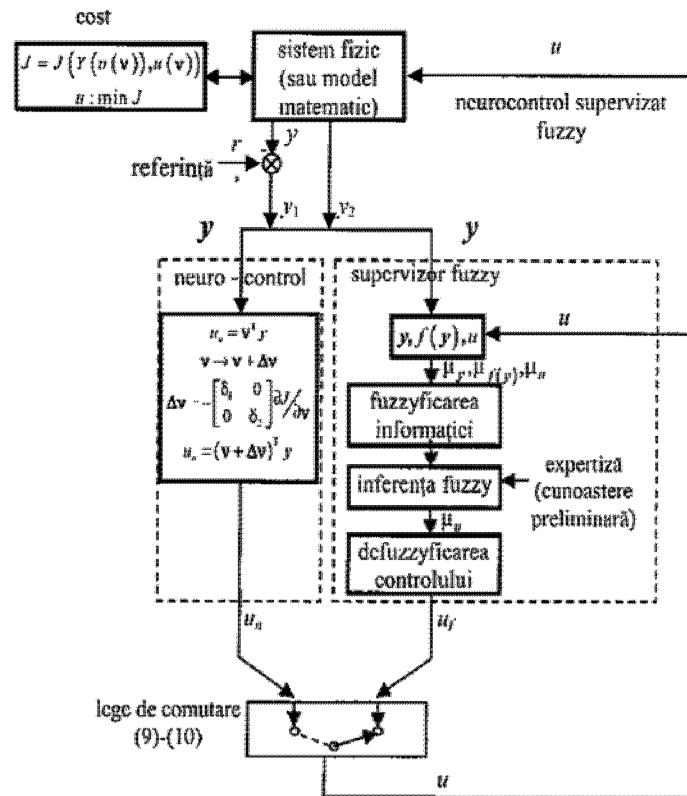


Fig. 4

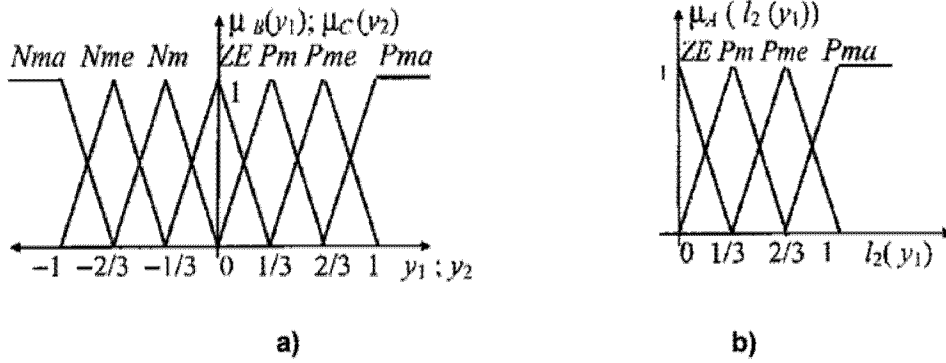


Fig. 5

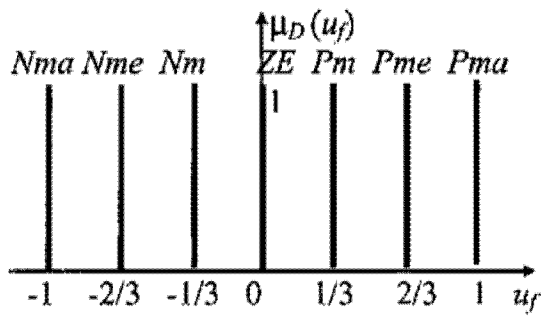


Fig. 6

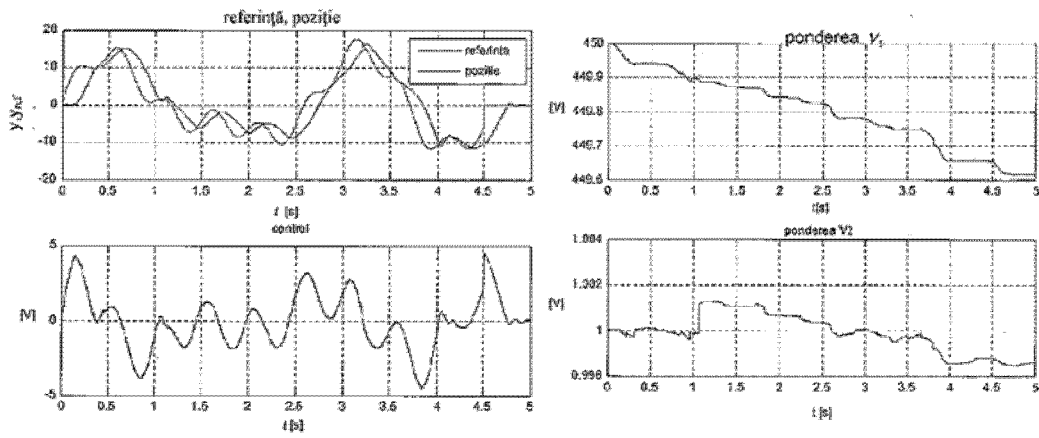


Fig. 7

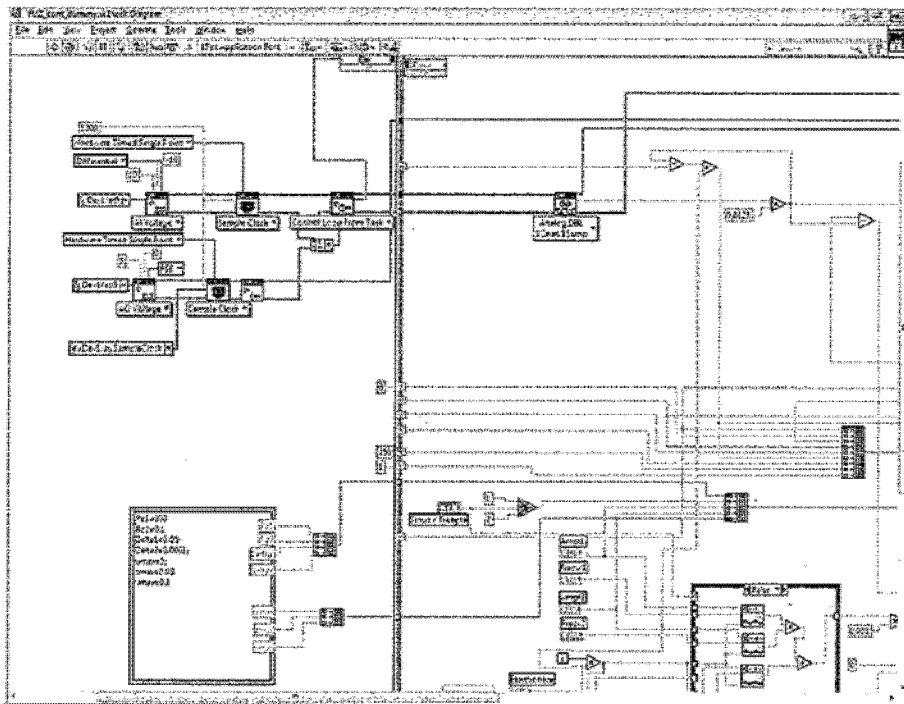


Fig. 8a

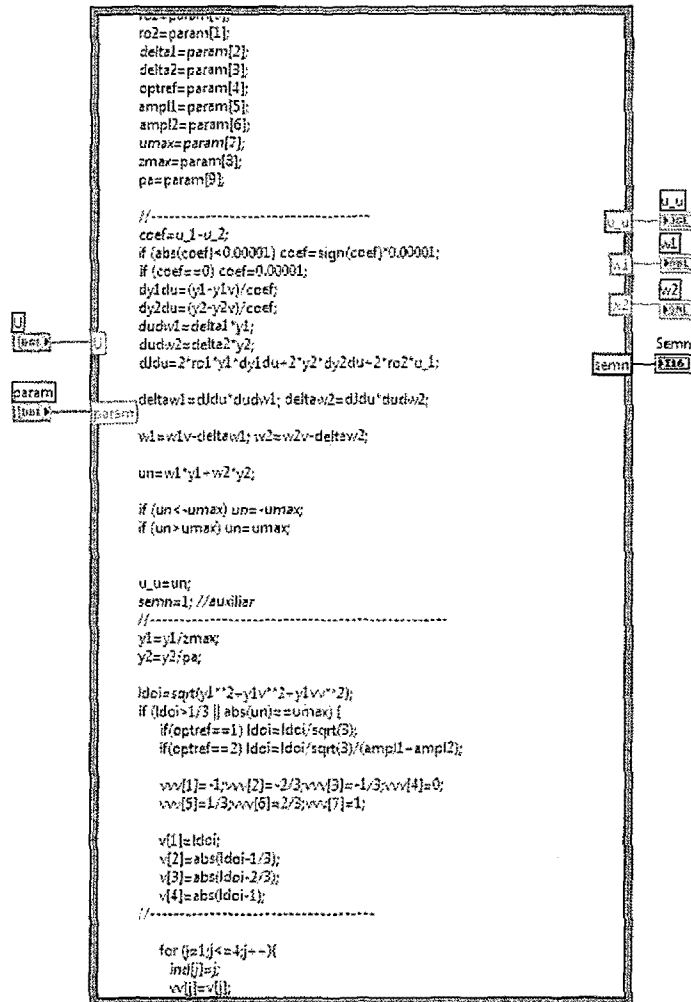


Fig. 8b

