



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

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

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

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

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

(72) Inventatori:
• **URSU IOAN, STR. LIVIU REBREANU
NR. 20, BL. A6, 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. 3D, SC. 3, ET. 2, AP. 39,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **CALINOIU CONSTANȚIN,
STR. ROȘIA MONTANĂ NR. 15, BL. 29,
SC. 2, AP. 25, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B,
RO**

(54) **SERVOACTUATOR ELECTROHIDROSTATIC PENTRU
AVIAȚIE, CU LEGE NECONVENȚIONALĂ DE REGLARE ÎN
POZIȚIE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un servoactuato electrohidrostatic, destinat în principal acționării suprafețelor de comandă ale unui avion, dar care poate fi utilizat în orice domeniu în care acționarea hidraulică este lipsită de existența unei surse separate de presiune, sau în montaje în care trebuie evitată pierderea accidentală de ulei pe traseul conductelor. Servoactuatoorul conform invenției este alcătuit dintr-un hidroacumulator cu rezervor (3), o pompă (1) cu capacitate constantă, cu roți dințate bidi-recțională, 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.

Revendicări: 7
Figuri: 3

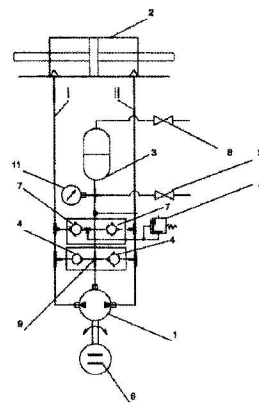


Fig. 1

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).



**SERVOACTUATOR ELECTROHIDROSTATIC PENTRU AVIAȚIE,
CU LEGE NECONVENȚIONALĂ DE REGLARE ÎN POZIȚIE**

DESCRIEREA INVENȚIEI

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	a 2011 00 757
Data depozit	28-07-2011

Invenția de față 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 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 în care pierderea accidentală de ulei pe traseul conductelor rigide sau flexibile trebuie evitată, din diverse motive (cost, lipsa de spațiu, siguranță în exploatare). În prezent, în comenzile avioanelor se folosesc din ce în ce mai mult servoactuatoari electrohidrostatici, din rațiuni de economisire a energiei, dar și ecologice, dacă se ia în considerare 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-97-206224, privind performanțele unui servoactuator hidrostatic pe un avion de cercetare F-18 și 2) US Patent 5 737 994/ 14 04 1998 “Digital variable actuation system” privind un servoactuator hidrostatic cu controller al turației pompei. Nu sunt cunoscute invenții românești având ca obiect un servoactuator hidrostatic.

Există două tipuri de bază de servoactuatoari electrohidraulici, considerând criteriul reglării debitului în sistem: prin intermediul unei servovalve electrohidraulice, racordată la o magistrală de putere hidraulică, sau prin intermediul unei pompe acționate de un motor, în acest al doilea caz asigurându-se un circuit închis al debitului hidraulic. Primul tip este al servoactuatorului electrohidraulic convențional, clasic, care prezintă avantajul unei constante de timp mai rapide, dar și dezavantaje majore precum pierderi energetice însemnate în servovalvă, cost ridicat determinat în special de servovalva electrohidraulică, dependență de puterea hidraulică externă furnizată într-o magistrală de o pompă acționată continuu de un motor, indiferent de faptul dacă actuatorul este sau nu este în mișcare.

Aceste dezavantaje sunt contracarate de servoactuatorul de al doilea tip, numit 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-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 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 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 ponderează avantajos ca pondere a unei rețele neuronale.

Schema hidraulică a servoactuatorului, conform invenției, este dată în **Figura 1**. Sistemul este deci unul în circuit hidraulic închis, în care **hidroacumulatorul cu rezervor 3**, presurizat după alimentarea cu **lichid hidraulic** a sistemului, compensează pierderile hidraulice. atenuază pulsațiile de presiune și asigură evitarea funcționării **pompei cu capacitate constantă, cu roți dințate 1**, în regim de cavitație, altfel foarte posibil odata 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 8**. Controlul valorilor prescrise în această operație se face urmărind indicațiile unui manometru **11** montat în mod special în schema. Alimentarea cu lichid hidraulic precum și golirea instalației se face prin **robinetul 5**. Pompa este **bidirecțională** și este acționată de un **motor electric de curent continuu fără perii, 6**, cu turația și sensul variabile. Racordul de drenaj, legat direct la hidroacumulator în punctul **9**, 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 4**, conform invenției, permite alimentarea alternativă cu lichid hidraulic sub presiune a celor două camere ale **cilindrului de execuție 2**. 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 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 drept referință presiunea cea mai joasă din sistem, adică presiunea din hidroacumulator. Sistemul permite utilizarea unui **motor hidraulic rotativ** în locul celui **liniar**.

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 – 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 protejeze această cale fără să afecteze curgerea din ramura **II**. Dilatările lichidului hidraulic, urmare a fluctuațiilor de temperatură din timpul funcționării, sau a variațiilor de temperatură ale 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 ce trebuie evacuat din camera legată la ramura **II** a motorului hidraulic și/sau lichid din hidroacumulator, dacă apare necesitatea compensării volumice.

14

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

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

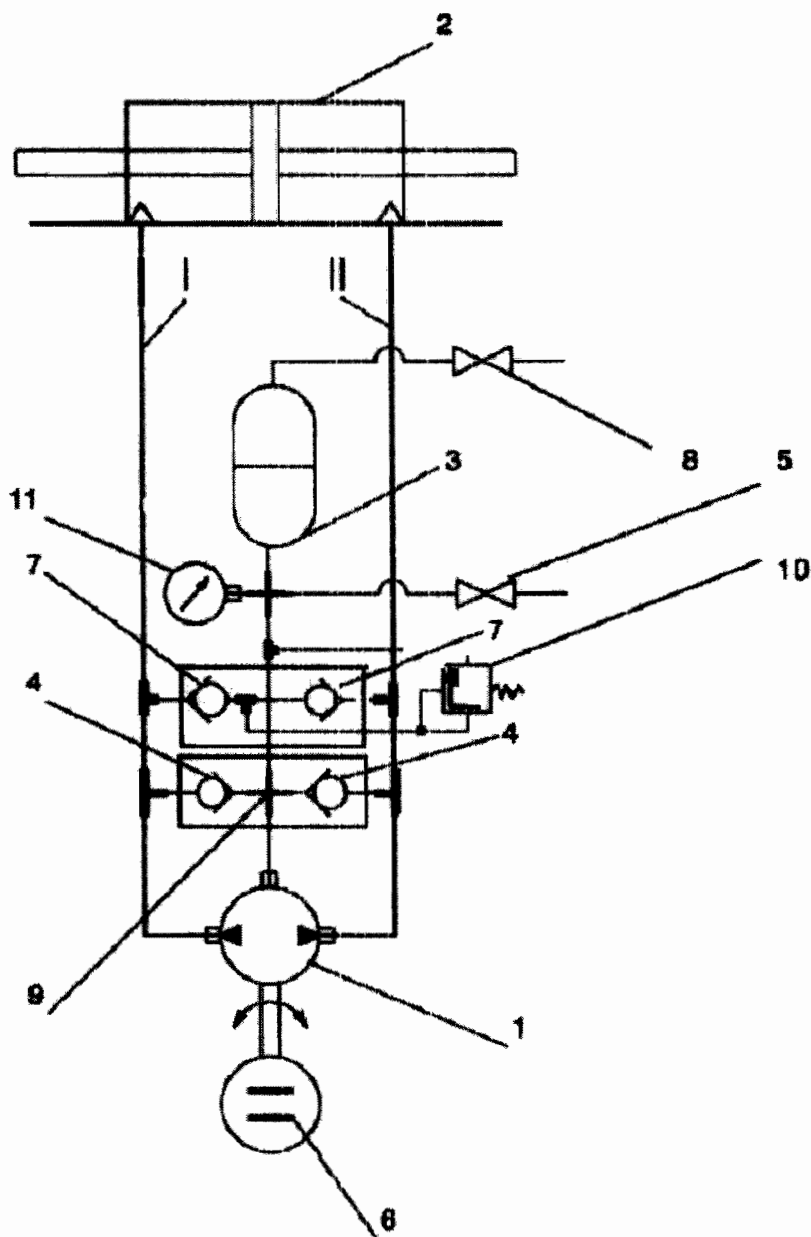


Figura 1. Schema hidraulică a servoactuatorului

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) 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 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 Application EP 2 322 808 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 la ieșirea unui motor rotativ.

Servoactuatorul electrohidrostatic este de primul tip, în care, conform invenției, se **elimină bucla internă de reglare a turației motorului**, și deci și a pompei, Figura 2, buclă susceptibilă de a produce eroare staționară de urmărire în poziție, răspuns lent și pierderi hidraulice. Această buclă este menționată ca fiind prezentă în 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 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 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 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 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.

Bucla de urmărire în poziție, conform invenției, Figura 3, generează un semnal de reacție inversă (feedback), calculat 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 Figura 3 și se constituie din următoarele elemente:

1) **Un motor electric 6, fără perii, de curent continuu**, comandat de semnalul electric de control u , măsurat în V [Volți], prin care se generează la ieșire o turație ω (rad/sec), transmisă rigid pompei 1, Figura 1 și Figura 3. Blocul de reglare a turației, Figura 2, care se livrează de regulă la pachet cu motorul, conform invenției lipsește în schema din Figura 2.

2) **O pompă bidirecțională 1, cu roți dințate**, antrenată de motorul 6, Figura 1 și Figura 3.

3) **Un circuit hidrostatic** care cuprinde cilindrul de execuție 2 și elementele auxiliare a) grupul de supape de sens 4, b) grupul de supape 7, c) supapa de presiune 10, d) hidroacumulatorul 3; cilindrul de execuție, sau, alternativ, un motor hidraulic rotativ care înlocuiește în schema cilindrul de execuție 2, antrenează o sarcină la ieșire, constituită uzual dintr-o componentă inerțială și o componentă elastică, nereprezentate în schema din Figura 1, dar reprezentată principal în Figura 3.

4) **O lege de control simplă**, implementată în **blocul de calcul**, Figura 3, care elaborează semnalul de control u [V], exclusiv pe baza unor informații sistemice intrare-ieșire. Informațiile de

intrare, conform invenției, se constituie din: a) eroarea măsurată $r - y$ dintre semnalul de referință r [V] și semnalul de deplasare a sarcinii, y [V], furnizat de **un traductor de deplasare liniară sau unghiulară**; b) viteza \dot{y} a sarcinii, determinabilă pe baza măsurătorilor succesive de deplasări y ; c) semnalul de control u , calculabil cu o lege comutantă de control neuro-fuzzy. Informația de ieșire, conform invenției, se constituie din semnalul de deplasare y [V].

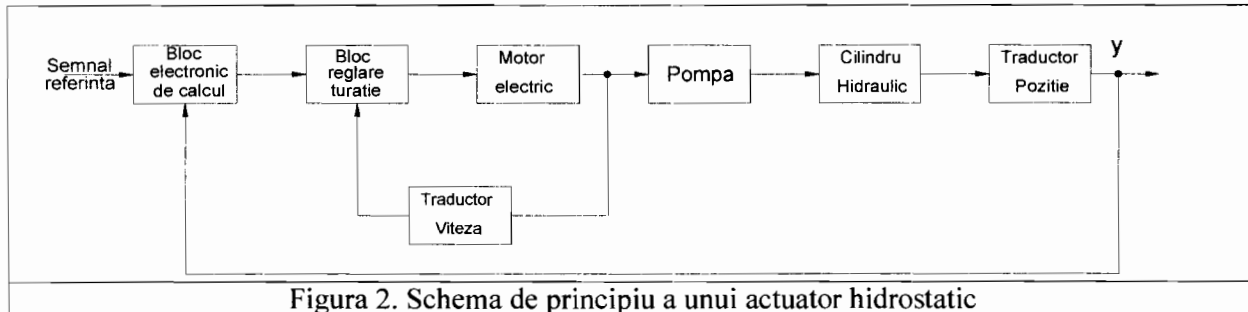


Figura 2. Schema de principiu a unui actuator hidrostatic

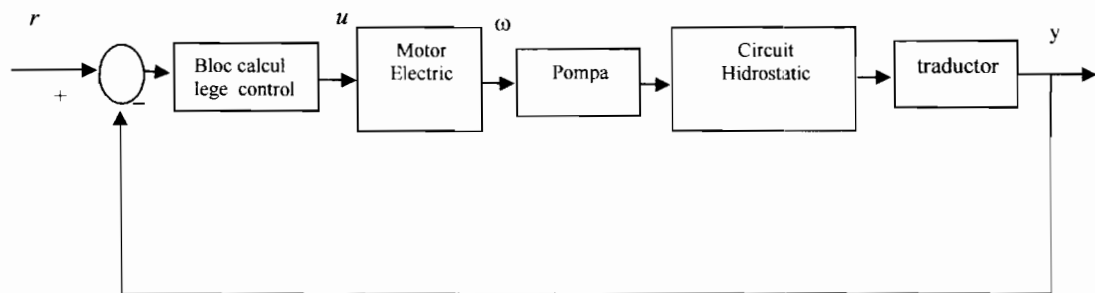


Figura 3. Schema de principiu a actuatorului hidrostatic, conform invenției

Legea de control, conform invenției, este de tip comutant, între un control optimal definit de o **rețea neuronală de tip perceptron cu un singur strat**, și un **control supervizant cu logică fuzzy**. Intrarea în rețeaua neuronală este dată de semnalele $r - y$ și \dot{y} , primul fiind un indicator al performanței de urmărire și al doilea un **indicator energetic**. Indicele de cost este unul de minimizare prin negociere între cei doi indicatori. Legea de control optimală cu rețea neuronală comută pe un control cu logică fuzzy de îndată ce, pe parcursul secvențelor succesive de control, desfășurate cu un pas de timp corespunzător, de ordinul a 0.001 sec, se constată saturația semnalului de control u , respectiv depășirea de către acesta a unei limitări fizic admisibile, $|u| > u_M$. Legea de control cu logică fuzzy, conform invenției, moderează semnalul de control la valori admisibile, și se bazează pe **evaluarea semnalelor** $r - y$, \dot{y} , u , precum și a unui al patrulea semnal care măsoară **viteza de anulare a semnalului de eroare, ca mulțimi fuzzy** (vagi), definite ca universuri lingvistice (“mic”, “mare”, “mediu”, “zero” etc.). Comutarea pe legea optimală, neuronală, se face de îndată ce semnalul de control neuronal u , calculat în paralel cu cel fuzzy, dar neaplicat în sistem, a revenit la valori admisibile.

Strategia de control comutant neuro-fuzzy pe bucla de reacție de urmărire în poziție nu presupune implicarea unui model matematic al sistemului servoactuatorului electrohidrostatic, de aceea, în plus față de calitatea de a fi **antisaturantă**, este și **robustă**.

REVENDICĂRI

1. Servoactuator hidrostatic integrat, Figura 1, în sensul că sistemul hidrolic este situat în întregime lângă elementul de execuție și cuprinde și sursa de presiune și motorul de antrenare al acesteia. Elementul de execuție (cilindrul hidrolic), hidroacumulatorul și elementele de protecție sunt realizate sub forma unui bloc hidrolic compact în care circuitele hidrolice au forma unor canalizații interne. De asemenea, traductorul de poziție este amplasat în tija cilindrului hidrolic, iar sursa de presiune (pompa și motorul electric) sunt cuplate direct fără elemente de cuplare intermediare. Partea electronică a servoactuatorului hidrostatic este realizată sub forma unui bloc electronic numeric prevăzut cu interfețe analogice și numerice de intrare și ieșire.

2. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că prevede un grup de supape 7, care asigură trecerea lichidului hidrolic, din calea cu presiunea cea mai mare existentă la un moment dat, în căile de comandă ale cilindrului de execuție 2, către o singură supapă de presiune 10.

3. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că supapa de presiune 7 are racordul de retur legat la hidroacumulator, ceea ce asigură o raportare consecventă a presiunii din cele două ramuri hidrolice I, II, Figura 1, la o presiune unică de referință, respectiv presiunea din hidroacumulator, și nu raportarea reciprocă a presiunilor din cele două ramuri. Avantajul constă în evitarea totală a suprapresiunilor în sistem.

4. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, care are un rezervor presurizat poziția 3, în componenta hidroacumulatorului, păstrând pe linia de înaltă presiune și pe retur o presiune constantă asigurând astfel evitarea funcționării pompei 1, Figura 1, în regim de cavitație. În același timp, conform revendicării 4, prezența în schema a rezervorului presurizat asigură buna funcționare a servoactuatorului indiferent de poziția avionului în zbor, caracterizată prin unghiul față de verticală.

5. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, având o singură buclă de reacție, pentru urmărirea în poziție, Figura 3.

6. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, în care bucla de reacție de urmărire în poziție este calculată cu o lege de control comutant între a) un control optimal pe baza unei rețele neuronale și b) un control supervizant cu logică fuzzy, care preia conducerea procesului în cazul saturării semnalului de control optimal cu rețea neuronală.

7. Servoactuator hidrostatic integrat, conform revendicării 1, în care bucla de reacție de urmărire în poziție, conform revendicării 6, nu necesită decât o informație de măsură furnizată de un singur traductor, de poziție.