



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENTIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 01313**

(22) Data de depozit: **06.12.2011**

(41) Data publicării cererii:
30.07.2013 BOPI nr. **7/2013**

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "DUNAREA DE JOS"
DIN GALATI, STR.DOMNEASCĂ NR.47,
GALATI, GL, RO

(72) Inventatori:
• FRUMUŞANU GABRIEL RADU,
STR. TRAIAN NR. 89, BL. B3-B, SC.1, AP. 6,
GALATI, GL, RO;

• CONSTANTIN IONUȚ CLEMENTIN,
STR. GRIVIȚEI NR.2, BL.B, AP.65, GALATI,
GL, RO;

• MARINESCU OLGUȚA,
STR. ANTON PANN NR. 6, BL. G2, AP. 7,
BRĂILA, BR, RO

(54) SISTEM INTELIGENT PENTRU CONTROLUL STABILITATII PROCESELOR DE STRUNJIRE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem intelligent pentru controlul automat, on-line, al stabilității proceselor de strunjire, pentru ca productivitatea acestor procese să fie maximizată, destinat utilizării pe strungurile de tip actual. Sistemul conform inventiei, în scopul de a controla poziția punctului curent de funcționare a unei mașini-unele în raport cu limita domeniului de stabilitate dinamică, monitorizează continuu, pe tot parcursul unui proces de aşchierie, semnalul furnizat de o marcă tensometrică plasată pe una dintre piesele componente ale mașinii-unealătă, astfel aleasă încât variația în timp a semnalului să fie proporțională cu variația în timp a forței de aşchierie, după care, periodic, pe baza descrierii numerice a semnalului, evaluează un indicator (I) ce relevă, potrivit unei metrii, poziția punctului curent de funcționare în raport cu limita de stabilitate, urmată de compararea valorii obținute cu două valori limită (I_m și I_M) inferioară și superioară, care descriu vecinătatea limitei de stabilitate, aflată în domeniul stabil, iar în cazul în care valoarea curentă a indicatorului (I)

depășește limitele acesteia, modifică viteza de aşchierie și avansul, potrivit unui algoritm, până când valoarea indicatorului (I) revine în acest domeniu.

Revendicări: 5

Figuri: 6

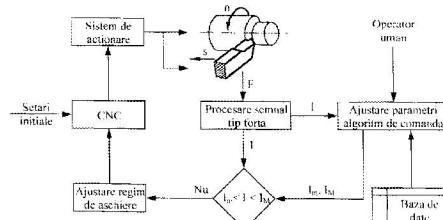
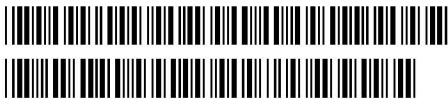


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozitivelor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



- Descrierea inventiei -

Inventia se refera la un sistem intelligent pentru controlul automat, on-line, al stabilitatii proceselor de strunjire, astfel incat productivitatea acestor procese sa fie maximizata, in conditiile excluderii riscului de aparitie a vibratiilor autoexcitate, chiar daca domeniul stabil se modifica in mod continuu in timp si spatiu. Sistemul, potrivit inventiei, este destinat utilizarii pe strungurile de tip actual, prin conectarea lui la comanda numerica existenta, fara modificarea structurii mecanice si de actionare.

Sunt cunoscute strategiile actuale de control al stabilitatii proceselor de aschiere, care se bazeaza, in principiu, pe doua abordari:

- controlul off-line, pe baza predictiei riscului de aparitie a vibratiilor autoexcitate;
- controlul on-line, pe baza detectiei vibratiilor, urmata de eliminarea acestora.

In primul caz, controlul se materializeaza prin programarea unui regim de lucru al masinii, de o asemenea maniera incat punctul de functionare al acesteia (caracterizat prin viteza de aschiere, avans, adancime de aschiere) sa se gaseasca, permanent, in domeniul stabil. Programarea se realizeaza pe baza diagramei de stabilitate a masinii in cauza.

In al doilea caz, se utilizeaza senzori care sa evidenteze aparitia vibratiei autoexcitate relative intre scula si piesa, situatie in care se intervine apoi, fie prin modificarea (de fapt reducerea) parametrilor regimului de functionare, fie prin aplicarea altor solutii tehnice – spre exemplu variatia vitezei miscarii principale, utilizarea unor portscule oscilante sau a unor sisteme active de compensare.

Din modul in care sistemele actuale de control al stabilitatii sunt concepute si functioneaza, decurg o serie de dezavantaje, dintre care mai importante sunt urmatoarele:

- perturbatiile, care apar inherent pe parcursul prelucrarii, precum si modificarile continue ale dinamicii masinii in lungul traiectoriei urmate de scula aschietoare (cu alte cuvinte, modificarea in timp si spatiu a domeniului de stabilitate), nu pot fi luate in calcul in predictia riscului de aparitie a vibratiilor autoexcitate;
- modul in care intervin pentru modificarea punctului de functionare, in scopul repositionarii acestuia in raport cu limita de stabilitate, este unilateral, in sensul reducerii intensitatii procesului de aschiere si, implicit a productivitatii;
- momentul in care intervin este intarziat in raport de momentul aparitiei vibratiilor, ceea ce nu permite evitarea consecintelor nedorite ale acestora;
- implementarea sistemelor pentru controlul activ al stabilitatii este dificila, deoarece reclama reproiectarea unor subsisteme componente ale masinii si existenta unor modele dinamice adecvate.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia este ajustarea automata si permanenta a pozitiei punctului de functionare al masinii-unealta, astfel incat acesta sa se gaseasca intotdeauna in acel punct al domeniului stabil, in care nivelul productivitatii este maxim, chiar daca domeniul stabil se modifica in mod continuu in timp si spatiu. In general, la strunjire, punctul in care productivitatea este maxima se afla in vecinatatea limitei de stabilitate.

Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire caracterizat **prin aceea**: in scopul de a controla pozitia punctului curent de functionare al masinii-unealta in raport cu limita domeniului de stabilitate dinamica, se monitorizeaza continuu, pe tot parcursul procesului de aschiere, semnalul furnizat de o marca tensometrica plasata pe una dintre piesele componente ale masinii-unealta, astfel incat variatia in timp a semnalului sa fie proportionala cu variatia in timp a fortelei de aschiere, dupa care, periodic, pe baza descrierii numerice a semnalului, este evaluat un indicator I_1 , ce releva, potrivit unei metriki, pozitia punctului curent de functionare in raport cu limita de stabilitate, urmata de compararea valorii obtinute cu doua valori-limite: I_{m1} si I_{m2} .



alta superioara I_M , care descriu vecinatatea limitei de stabilitate, aflata in domeniul stabil, iar in cazul in care valoarea curenta a indicatorului depaseste limitele acesteia, se modifica viteza de aschieri si avansul, potrivit unui algoritm, pana cand valoarea indicatorului revine in acest domeniu, dupa cum se arata in figurile 1 si 2 **si prin aceea ca** valorile indicatorului I , care reflecta pozitia relativa a punctului de functionare al masinii fata de limita de stabilitate, se determina prin procesarea on-line a semnalului monitorizat, dupa eliminarea componentei lenta variabile in timp si scalarea semnalului astfel filtrat, iar in functie de rapiditatea cu care se desfasoara procesul monitorizat, indicatorul se alege dintre I_1 , reprezentand dispersia diferentei dintre semnalul filtrat si cel mai apropiat model logistic, pe lungimea de referinta a semnalului filtrat, pentru turatii ale piesei n de pana la 200 rot/min, I_2 , reprezentand valoarea celui parametru de control al modelui logistic care este cel mai apropiat de variația semnalului filtrat, pe lungimea de referinta a acestuia, pentru n de pana la 300 rot/min, I_3 , reprezentand raportul dintre valoarea amplitudinii maxime si cea medie ale transformatiei Fourier a semnalului monitorizat, intr-un domeniu de frecvențe dat, pentru n de pana la 600 rot/min, I_4 , reprezentand valoarea medie a saltului dintre doua extreme locale succesive pe lungimea de referinta a semnalului filtrat, pentru n de pana la 1000 rot/min si I_5 reprezentand numarul de extreme locale pe lungimea de referinta a semnalului filtrat, pentru n peste 1000 rot/min **si prin aceea ca** traiectoria sculei, programata prin frazele de comanda ale programului-piesa si parcursa cu ajutorul unuia dintre interpolatoarele sistemului de comanda numerica, este divizata intr-un numar de secvente, de exemplu o secventa corespunzand unei rotatii a piesei, pentru fiecare secventa fiind specificate turatia arborelui principal si timpul alocat pentru realizarea sa **si prin aceea ca** algoritmul de ajustare a vitezei de aschieri, conform figurii 3, se bazeaza pe modificarea in trepte a turatiei piesei, prin aplicarea la valoarea curenta a acesteia a unui coeficient care poate avea patru valori, λ_1 si λ_2 – subunitare, $\lambda_1 < \lambda_2$, respectiv λ_3 si λ_4 – supraunitare, $\lambda_3 > \lambda_4$, dupa cum urmeaza: i) la depasirea de catre indicatorul I a limitei maxime, $I = I_M$, se aplica coeficientul λ_1 , daca valoarea anterioara a lui I se aflase in intervalul (I_m, I_M) , sau valoarea λ_2 , in celealte cazuri posibile; ii) pentru o valoare a indicatorului sub limita minima, $I = I_m$, se aplica coeficientul λ_3 , daca valoarea anterioara a lui I se aflase in intervalul (I_m, I_M) , sau valoarea λ_4 , in celealte cazuri posibile **precum si prin aceea ca** valorile limitea I_m si I_M , care definesc vecinatatea limitei de stabilitate, se pot modifica off-line, fie prin invatare nesupravezuta, utilizand o baza de date inregistrate pe parcursul functionarii anterioare a sistemului, fie prin interventia operatorului uman care deserveste masina-unealta.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje:

- punctul de functionare al masinii-unealta este mentinut in permanenta in vecinatatea limitei de stabilitate, ceea ce, in cazul strunjirii, corespunde unei productivitati maxime, obtinute prin folosirea intregii capacitatii a masinii;
- sunt evitate efectele nedorite ale instabilitatii, manifestata prin vibratii autoexcitate, sistemul de control al stabilitatii rectionand cu promptitudine la perturbatiile inerente;
- sistemul de control este simplu si, mai important, poate fi implementat cu costuri rezonabile pe actuala generatie de strunguri cu comanda numerica;
- strategia pe baza careia functioneaza sistemul si algoritmul de ajustare a regimului de aschieri nu sunt legate nemijlocit de procedeul de prelucrare prin strunjire si, prin urmare, ar putea fi aplicate si in cadrul unor sisteme de control al stabilitatii pentru alte procedee de prelucrare (frezare, gaurire, rectificare).

In continuare se prezinta un exemplu de aplicare a inventiei in legatura cu figurile 1 ... 6, unde:

- figura 1 prezinta modul de interconectare dintre sistemul intelligent de control al stabilitatii si masina-unealta deservita de acesta;
- figura 2 prezinta schematic strategia pe baza careia functioneaza sistemul intelligent de control al stabilitatii;
- figura 3 prezinta algoritmul de comanda al sistemului intelligent de control al stabilitatii;



- figura 4 prezinta structura sistemului intelligent de control al stabilitatii, asa cum a fost implementat experimental;
- figura 5 prezinta forma si dimensiunile piesei utilizate pentru testarea experimentalala a sistemului intelligent de control al stabilitatii, unde t reprezinta avansul radial al sculei intre doua treceri consecutive iar A – amplitudinea traectoriei sinusoidale dupa care se deplaseaza cutitul;
- figura 6 prezinta a – variatia indicatorului I_3 si b – variatia vitezei de aschieri v , ambele pentru toate cele trei treceri succesive. prima curba, "Series 1", caracterizand procesul instabil (prima trecere), a doua curba, "Series 2" – procesul stabilizat prin reducerea vitezei de aschieri (a doua trecere) iar a treia curba, "Series 3" – procesul stabilizat prin utilizarea sistemului intelligent pentru controlul stabilitatii, potrivit inventiei.

Sistemul intelligent de control al stabilitatii a fost implementat pe un strung transversal cu comanda numerica. Pentru strunjire s-a utilizat un cutit Hoffmann - Garant de exterior, de tipul MVJN R25, prevazut cu placute schimbabile de tipul VNMG160408 VM, HB7135. Pe cutit au fost aplicate doua marci tensometrice in semipunte, iar semnalul de la acestea a fost achizitionat cu ajutorul unui sistem Quantum (Hottinger Baldwin Messtechnik). Frecventa de achizitie a datelor a fost de 9600 scanari/s, valorile fiind inregistrate intr-un fisier, cate 256 de valori pentru fiecare secventa de comanda din noul tip de program-piesa.

In aceste conditii, s-a prelucrat o piesa-test, confectionata din otel carbon de calitate cu 0.45% C, avand generatoarea sinusoidală și dimensiunile initiale specificate in figura 5. Dupa o strunjire initiala, destinata doar obtinerii unei generatoare sinusoidale de pornire, au fost efectuate trei treceri succesive, de fiecare data generatoarea avand aceeasi forma (definita prin amplitudinea $A = 0.5$ mm si lungimea de unda $\lambda = 20$ mm). Intre traectoriile a doua treceri consecutive s-a introdus insa, de fiecare data, un decalaj de faza de 180° , ceea ce a condus la o variatie continua a grosimii stratului de material detasat, intre limitele

$$t_{\min} = t - 2A \text{ si } t_{\max} = t + 2A. \quad (1)$$

Aceasta variatie a avut drept scop sa forteze tranzitia procesului de strunjire de la stabil la instabil si invers, pe parcursul aceleiasi prelucrari. In relatie (1), t reprezinta avansul radial al sculei intre doua treceri consecutive. Cele trei treceri succesive au fost realizate cu acelasi avans longitudinal (0.2 mm/rot), dar modificand turatia piesei, dupa cum urmeaza:

- la prima trecere, turatia a fost constanta si avand valoarea recomandata in cazul unei grosimi constante t a stratului de material detasat, fara a se utiliza sistemul de control al stabilitatii;
- la a doua trecere, turatia a fost constanta si avand valoarea recomandata in cazul unei grosimi constante t_{\max} a stratului de material detasat, fara a se utiliza sistemul de control al stabilitatii;
- la a treia trecere, turatia a fost variabila, dupa cum a impus-o sistemul de control al stabilitatii.

Ca indicator ce reflecta pozitia relativa a punctului de functionare al masinii fata de limita de stabilitate a fost ales I_3 , reprezentand raportul dintre valoarea amplitudinii maxime si cea medie ale transformatei Fourier a semnalului monitorizat, intr-un domeniu de frecvente dat; valorile-limite ale indicatorului au fost adoptate, pe baza unor teste anterioare efectuate in conditii asemanatoare, ca avand valorile $I_m = 1.2$, respectiv $I_M = 1.5$. Cei patru coeficienti de ajustare a turatiei piesei au fost setati astfel: $\lambda_1 = 0.7$; $\lambda_2 = 0.85$; $\lambda_3 = 1.2$; $\lambda_4 = 1.1$. Grosimea nominala a stratului de material detasat a fost aleasa $t = 1.25$ mm, in timp ce unghiul de atac al taisului a avut valoarea $\chi = 55^\circ$.

Efectele utilizarii sistemului intelligent pentru controlul stabilitatii sunt evidențiate, in forma grafica in figura 6, unde se pot remarka o crestere substantiala a vitezei de aschieri fata de cazul stabilizarii obtinute prin reducerea intensitatii regimului de aschieri, respectiv un proces complet lipsit de vibratii, fata de cazul in care variatia grosimii stratului de material detasat a dus, in absenta controlului stabilitatii, la aparitia vibratiilor autoexcitate.

Pentru evaluarea cantitativa a eficientei sistemului intelligent pentru controlul stabilitatii, potrivit inventiei, a fost definit indicatorul ICP , "Indicator de crestere a producției", care are expresia



$$ICP = \left[\sum_{k=1}^m \left(\frac{v_{a_k} \cdot s_{a_k}}{v_{t_k} \cdot s_{t_k}} - 1 \right) \right] \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$

In relatia (2) m reprezinta numarul de cicluri de aschieri (rotatii) considerate, v_{a_k} si s_{a_k} - valorile programate ale vitezei de aschieri, respectiv avansului, in cazul regimului stabilizat prin reducerea regimului de aschieri iar v_{t_k} si s_{t_k} - valorile vitezei de aschieri, respectiv avansului, ajustate de sistemul de control al stabilitatii, toate patru pentru acelasi punct curent " k " de pe generatoare. Pentru cazul piesei-test descrise mai sus, $ICP = 129,8\%$, ceea ce demonstreaza importantul potential de crestere a productivitatii, prin utilizarea sistemului intelligent pentru controlul stabilitatii.



- Revendicari -

1. Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire caracterizat prin aceea ca, in scopul de a controla pozitia punctului curent de functionare al masinii-unealta in raport cu limita domeniului de stabilitate dinamica, se monitorizeaza continuu, pe tot parcursul procesului de aschieri, semnalul furnizat de o marca tensometrica plasata pe una dintre piesele componente ale masinii-unealta, astfel incat variatia in timp a semnalului sa fie proportionala cu variatia in timp a fortele de aschieri, dupa care, periodic, pe baza descrierii numerice a semnalului, este evaluat un indicator I , ce releva, potrivit unei metriki, pozitia punctului curent de functionare in raport cu limita de stabilitate, urmata de compararea valorii obtinute cu doua valori-limita, una inferioara I_m si alta superioara I_M , care descriu vecinatatea limitei de stabilitate, aflata in domeniul stabil, iar in cazul in care valoarea curenta a indicatorului depaseste limitele acestia, se modifica viteza de aschieri si avansul, potrivit unui algoritm, pana cand valoarea indicatorului revine in acest domeniu.

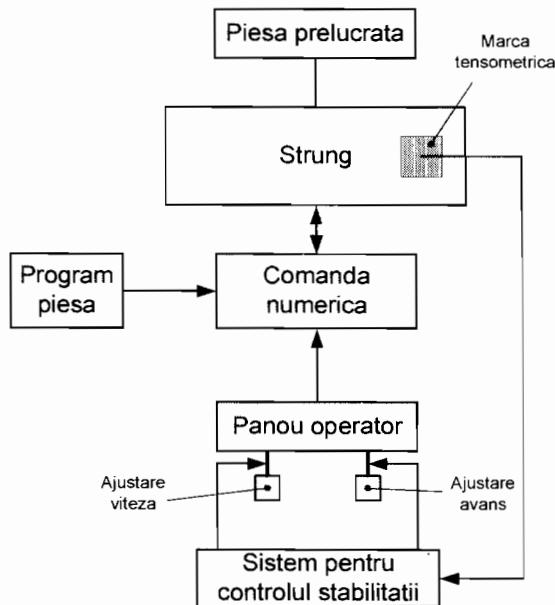
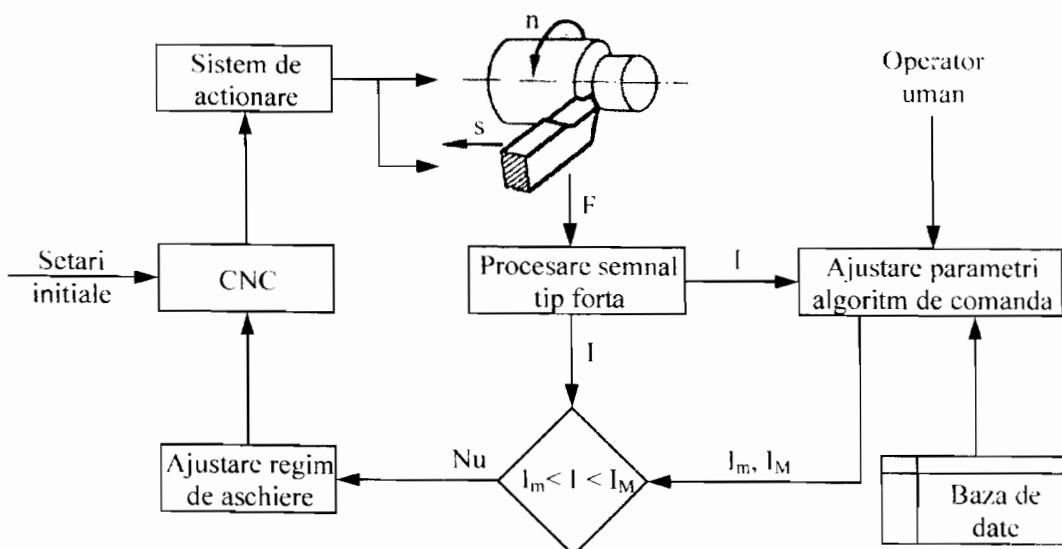
2. Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, valorile indicatorului I , care reflecta pozitia relativa a punctului de functionare al masinii fata de limita de stabilitate, se determina prin procesarea on-line a semnalului monitorizat, dupa eliminarea componentei lent variabile in timp si scalarea semnalului astfel filtrat; in functie de rapiditatea cu care se desfasoara procesul monitorizat, indicatorul se alege dintre I_1 , reprezentand dispersia diferentei dintre semnalul filtrat si cel mai apropiat model logistic, pe o lungime de referinta a semnalului filtrat, pentru turatii ale piesei n de pana la 200 rot/min, I_2 , reprezentand valoarea parametrului de control al modelui logistic cel mai apropiat de variatia semnalului filtrat, pe o lungime de referinta a acestuia, pentru n de pana la 300 rot/min, I_3 , reprezentand raportul dintre valoarea amplitudinii maxime si cea medie ale transformatiei Fourier a semnalului monitorizat, intr-un domeniu de frecvente dat, pentru n de pana la 600 rot/min, I_4 , reprezentand valoarea medie a saltului dintre doua extreme locale succesive pe o lungime de referinta a semnalului filtrat, pentru n de pana la 1000 rot/min si I_5 reprezentand numarul de extreme locale pe o lungime de referinta a semnalului filtrat, pentru n peste 1000 rot/min.

3. Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, traectoria sculei, programata prin frazele de comanda ale programului-piesa si parcursa cu ajutorul unuia dintre interpolatoarele sistemului de comanda numerica, este divizata intr-un numar de secente, de exemplu o secventa corespunzand unei rotatii a piesei, pentru fiecare secenta fiind specificate turatia arborelui principal si timpul alocat pentru realizarea sa.

4. Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, algoritmul de ajustare a vitezei de aschieri se bazeaza pe modificarea in trepte a turatiei piesei, prin aplicarea la valoarea curenta a acesteia a unui coeficient care poate avea patru valori (λ_1 si λ_2 – subunitare, $\lambda_1 < \lambda_2$, respectiv λ_3 si λ_4 – supraunitare, $\lambda_3 > \lambda_4$), dupa cum urmeaza: *i)* la depasirea de catre indicatorul I a limitei maxime ($I > I_M$), se aplica coeficientul λ_1 , daca valoarea anterioara a lui I se aflase in intervalul (I_m, I_M) , sau valoarea λ_2 , in celelalte cazuri posibile; *ii)* pentru o valoare a indicatorului sub limita minima ($I < I_m$), se aplica coeficientul λ_3 , daca valoarea anterioara a lui I se aflase in intervalul (I_m, I_M) , sau valoarea λ_4 , in celelalte cazuri posibile.

5. Sistem intelligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, valorile limita I_m si I_M , care definesc vecinatatea limitei de stabilitate, se pot modifica off-line, fie prin invatare nesupervizata, utilizand o baza de date inregistrate pe parcursul functionarii anterioare a sistemului, fie prin interventia operatorului uman care deserveste masina-unealta.



- Figuri -**Figura 1****Figura 2**

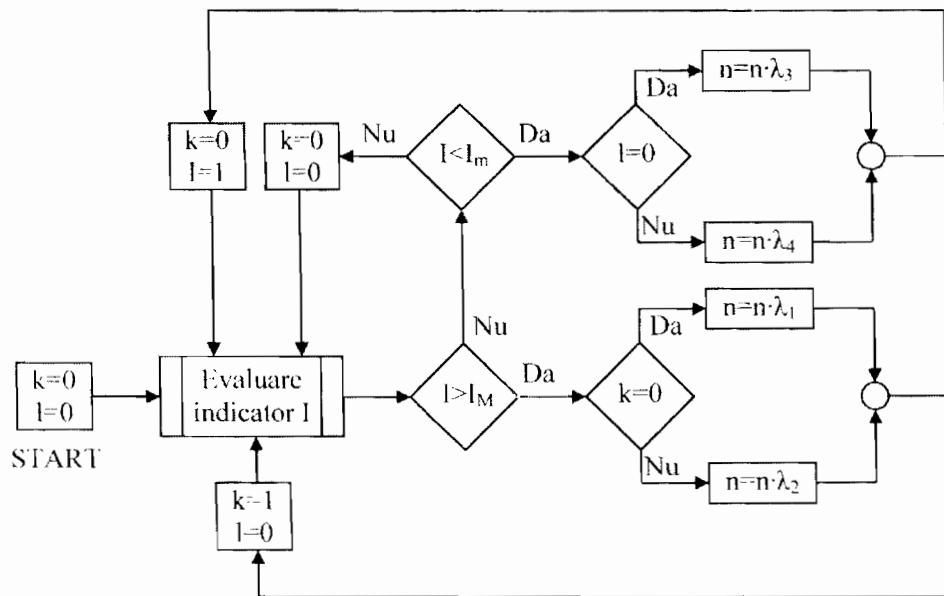


Figura 3

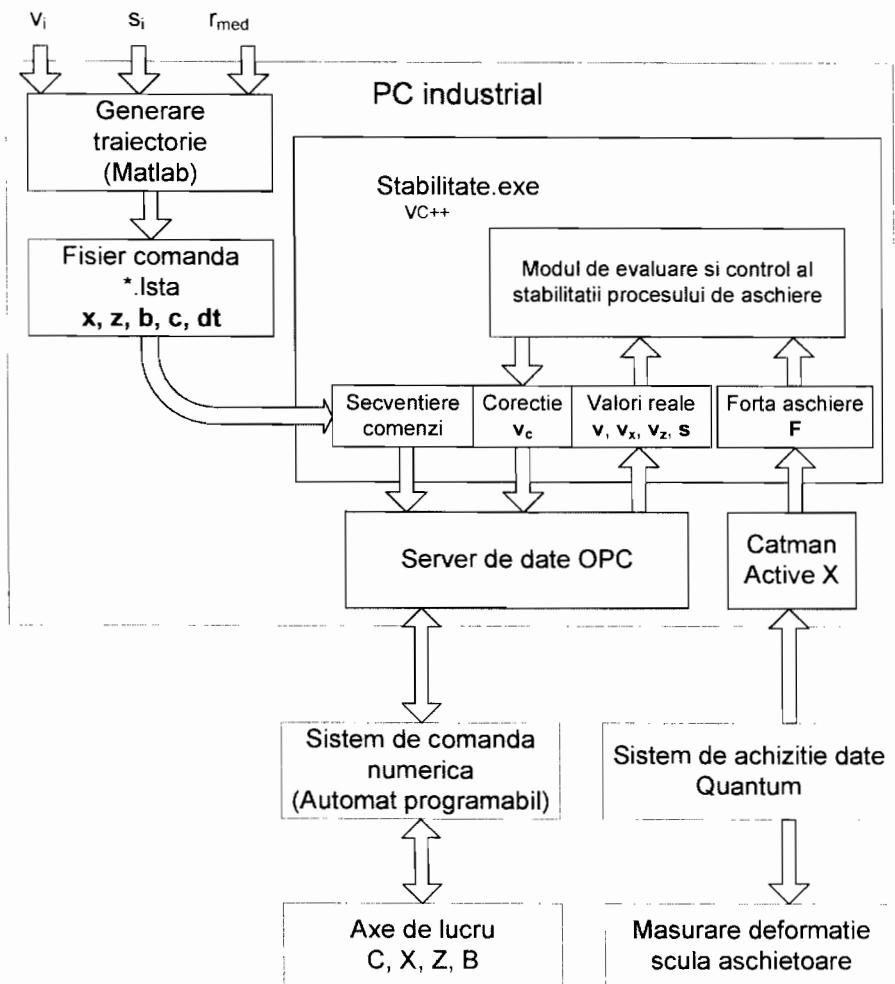


Figura 4



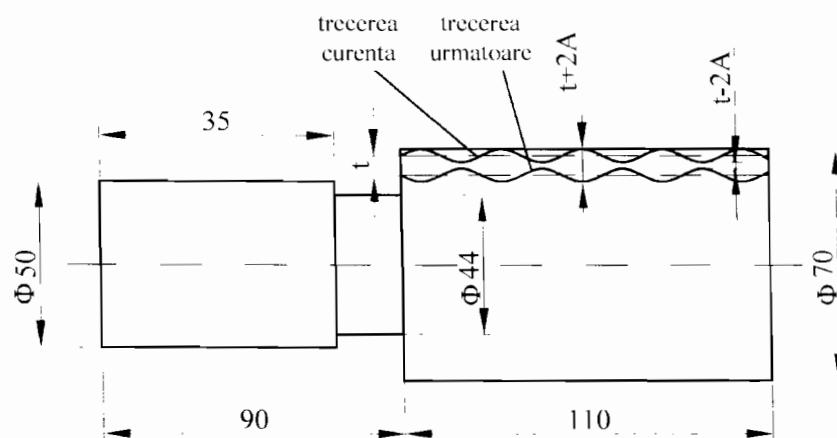
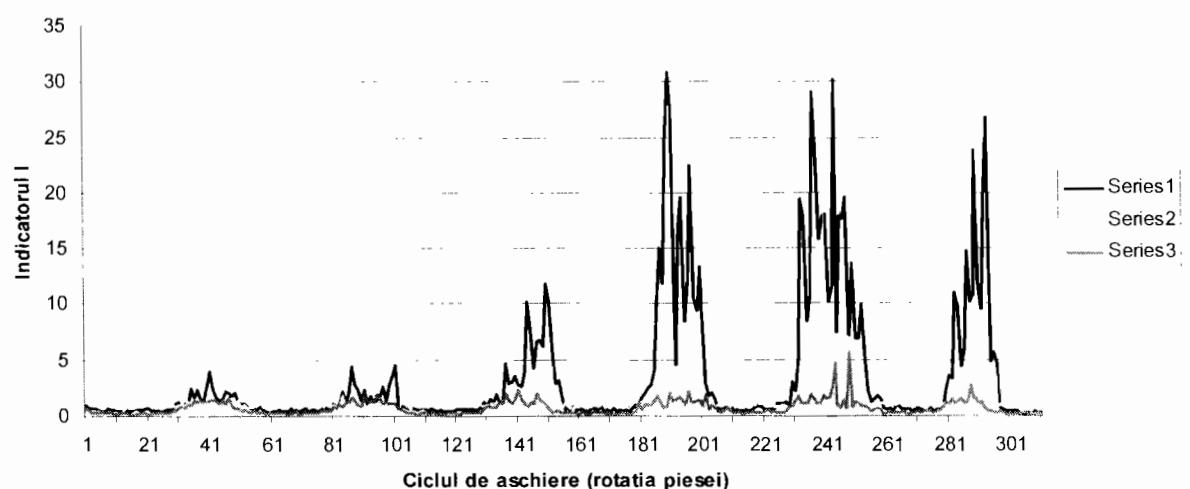
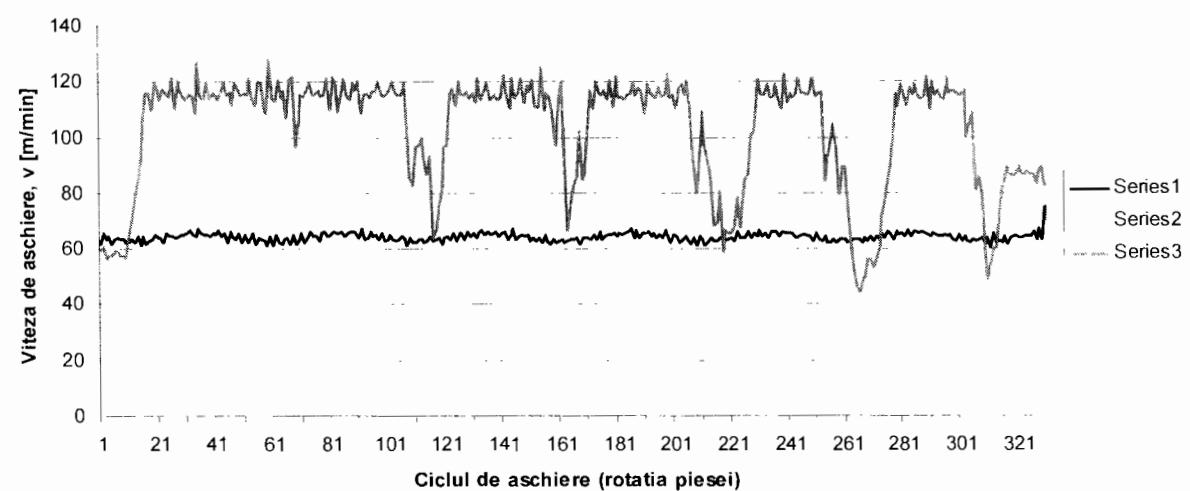


Figura 5



(a)



(b)

Figura 6

