



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(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 "DUNĂREA DE JOS"
DIN GALAȚI, STR. DOMNEASCĂ NR. 47,
GALAȚI, GL, RO

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

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

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

(54) SISTEM INTELIGENT PENTRU CONTROLUL STABILITĂȚII PROCESELOR DE STRUNJIRE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem inteligent 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 invenției, în scopul de a controla poziția punctului curent de funcționare a unei mașini-unelte în raport cu limita domeniului de stabilitate dinamică, monitorizează continuu, pe tot parcursul unui proces de așchiere, semnalul furnizat de o marcă tensometrică plasată pe una dintre piesele componente ale mașinii-unelte, astfel aleasă încât variația în timp a semnalului să fie proporțională cu variația în timp a forței de așchiere, 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 acestea, modifică viteza de așchiere și avansul, potrivit unui algoritm, până când valoarea indicatorului (I) revine în acest domeniu.

Revendicări: 5

Figuri: 6

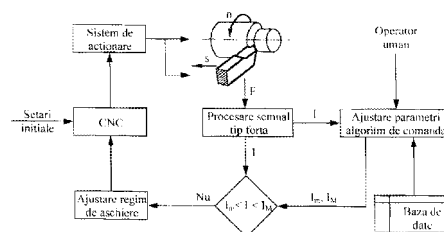


Fig. 2



- Descrierea invenției -

Invenția se referă la un sistem inteligent pentru controlul automat, on-line, al stabilității proceselor de strunjire, astfel încât productivitatea acestor procese să fie maximizată, în condițiile excluderii riscului de apariție a vibrațiilor autoexcitate, chiar dacă domeniul stabil se modifică în mod continuu în timp și spațiu. Sistemul, potrivit invenției, este destinat utilizării pe strungurile de tip actual, prin conectarea lui la comanda numerică existentă, fără modificarea structurii mecanice și de acționare.

Sunt cunoscute strategiile actuale de control al stabilității proceselor de aschiere, care se bazează, în principiu, pe două abordări:

- controlul off-line, pe baza predicției riscului de apariție a vibrațiilor autoexcitate;
- controlul on-line, pe baza detecției vibrațiilor, urmată de eliminarea acestora.

În primul caz, controlul se materializează prin programarea unui regim de lucru al mașinii, de o asemenea manieră încât punctul de funcționare al acesteia (caracterizat prin viteza de aschiere, avans, adâncime de aschiere) să se găsească, permanent, în domeniul stabil. Programarea se realizează pe baza diagramei de stabilitate a mașinii în cauză.

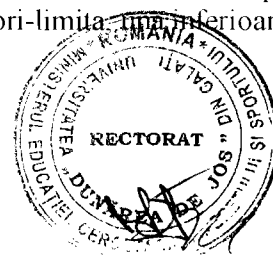
În al doilea caz, se utilizează senzori care să evalueze apariția vibrației autoexcitate relative între scula și piesă, situație în care se intervine apoi, fie prin modificarea (de fapt reducerea) parametrilor regimului de funcționare, fie prin aplicarea altor soluții tehnice – spre exemplu variația vitezei mișcării principale, utilizarea unor portscule oscilante sau a unor sisteme active de compensare.

Din modul în care sistemele actuale de control al stabilității sunt concepute și funcționează, decurg o serie de dezavantaje, dintre care mai importante sunt următoarele:

- perturbările, care apar inerent pe parcursul prelucrării, precum și modificările continue ale dinamicii mașinii în lungul traiectoriei urmate de scula așchietoare (cu alte cuvinte, modificarea în timp și spațiu a domeniului de stabilitate), nu pot fi luate în calcul în predicția riscului de apariție a vibrațiilor autoexcitate;
- modul în care intervin pentru modificarea punctului de funcționare, în scopul repositionării acestuia în raport cu limita de stabilitate, este unilateral, în sensul reducerii intensității procesului de aschiere și, implicit a productivității;
- momentul în care intervin este întârziat în raport de momentul apariției vibrațiilor, ceea ce nu permite evitarea consecințelor nedorite ale acestora;
- implementarea sistemelor pentru controlul activ al stabilității este dificilă, deoarece reclamă reproiectarea unor subsisteme componente ale mașinii și existența unor modele dinamice adecvate.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este ajustarea automată și permanentă a poziției punctului de funcționare al mașinii-unelte, astfel încât acesta să se găsească întotdeauna în acel punct al domeniului stabil, în care nivelul productivității este maxim, chiar dacă domeniul stabil se modifică în mod continuu în timp și spațiu. În general, la strunjire, punctul în care productivitatea este maximă se află în vecinătatea limitei de stabilitate.

Sistem inteligent pentru controlul stabilității proceselor de strunjire caracterizat **prin aceea** **ca:** în scopul de a controla poziția punctului curent de funcționare al mașinii-unelte în raport cu limita domeniului de stabilitate dinamică, se monitorizează continuu, pe tot parcursul procesului de aschiere, semnalul furnizat de o marcă tensometrică plasată pe una dintre piesele componente ale mașinii-unelte, astfel aleasă încât variația în timp a semnalului să fie proporțională cu variația în timp a forței de aschiere, după care, periodic, pe baza descrierii numerice a semnalului, este evaluat un indicator I , ce relevă, potrivit unei metrici, poziția punctului curent de funcționare în raport cu limita de stabilitate, urmată de compararea valorii obținute cu două valori-limită, una inferioară I_{inf} și



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 aschiere 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 lent 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 aceluia parametru de control al modelului logistic care este cel mai apropiat de variatia 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 transformatei 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 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 aschiere, 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 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 **precum si 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 deservește 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 capacitati a masinii;
- sunt evitate efectele nedorite ale instabilitatii, manifestata prin vibratii autoexcitate, sistemul de control al stabilitatii reactionand 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 aschiere 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 inteligent de control al stabilitatii si masina-unealta deservita de acesta;
- figura 2 prezinta schematic strategia pe baza careia functioneaza sistemul inteligent de control al stabilitatii;
- figura 3 prezinta algoritmul de comanda al sistemului inteligent de control al stabilitatii;



- figura 4 prezinta structura sistemului inteligent de control al stabilitatii, asa cum a fost implementat experimental;
- figura 5 prezinta forma si dimensiunile piesei utilizate pentru testarea experimentală a sistemului inteligent de control al stabilitatii, unde t reprezinta avansul radial al sculei intre doua treceri consecutive iar A – amplitudinea traiectoriei sinusoidale dupa care se deplaseaza cutitul;
- figura 6 prezinta a – variatia indicatorului I_3 si b – variatia vitezei de aschiere 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 aschiere (a doua trecere) iar a treia curba, "Series 3" – procesul stabilizat prin utilizarea sistemului inteligent pentru controlul stabilitatii, potrivit inventiei.

Sistemul inteligent 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 sinusoidala si 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 traiectoriile 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 relatia (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-limita 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 inteligent pentru controlul stabilitatii sunt evidentiata, in forma grafica in figura 6, unde se pot remarca o crestere substantiala a vitezei de aschiere fata de cazul stabilizarii obtinute prin reducerea intensitatii regimului de aschiere, 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 inteligent pentru controlul stabilitatii, potrivit inventiei, a fost definit indicatorul ICP , "Indicator de crestere a productivitatii", care are expresia



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

În relația (2) m reprezintă numărul de cicluri de aschiere (rotatii) considerate, v_{i_k} și s_{i_k} - valorile programate ale vitezei de aschiere, respectiv avansului, în cazul regimului stabilizat prin reducerea regimului de aschiere iar v_{a_k} și s_{a_k} - valorile vitezei de aschiere, respectiv avansului, ajustate de sistemul de control al stabilității, toate patru pentru același punct curent " k " de pe generatoare. Pentru cazul piesei-test descrise mai sus, $ICP = 129.8 \%$, ceea ce demonstrează importantul potențial de creștere a productivității, prin utilizarea sistemului inteligent pentru controlul stabilității.



- Revendicari -

1. Sistem inteligent 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 aschiere, semnalul furnizat de o marca tensometrica plasata pe una dintre piesele componente ale masinii-unealta, astfel aleasa incat variatia in timp a semnalului sa fie proportionala cu variatia in timp a fortei de aschiere, dupa care, periodic, pe baza descrierii numerice a semnalului, este evaluat un indicator I , ce releva, potrivit unei metrici, 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 acesteia, se modifica viteza de aschiere si avansul, potrivit unui algoritm, pana cand valoarea indicatorului revine in acest domeniu.
2. Sistem inteligent 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 transformatei 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 inteligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, traiectoria sculei, programata prin frazele de comanda ale programului-piesa si parcursa cu ajutorul unuiia 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.
4. Sistem inteligent pentru controlul stabilitatii proceselor de strunjire, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, algoritmul de ajustare a vitezei de aschiere 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 inteligent 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 deservește masina-unealta.



- Figuri -

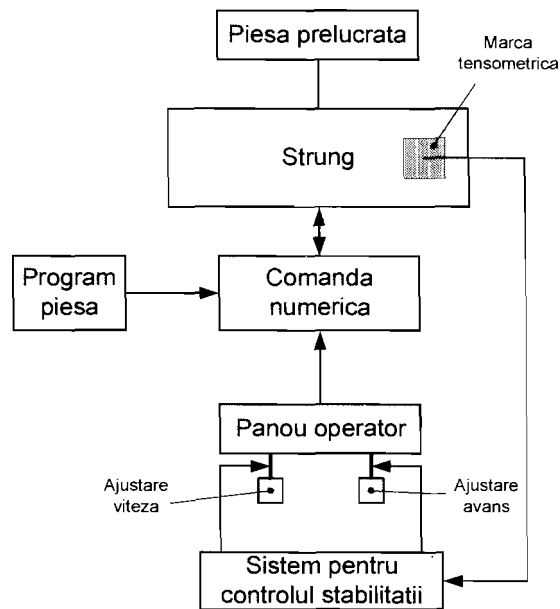


Figura 1

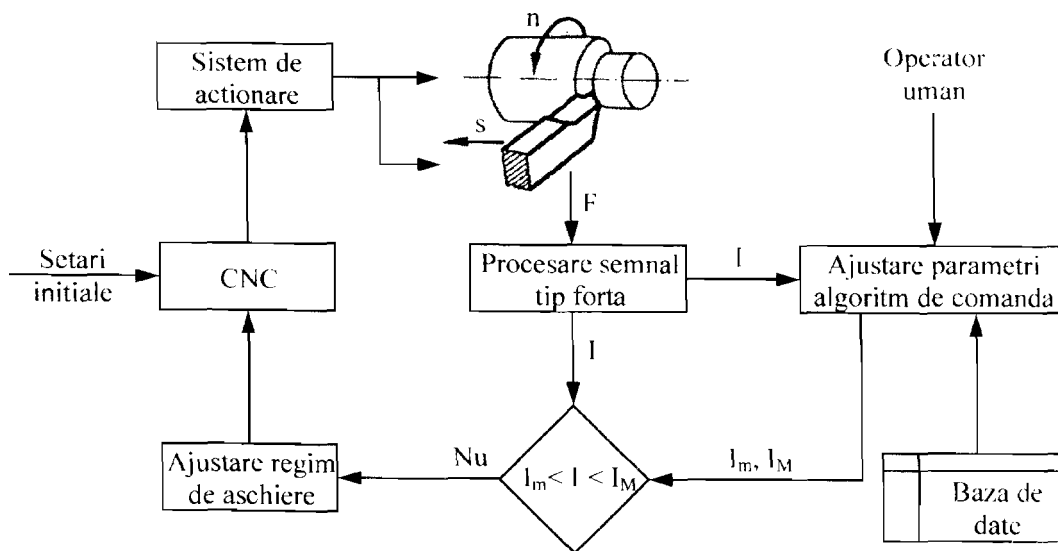


Figura 2



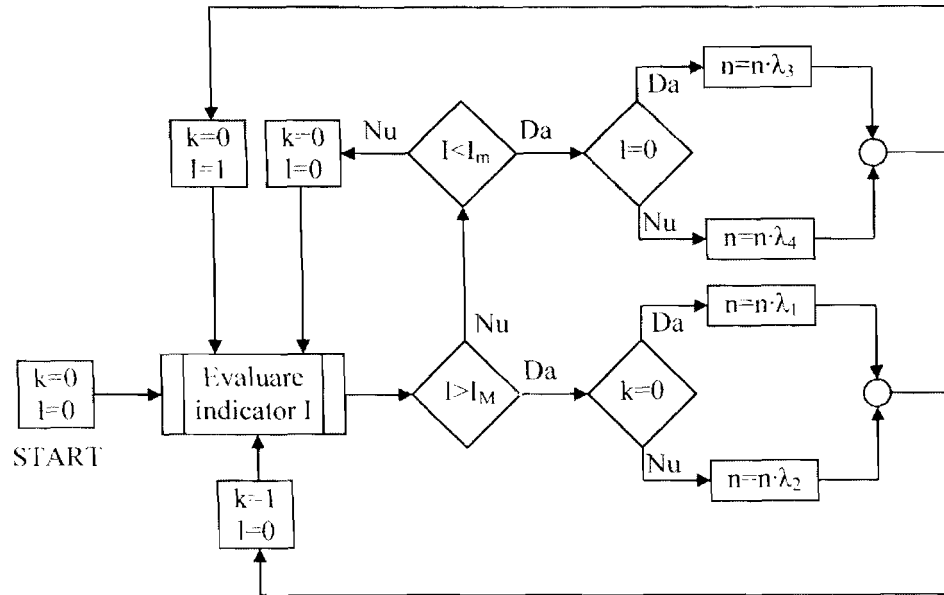


Figura 3

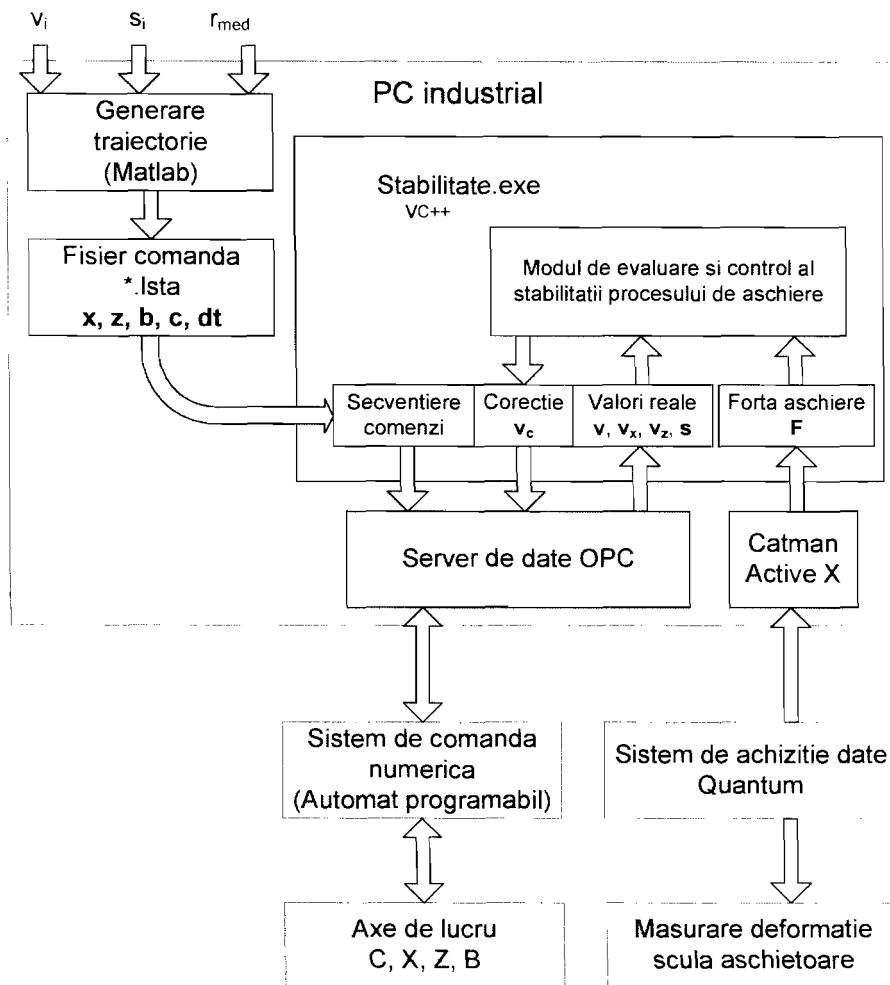


Figura 4



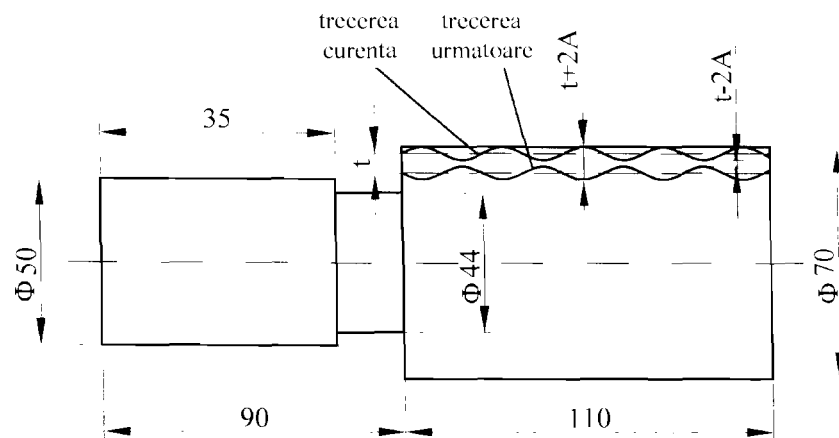
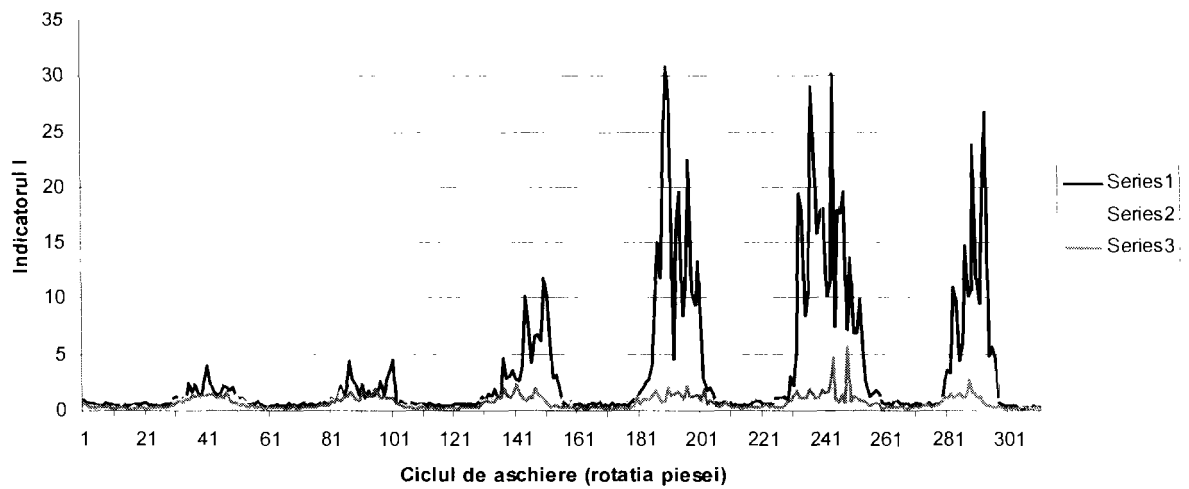
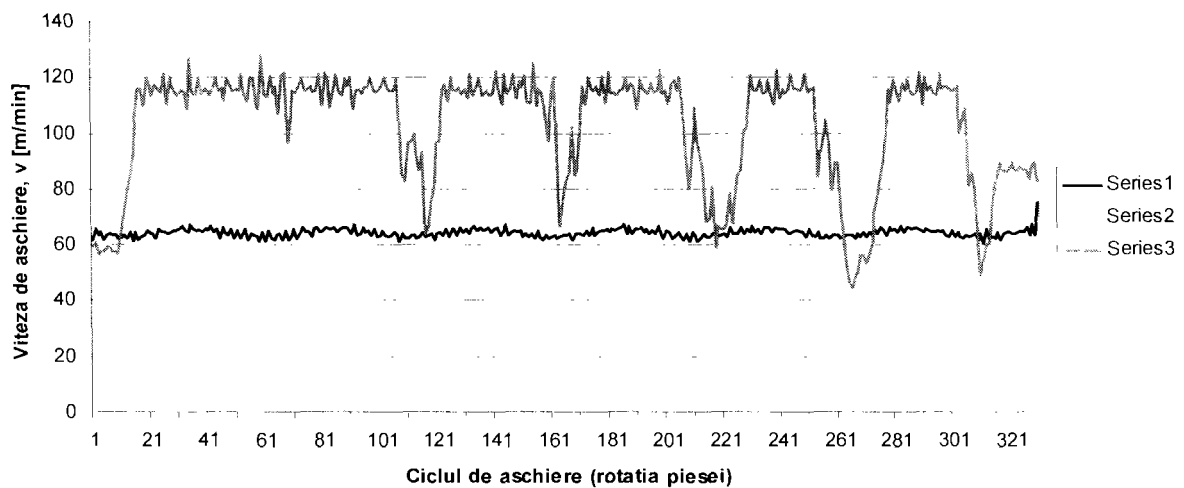


Figura 5



(a)



(b)

Figura 6

