



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00394**

(22) Data de depozit: **22.05.2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28.06.2013** BOPI nr. **6/2013**

(41) Data publicării cererii:
30.11.2010 BOPI nr. **11/2010**

(73) Titular:
• **GALFINBAND S.A.**,
STR.SMÂRDAN NR.2 BIS, GALAȚI, GL, RO

(72) Inventatori:
• **ROMAN NICU**, *STR.DEMOCRAȚIEI NR.36,
GALAȚI, GL, RO;*
• **BIVOL IOAN**, *STR.NAVELOR NR.2,
BL.R 1, AP.22, GALAȚI, GL, RO;*

• **IONIȚĂ BOGDAN**, *STR.IEZERULUI NR.51,
BRĂILA, BR, RO;*

• **LUCA LAURENȚIU**, *ALEEA MERCUR
NR.8, BL.C 1, SC.1, ET.2, AP.7, GALAȚI,
GL, RO;*

• **CEANGĂ EMIL**, *STR.ARAD NR.8,
BL.PS 14 C, AP.31, GALAȚI, GL, RO;*

• **CARAMAN SERGIU**,
*STR.ALEXANDRU CERNAT NR.2, BL.D 1 A,
SC.1, AP.18, GALAȚI, GL, RO*

(56) Documente din stadiul tehnicii:
DE 3821280 A1; KR 20020048485 (A)

(54) **PROCEDEU DE REGLARE A GROSIMII UNEI BENZI SUBȚIRI
LAMINATE LA RECE**



RO 125827 B1

1 Invenția se referă la un procedeu de reglare a grosimii unei benzi subțiri, laminată la
rece, de regulă, din oțel, utilizând sisteme avansate de compensare activă.

3 Se cunosc procedee de reglare a grosimii benzii (AGC - Automatic Gauge Control),
conform principiului conservării debitului masic, în cadrul cărora sunt considerate incertitudi-
5 nile privind structura heterogenă a materialului laminat, fenomenele legate de interacțiunea
material - cilindri de laminare în timpul curgerii plastice și fenomenul de deformare elastică
7 (cedaj) al cajei de laminare. Procedeele de reglare, utilizate în prezent, sunt sintetizate de
către: J. S. Choi, J. A. Rossiter, P. J. Fleming, în lucrarea "Looper and tension control in hot
9 rolling mills: A survey", *Journal of Process Control*, Volume 17, Issue 6, July 2007, pp.
509...521), unde sunt descrise sintetic principalele proceduri de control, abordate în ultimul
11 timp, plecând de la reglatoarele convenționale, la controlul predictiv, controlul bazat pe
observare, controlul optimal, structurile cu model intern, tehnicile de control adaptiv și robust,
13 controlul H_{inf} și până la tehnicile de inteligență artificială.

15 Alte surse sunt dedicate unor procedee de reglare specifice, de exemplu, de către:
H. Asada, A. Kitamura, S. Nishino, M. Konishi, în lucrarea "Adaptive and robust control
method with estimation of rolling characteristics for looper angle control at hot strip mill", *ISIJ*
17 *International*, Vol. 43 (No. 3), pp. 358...365, și de către G. Hearn, M. J. Grimble, în lucrarea
"Robust multivariable control for hot strip mills", *ISIJ International*, Vol. 40 (No. 10), pp.
19 995...1002, se utilizează metode de control adaptiv și robust, iar H. Imanari, Y. Morimatsu,
K. Sekiguchi, H. Ezure, R. Matuoka, A. Tokuda, H. Otobe, în lucrarea "Looper h-infinity
21 control for hot strip mill", *IEEE Transactions on industry applications*, 33(3), pp. 790...796,
se utilizează tehnici de control H_{inf} .

23 Principalul tip de instalație de laminare, abordată în lucrările menționate, este cel de tip
„tandem”, specific liniilor de mare capacitate. În acest caz, conducerea procesului se
25 bazează, într-o măsură hotărâtoare, pe controlul tensiunii în bandă laminată, cu ajutorul
buclatorului.

27 O categorie specială de procese de laminare o reprezintă cele destinate producerii
benzilor foarte subțiri. Instalațiile de laminare de acest tip sunt, în general, de capacitate mai
29 redușă și au o structură de tip „cuarto”, diferită de cea de tip „tandem”. În acest caz, procesul
este format dintr-o succesiune de „treceți”, prin reducerea succesivă a distanței dintre cilindri
31 și prin schimbarea sensului de mișcare a benzii laminate, însă problematica AGC rămâne
aceeași. Comanda dată de sistemul pentru reglarea grosimii se aplică la un servosistem
33 hidraulic, pentru modificarea distanței dintre cilindrii de laminare, la comanda „în poziție” a
cilindrilor sau prin comandă aplicată motorului de antrenare a rulorului, respectiv, derulorului,
35 la „comanda tracțiunii” în bandă.

37 Toate aceste tehnici au un dezavantaj major: neglijarea distorsiunilor produse de
dinamica neideală a elementelor de execuție. Este vorba de faptul că dinamica servosis-
temului hidraulic de poziționare a cilindrilor de laminare, respectiv, a sistemelor de acționare
39 pentru rulo-derulo, determină o nesincronizare a comenzii regulatorului de grosime, în
raport cu valoarea reală a grosimii benzii între cilindrii laminorului. Distorsiunile produse de
41 dinamica neideală a servosistemului hidraulic nu pot fi eliminate printr-o simplă calibrare,
deoarece acestea sunt variabile în timp. Caracterul variant al servosistemului hidraulic este
43 urmare a faptului că valorile corecțiilor de grosime presupun deplasări ale cilindrilor pe
distanțe foarte mici (de ordinul micrometrilor), pentru care efectul forțelor de frecare este
45 major, afectând proprietățile dinamice ale elementului de execuție. În aceste condiții,
răspunsul dinamic al elementului de execuție nu este repetitiv.

RO 125827 B1

Problema tehnică, obiectivă, pe care o rezolvă invenția, constă în compensarea abaterilor dinamice ale elementelor de execuție ale instalației de laminare la rece a unei benzi metalice, pentru menținerea grosimii benzii în parametrii prescriși, cu un sistem adaptiv care să identifice și să corecteze, în timp real, abaterile dinamice ale sistemului de acționare mecanică asupra benzii, în principal, ale sistemului hidraulic al cajei de laminare.

Procedeul conform invenției, de reglare a grosimii unei benzi subțiri, laminată la rece, rezolvă această problemă tehnică prin aceea că, în scopul compensării dinamicii neideale a elementului de execuție, utilizează, pentru fazarea comenzii de sincronizare a mărimii de execuție în raport cu perturbațiile de grosime, o ajustare de fază cu caracter adaptiv, simultan cu ajustarea clasică a amplitudinii comenzii.

Procedeul este realizat prin etapele de:

- determinare a valorii abaterilor de grosime a benzii prin măsurarea grosimii benzii înainte de caja de laminare și, după aceasta, a valorii abaterilor forței F de laminare și a vitezei de laminare a benzii, cu niște traductoare adecvate;

- reglarea forței de laminare prin intermediul unui compensator dinamic adaptiv, asociat elementului de execuție hidraulic de acționare a cilindrului de laminare superior al cajei de laminare, și al unui compensator dinamic, asociat elementului de execuție electric de tracțiune și înfășurare a benzii, realizat conform principiului modelului invers și acționat pentru reglarea grosimii benzii simultan cu compensatorul asociat elementului de execuție hidraulic, în corelație cu acesta, stabilită printr-un coeficient de ponderare dependent de grosimea benzii, pe baza semnalelor informaționale primite de la traductorii de măsurare a grosimii și a vitezei benzii, prelucrate electronic.

Compensatorul respectiv este realizat conform principiului modelului invers, astfel încât, pe baza semnalelor informaționale primite de la traductorii de măsurare a grosimii și vitezei benzii, prelucrate electronic, pentru fazarea comenzii în raport cu profilul grosimii benzii între cilindrii de lucru, și apoi amplificate, să se elimine defazajele de reglare a grosimii dintre mărirea de execuție și perturbația de grosime ce trebuie să fie atenuată și să se poată impune cu ușurință lărgimea domeniului de frecvență în care se face compensarea.

Adaptabilitatea compensatorului asociat elementului de execuție este realizată astfel încât parametrii variabili, în timp, ai servosistemului de acționare a elementului de execuție sunt deduși prin identificare recursivă, în timp real, a stării elementului de execuție, după care, pe această bază, se generează structura variabilă a modelului invers.

Avantajele procedeeului conform invenției, comparativ cu soluțiile cunoscute în prezent, sunt:

- fazarea comenzii se face și prin compensarea dinamicii elementelor de execuție pentru deformarea de laminare a benzii și pentru tracțiunea benzii, obținându-se o ameliorare sensibilă a performanței sistemului, adică o reducere sensibilă a raportului dintre dispersiile abaterilor de grosime la ieșirea din cajă și la intrarea în cajă;

- compensarea dinamică are caracter adaptiv, fiind bazată pe identificarea în timp real a dinamicii servosistemului;

- lărgimea de bandă în care se face compensarea dinamică se stabilește prin ajustarea unui parametru, astfel încât să fie respectate posibilitățile de implementare efectivă a comenzii anticipative, impuse de limitările de tip saturație și de nivelul de zgomot.

Invenția este prezentată pe larg, în continuare, în legătură și cu fig. 1...3, care reprezintă:

- fig. 1, schema de reglare a grosimii benzilor subțiri, laminate la rece pe un laminor cuarto-reversibil, conform procedeeului;

RO 125827 B1

- 1 - fig. 2a și 2b, schema de principiu a compensatorului dinamic pentru servosistemul
hidraulic;
- 3 - fig. 3a, 3b și 3c, evoluția unor mărimi fizice din sistem, evidențiind eficiența
procedeului revendicat.
- 5 Conform invenției, procedeul de reglare a grosimii unei benzi subțiri laminată la rece
este realizat prin etapele de:
- 7 - determinare a valorii abaterilor de grosime a benzii prin măsurarea grosimii benzii
înainte de caja de laminare și după aceasta, a valorii abaterilor forței F de laminare și a
9 vitezei de laminare a benzii, cu niște traductoare adecvate;
- reglarea forței de laminare prin intermediul unui compensator dinamic adaptiv,
11 asociat elementului de execuție hidraulic de acționare a cilindrului de laminare superior al
cajei de laminare, și al unui compensator dinamic, asociat elementului de execuție electric
13 de tracțiune și înfășurare a benzii, realizat conform principiului modelului invers și acționat
pentru reglarea grosimii benzii simultan cu compensatorul asociat elementului de execuție
15 hidraulic, în corelație cu acesta, stabilită printr-un coeficient de ponderare, dependent de
grosimea benzii, pe baza semnalelor informaționale primite de la traductorii de măsurare a
17 grosimii și a vitezei benzii, prelucrate electronic.
- Procedeul stabilește următoarele soluții tehnice de realizare a unui sistem cu
19 predicție și adaptiv de reglare a grosimii benzilor subțiri:
- comanda sistemelor de execuție se face printr-un algoritm de compensare dinamică
21 a constantelor de timp, în scopul eliminării defazajului dintre mărimea de execuție și
perturbația de grosime care trebuie atenuată;
- 23 - compensatorul dinamic, asociat elementului de execuție, se bazează pe o
procedură de identificare în timp real a parametrilor elementului de execuție;
- 25 - compensatorul este un sistem dinamic, construit pornind de la modelul identificat
în timp real al elementului de execuție. În consecință, compensatorul dinamic se adaptează
27 proprietăților elementului de execuție variant;
- compensatorul elementului de execuție este realizat conform principiului modelului
29 invers, adică se utilizează un sistem cauzal sau la limită cauzal, care aproximează sistemul
invers al elementului de execuție;
- 31 - compensarea dinamicii elementului de execuție se realizează astfel încât să se
poată impune cu ușurință lărgimea domeniului de frecvență în care se face această
33 compensare. Cu cât compensarea se face într-un domeniu de frecvență mai larg, defazajul
dintre mărimea de execuție și perturbația de grosime este mai mic, însă amplitudinea
35 comenzii aplicate la intrarea elementului de execuție este mai mare și nivelul zgomotului la
ieșirea regulatorului este mai mare. Valoarea parametrului prin care se stabilește lărgimea
37 domeniului de frecvență în care se face această compensare, conform invenției propuse,
este limitată de posibilitățile de implementare efectivă a comenzii anticipative, impusă de
39 limitările de tip saturație și de nivelul de zgomot.
- În toate procedeele de reglare a grosimii benzilor, se adoptă drept criteriu de
41 performanță raportul dintre dispersiile abaterilor de grosime la ieșirea din cază și la intrarea
în cază, iar minimizarea acestui criteriu se face prin ajustarea amplificării în bucla de reglare,
43 pentru compensarea incertitudinilor induse de modulul de plasticitate al materialului m și,
eventual, de modulul de elasticitate M al cajei de laminare.
- 45 În toate procedeele cunoscute, se admite implicit ipoteza că fazarea comenzii la
profilul de grosime al benzii în dreptul cajei se realizează printr-un sistem de întârziere, de
47 tipul unui registru de deplasare, în care timpul de întârziere a semnalului provenind de la
traductorul de grosime din amonte este determinat de distanța dintre punctul de măsurare

RO 125827 B1

și focarul de deformare dintre cilindrii cajei. În acest context, este suficient să se realizeze doar o comandă adaptivă, privind amplitudinea comenzii, în vederea minimizării criteriului de performanță. În realitate, fazarea comenzii depinde nu numai de timpul de transport, ci și de dinamica elementelor de execuție, iar dinamica servosistemului hidraulic de poziționare a cilindrilor este variată.

Este prezentat, în continuare, un exemplu de aplicare a procedurii conform invenției.

Fig. 1 prezintă schema de reglare a grosimii benzilor subțiri, laminate la rece pe un laminor cuarto-reversibil, obținută prin aplicarea procedurii revendicată. Sistemul se compune din o cajă cu cilindrii de laminare - de lucru **1** și cilindrii de sprijin **2**, un rulo **3** de bandă, derulorul **4**, un motor **5** de antrenare a rulo **3**, un servosistem hidraulic **6** de poziționare a cilindrilor de laminare (element de execuție pentru comanda regulatorului de grosime) - având funcția de transfer $H_{SH}(s)$, un element de execuție electric **7**, tip convertor static, pentru acționarea rulo **3** și, respectiv, a derulorului **4**, având funcția de transfer $H_T(s)$, traductoare **8** pentru măsurarea grosimii/abaterii de grosime ($-\Delta H$ și, respectiv, Δh) a benzii laminate, la intrarea și la ieșirea din caja de laminare **1**, niște traductoare **9** pentru măsurarea vitezei benzii laminate Δv_1 , la intrarea și, respectiv, Δv_2 , la ieșirea din caja de laminare **1**, un buffer **10**, pentru fazarea comenzii în raport cu profilul grosimii între cilindrii de lucru, un bloc de amplificare apriorică **11** pe bucla de comandă a servosistemului hidraulic, dedusă în raport cu modulul de plasticitate estimat al materialului m și în raport cu modulul de elasticitate estimat al cajei M , un bloc cu amplificare ajustabilă G_1 , **12**, care satisface condiția: $m_k/M_k^* = m_k/M_k$, un compensator dinamic **13**, cu funcția de transfer $H_{SH}^{-1}(s)$, care aproximează inversa funcției de transfer $H_{SH}(s)$ a servosistemului hidraulic, un bloc **14** pentru sensibilitatea S_T , a mărimii de comandă în raport cu tracțiunea T , în bandă în bucla de comandă a tracțiunii în bandă, un bloc cu amplificare ajustabilă G_2 **15**, care satisface condiția:

$$m_k / (M_k + m_k) * S_T * G_2 = m_k / (M_k + m_k) * S_T, \quad 27$$

unde m_k , M_k și S_T sunt mărimi reale, nemăsurabile (nu se măsoară în timpul laminării), precum și un compensator dinamic **16**, având funcția de transfer $H_T^{-1}(s)$, care aproximează inversa funcției de transfer $H_T(s)$ a acționării rulo **3** și, respectiv, a derulorului **4**, pentru ajustarea tracțiunii. Printr-un coeficient de ponderare α , se stabilește ponderea comenzii sistemului hidraulic **6** de reglare a distanței dintre cilindrii de laminare **1** în raport cu sistemul electric de reglare a tensiunii în bandă. Pentru grosimi ale benzii mai mari de 0,3 mm, α tinde către 1, respectiv, pentru grosimi foarte mici (sub 0,3 mm), α tinde către 0.

Un bloc de optimizare **17** determină amplificările G_1 și, respectiv, G_2 în sensul minimizării dispersiei abaterilor de grosime la ieșire, în raport cu abaterile de grosime de la intrarea cajei.

În fig. 2a și 2b, sunt prezentate două structuri ale compensatorului dinamic. Aceste structuri au fost testate prin utilizarea unor date experimentale prelevate din procesul de laminare a benzilor subțiri. Fig. 2a prezintă schema compensatorului dinamic și modul de conectare a acestuia la elementul de execuție (servosistem hidraulic sau de acționare pentru ajustarea tracțiunii). Funcția de transfer $H_{EE}(s)$ din componența informațională a compensatorului dinamic este identificată recursiv, la servosistemul hidraulic, și este identificată o singură dată, la acționarea pentru ajustarea tracțiunii.

RO 125827 B1

1 $H_{PI}(s)$ este funcția de transfer a unui regulator PI. Parametrul k se utilizează pentru
stabilirea benzii de frecvență în care se face compensarea dinamicii elementului de execuție.

3 În fig. 2b, se introduce o nouă buclă de reglare cu $H_{SHO}^{-1}(s)$, menținându-se bucla
5 clasică uzuală cu H_{SHO} . Noua buclă de reglare se utilizează numai pentru semnalele mici,
specifice regimului de reglare a grosimii, forțând răspunsul dinamic, pe seama rezervei de
7 putere a elementului de execuție. Pentru semnale de amplitudine mare (specifice manevrelor
de pregătire a laminării propriu zise), se utilizează bucla clasică de reglare.

9 Pentru a ilustra capacitatea compensatorului dinamic **13**, de a urmări mărimea de
comandă (ieșirea blocului **12**), s-a prezentat, în fig. 3a, evoluția comenzii menționate și a
mărimii efective de execuție (vezi fig. 1). În fig. 3b, sunt reprezentate următoarele abateri de
11 grosime: - evoluția variației de grosime d_{h1} , produsă ca urmare a laminării fără reglaj, a
abaterii de grosime d_{h2} , produsă ca urmare a acțiunii de comandă prin deplasarea cilindrilor
13 **1** și a variației finale de grosime: $dh=dh_1-dh_2$.

15 Ca urmare a faptului că fazarea variabilei dh_2 cu df_1 este foarte bună, datorită acțiunii
compensatorului dinamic **13**, variația finală de grosime a benzii este foarte mică.

17 În fig. 3c, s-au reprezentat semnalele corespunzătoare fig. 3b, în cazul când nu s-ar
utiliza compensatorul dinamic. Datorită sincronizării slabe a comenzii în raport cu perturbația,
19 abaterile de grosime obținute sunt relativ mari.

RO 125827 B1

Revendicare

	1
Procedeu de reglare a grosimii unei benzi subțiri, laminată la rece, printr-un sistem având o cajă de laminare cu cilindri de lucru (1), un element de execuție hidraulic (6), tip servosistem hidraulic, pentru cilindrii cajei, un rulo (3) de bandă având un motor (5) acționat printr-un element de execuție electric (7) și un derulo (4) realizat prin etapele de:	3
- determinare a valorii abaterilor de grosime a benzii prin măsurarea grosimii benzii înainte de caja de laminare și după aceasta, a valorii abaterilor forței F de laminare și a vitezei de laminare a benzii, cu niște traductoare adecvate;	5
- reglarea forței de laminare prin intermediul unui compensator dinamic adaptiv (13), asociat elementului de execuție hidraulic (6) de acționare a cilindrului de laminare (1) superior al cajei de laminare, compensator (13) realizat conform principiului modelului invers, astfel încât, pe baza semnalelor informaționale primite de la traductorii de măsurare a grosimii și vitezei benzii, prelucrate electronic, pentru fazarea comenzii în raport cu profilul grosimii benzii între cilindrii de lucru și apoi amplificate, să se elimine defazajele de reglare a grosimii dintre mărimea de execuție și perturbația de grosime ce trebuie să fie atenuată și să se poată impune cu ușurință lărgimea domeniului de frecvență în care se face compensarea, adaptabilitatea compensatorului (13) asociat elementului de execuție hidraulic (6) de acționare a cilindrului de laminare (1) superior fiind realizată, astfel încât parametrii variabili în timp ai servosistemului hidraulic de acționare menționat sunt deduși prin identificare recursivă, în timp real, a stării elementului de execuție hidraulic (6), după care, pe această bază, se generează structura variabilă a modelului invers, caracterizat prin aceea că include și utilizarea unui compensator dinamic (16), asociat elementului de execuție electric (7) de acționare a motorului electric (5) de tracțiune și înfășurare a benzii, realizat conform principiului modelului invers și acționat, pentru reglarea grosimii benzii, simultan cu compensatorul (13) asociat elementului de execuție hidraulic, în corelație cu acesta, stabilită printr-un coeficient de ponderare dependent de grosimea benzii, pe baza semnalelor informaționale primite de la traductorii de măsurare a grosimii și a vitezei benzii, prelucrate electronic.	7
	9
	11
	13
	15
	17
	19
	21
	23
	25
	27
	29

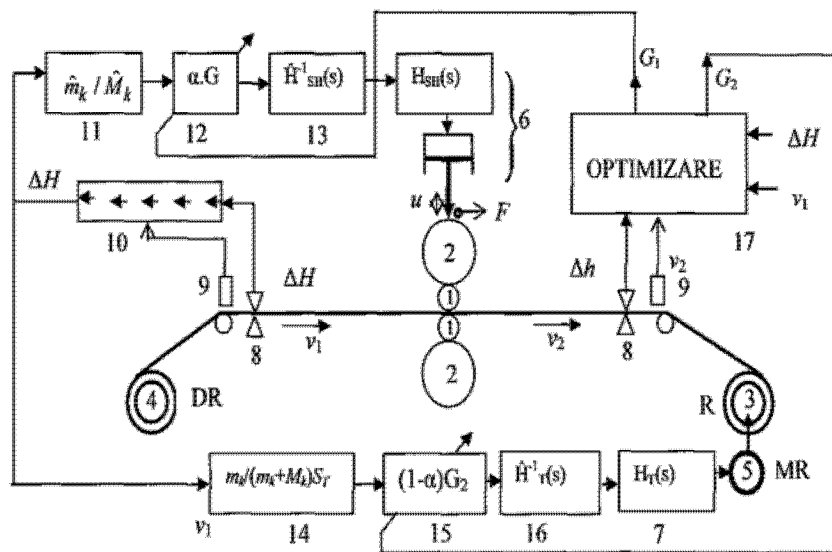


Fig. 1

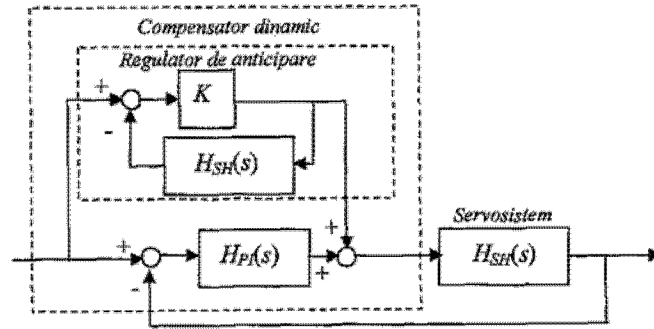


Fig. 2a

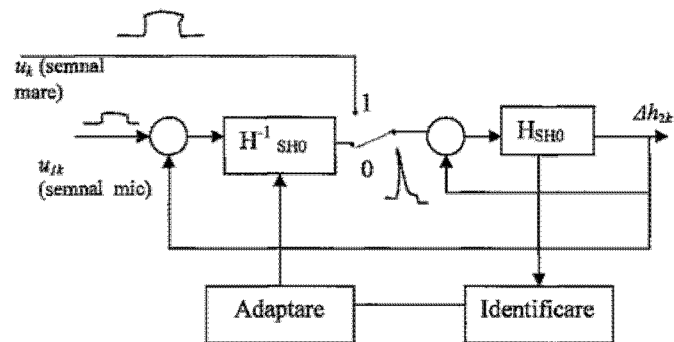


Fig. 2b

(51) Int.Cl.

B21B 37/16 (2006.01);

B21B 37/52 (2006.01)

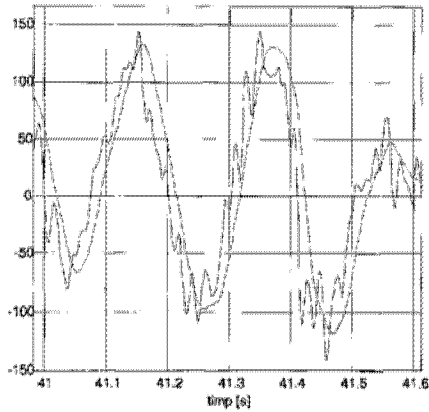


Fig. 3a

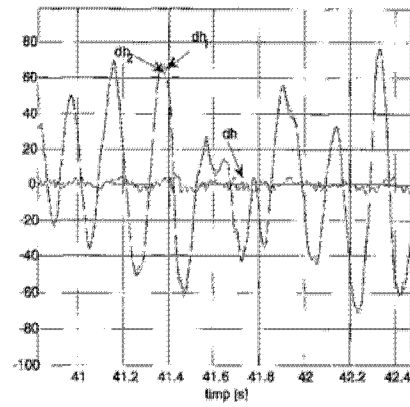


Fig. 3b

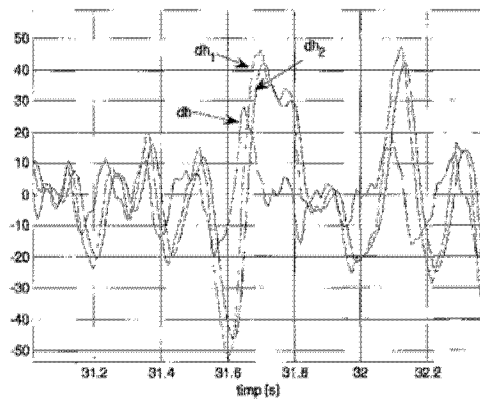


Fig. 3c



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 543/2013