

THE STATISTICAL ANALYSIS OF THE VIBRATIONS PRODUCTS OF THE ROTARY KNITTING MACHINES

Adriana BALTA¹, Horia BALTA²

„POLITEHNICA” UNIVERSITY OF TIMIȘOARA,

¹Mechanical Engineering Faculty, Bd. Mihai Viteazul, Nr.1, 300222,

balta_adriana@yahoo.com

²Electronics and Telecommunications Faculty, Bd. Vasile Pârvan, Nr.2, 300223,

horia.balta@etc.utt.ro

Keywords: rotate knitting machine, mechanical-acoustic vibrations, statistical analysis;

Abstract: This paper presents a study about the mechanical-acoustic vibrations produced by the rotary knitting machines in their normal functioning. The data referring to the acceleration of vibrations acquisitioned with a piezoelectric accelerometer are processed with the aim of determining the density probability and respectively, of the repartition function of the displacement signal. These statistics be useful in normal work regime definition of the machines, mainly in the adequate selection of the work speed of the knitting machine.

I. INTRODUCERE

Vibrațiile produse de mașini și utilaje în funcționarea lor reprezintă semnale (funcții de timp) mecanice (tensiuni sau forțe elastice) și/sau acustice (unde sonore) ce acoperă o gamă variată de frecvențe, forme și amplitudini. Dacă, cu precădere, spectrul vibrațiilor este situat sub spectrul audio (16-20000Hz) atunci vibrațiile sunt numite mecanice. Dacă în schimb, spectrul vibrațiilor conține componente semnificative (energetic) cu frecvența peste limita de 16Hz, atunci le sunt atribuite denumirea de acustice sau mecano-acustice [1].

Datorită complexității operațiilor pe care le efectuează mașinile de tricotat, precum și vitezelor mari cu care lucrează acele, în special în cazul mașinilor circulare, vibrațiile produse se situează, ca bandă de frecvență, mult peste pragul audio inferior (16Hz). În lucrarea de față se prezintă un studiu asupra acestor vibrații mecano-acustice măsurate cu scopul de a le determina statistica anvergurii [2]. În paragraful II s-a făcut o scurtă prezentare a sistemului de măsurare utilizat [3]. Din cauza faptului că traductoarele utilizate pentru măsurarea vibrațiilor sunt cu precădere accelerometre piezoelectrice determinarea semnalului deplasare, asupra căruia s-a efectuat studiul statistic, trebuie în prealabil reconstruit prin calcul pe baza semnalului de accelerație măsurat [4]. Acest calcul este prezentat în paragraful III. În paragraful IV se prezintă modul de construcție al funcțiilor de densitate de probabilitate și de repartiție a probabilității semnalului deplasare calculat în paragraful III. Aceste statistici au stat la baza calculului probabilității ca vibrația (mecano-acustică), dată prin semnalul deplasare, să depășească anumite cote considerate critice pentru funcționarea mașinii. În paragraful V sunt prezentate câteva concluzii.

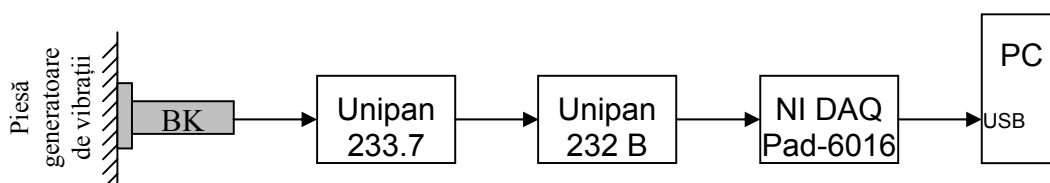


Fig. 1 Sistemul de achiziție al vibrațiilor

II. SISTEMUL DE ACHIZIȚIE. MĂSURAREA VIBRAȚIILOR

În Fig.1 se prezintă schema bloc a sistemului de achiziții. Traductorul utilizat este un accelerometru de tip piezoelectric „Brüel&Kjær 4391”, având o bandă de frecvență: $B = (5\text{Hz}-10\text{KHz})$, și o sensibilitate de $1\text{pC}/(\text{m/s}^2)$, la o capacitate proprie, $C = 1100\text{pF}$. Poziționarea traductorului pe obiectul generator de vibrații se face cu ajutorul unui magnet. Semnalul generat de traductor e amplificat de preamplificatorul „Unipan 233-7” și de nanovoltmetrul „Unipan 232-B”, cu rol de amplificator. Semnalul amplificat a fost preluat de către un PC prin intermediul plăcii de achiziție de tipul NI DAQ-6016 [5]. Rata de eșantionare utilizată a fost de 10000 eșantioane/sec. Preamplificatorul „Unipan 233-7” are o impedanță de intrare constituită dintr-o rezistență de $100\text{M}\Omega$ și o capacitate de $1,5\text{pF}$ iar amplificarea este de 20dB , egală, de asemenea, cu a nanovoltmetrului cu rol de amplificator.

III. DETERMINAREA SEMNALELOR VITEZĂ ȘI DEPLASARE

Depărtarea instantanee, măsurată în milimetri sau micrometri, a punctului oscilant față de originea axei constituie semnalul deplasare, notat $d(t)$. Viteza și accelerația punctului ce vibrează reprezintă derivatele de ordin unu respectiv doi ale lui $d(t)$. Traductorii utilizați în măsurarea vibrațiilor furnizează informație directă asupra semnalului accelerație, $a(t)$. Determinarea semnalului deplasare presupune atunci o dublă integrare:

$$v(t) = \int_{-\infty}^t a(\tau) \cdot d\tau, \quad d(t) = \int_{-\infty}^t v(\tau) \cdot d\tau. \quad (1)$$

O alternativă, folosită în această lucrare, pentru determinarea semnalului deplasare $d(t)$ pornind de la semnalul accelerație $a(t)$ o reprezintă utilizarea analizei spectrale. Astfel, dacă notăm cu $D(\omega)$, $V(\omega)$ și $A(\omega)$ transformatele Fourier ale celor trei semnale, rezultă relațiile:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} \cdot d\omega \quad (2)$$

$$D(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega} \cdot V(\omega) = -\frac{1}{\omega^2} \cdot A(\omega) \quad (3)$$

$$d(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} D(\omega) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t} \cdot d\omega \quad (4)$$

Sistemul de achiziție numeric, însă, nu furnizează semnalul $a(t)$, ci o versiune eșantionată a sa:

$$a_d(t) = \sum_{k=0}^{N-1} T_e \cdot a(n \cdot T_e) \cdot \delta(t - n \cdot T_e) \quad (5)$$

unde T_e reprezintă pasul de eșantionare utilizat, N numărul de eșantioane culese iar $\delta(t)$ este impulsul Dirac. Semnalul „numeric” accelerație:

$$a[n] = T_e \cdot a(n \cdot T_e), \quad n = 0, 1, \dots, N-1, \quad (6)$$

este teoretic capabil să reconstituie semnalul deplasare $d[n]$ cu condiția impusă de teorema eșantionării:

$$2 \cdot B_d \cdot T_e \leq 1, \quad (7)$$

unde B_d reprezintă banda de frecvență a semnalului deplasare $d(t)$, bandă ce va fi aceeași cu a semnalelor viteză și accelerație în cazul satisfacerii riguroase a condiției (7). Transformata Fourier a semnalului $a_d(t)$ este:

$$A_p(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A(\omega - k \cdot \Omega_e), \quad (8)$$

unde $\Omega_e \cdot T_e = 2 \cdot \pi$. Dacă condiția (7) este satisfăcută, atunci este posibil să se reconstruiască semnalul $v(t)$ din transformata $A_p(\omega)/(j \cdot \omega)$ prin filtrare trece jos ideală:

$$V(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega} \cdot A_p(\omega) \cdot H_{\Omega_e/2}(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega} \cdot A(\omega), \quad (9)$$

unde

$$H_{\Omega_e/2}(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| \leq \Omega_e/2 \\ 0, & |\omega| \geq \Omega_e/2 \end{cases} \quad (10)$$

Computațional, însă, nu se pot calcula $A_p(\omega)$, $H_{\Omega_e/2}(\omega)$ sau $V(\omega)$. Calculatorul permite [4] utilizarea transformatei Fourier discrete cunoscută și sub numele de rapidă (Fast Fourier Transform –FFT). Prin intermediul FFT se pot determina „eșantioane” din $A_p(\omega)$:

$$A_p(r \cdot \Omega) = \sum_{m=0}^{N-1} T_e \cdot a(m \cdot T_e) \cdot e^{-j \cdot m \cdot r \cdot 2 \cdot \pi / N}, \quad 0 \leq r < N. \quad (11)$$

„Pasul” de eșantionare în frecvență, Ω , corespunde duratei $T = N \cdot T_e$ este:

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot T_e} = \frac{\Omega_e}{N}, \quad (12)$$

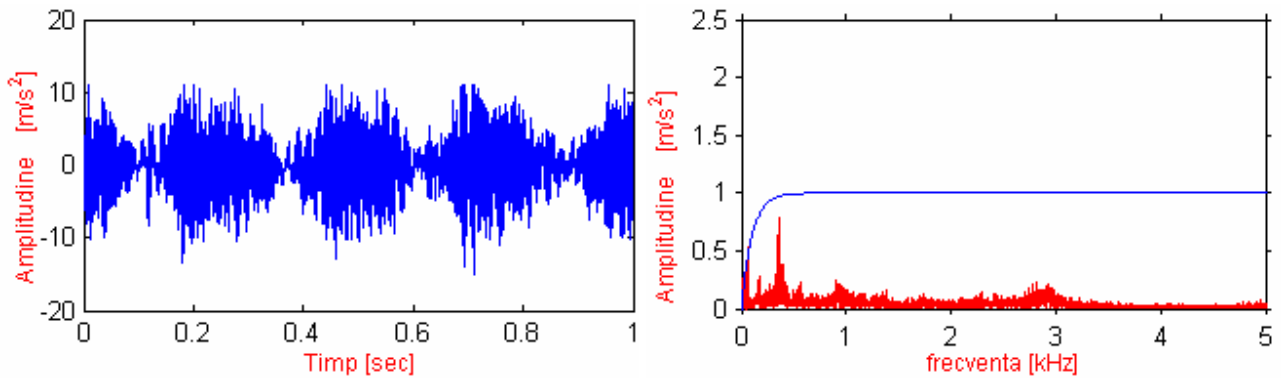
astfel că cele N „eșantioane”, $A_p(r \cdot \Omega)$, din $A_p(\omega)$ acoperă un domeniu de frecvență cuprins între $\omega=0$ ($r=0$) și $\omega=(N-1) \cdot \Omega = \Omega_e - \Omega$ ($r=N-1$), adică corespund benzii $[0, \Omega_e]$. Dar $A_p(\omega)$ este o funcție periodică de perioadă Ω_e , adică $A_p(\omega) = A_p(\omega - \Omega_e)$ pentru orice ω real. Utilizând acest fapt pentru $\omega=r \cdot \Omega$ și relația (12), rezultă că:

$$A_p(r \cdot \Omega) = A_p(-(N-r) \cdot \Omega). \quad (13)$$

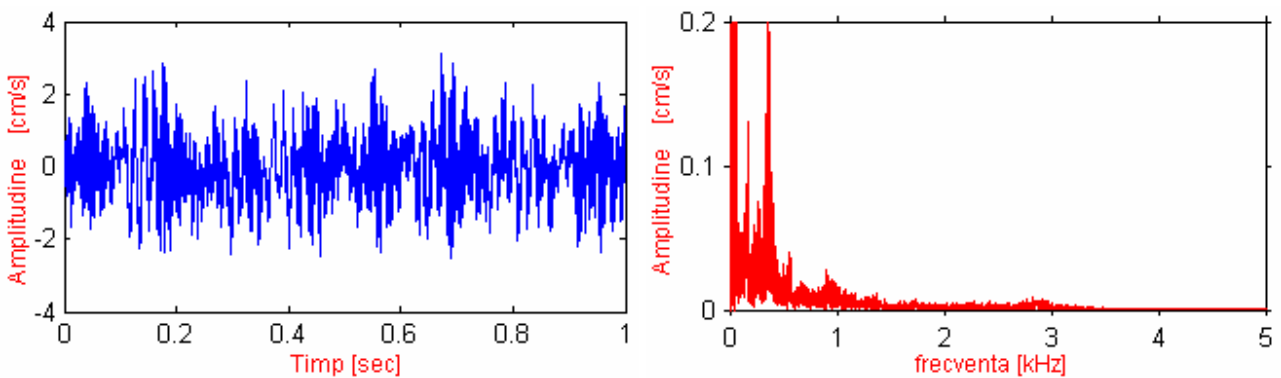
Invocând din nou presupunerea (7), și utilizând ecuația (13) rezultă:

$$T_e \cdot v(m \cdot T_e) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{r=1}^{N_2} \frac{1}{j \cdot r \cdot \Omega} A_p(r \cdot \Omega) \cdot e^{j \cdot r \cdot m \cdot 2 \cdot \pi / N} + \frac{1}{N} \cdot \sum_{r=N_2+1}^{N-1} \frac{1}{j \cdot (N-r) \cdot \Omega} A_p(r \cdot \Omega) \cdot e^{j \cdot r \cdot m \cdot 2 \cdot \pi / N} \quad (14)$$

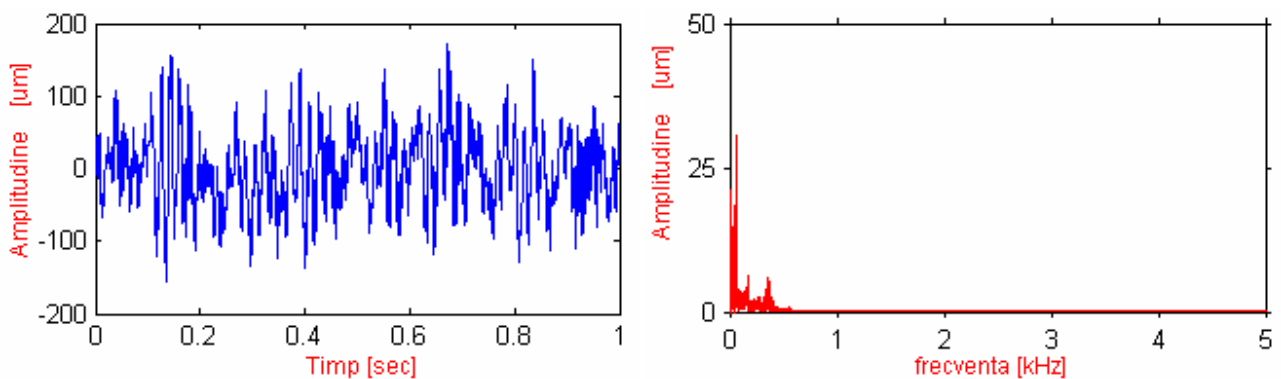
și:



a) semnalul accelerație și spectrul său;



b) semnalul viteză și spectrul său;



c) semnalul deplasare și spectrul său;

Fig.2 Semnalele accelerație, viteză, deplasare și spectrele lor

$$T_e \cdot d(m \cdot T_e) = -\frac{1}{N} \cdot \sum_{r=1}^{N_2} \frac{1}{r^2 \cdot \Omega^2} \cdot A_p(r \cdot \Omega) \cdot e^{j \cdot r \cdot m \cdot 2 \cdot \pi / N} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{r=N_2+1}^{N-1} \frac{1}{(N-r)^2 \cdot \Omega^2} \cdot A_p(r \cdot \Omega) \cdot e^{j \cdot r \cdot m \cdot 2 \cdot \pi / N} . \quad (15)$$

unde am considerat că $N_2=(N-1)/2$ dacă N este impar și $N_2=N/2$ dacă N este par iar $N_1=N-N_2-1$. Astfel, relațiile (13), (14) și (15) reprezintă o soluție comodă pentru determinarea semnalului deplasare, $d(t)$. Trebuie remarcat însă faptul că metoda invocă două ipoteze a căror veridicitate rămâne în discuție. Este vorba de componenta continuă și de banda de frecvență. Componenta continuă are în mod cert valoare nulă. Acest fapt, datorită imperfecțiunilor sistemului de măsurare, ar putea să nu fie satisfăcut în totalitate de semnalul achiziționat. Devine astfel necesară eliminarea sau diminuarea efectului componentelor de joasă frecvență prin filtrare trece sus.

Dacă ipoteza asupra componentei continue este una adevărată, presupunerea că banda de frecvență a semnalelor (acelerație, viteză și deplasare) ar fi limitată la cel mult jumătatea frecvenței de eșantionare este un deziderat. Frecvența de eșantionare este limitată superior din considerente tehnologice. În cazul nesatisfacerii relației (7), apare o suprapunere a spectrelor sumate în ecuația (8), fapt ce diminuează acuratețea calculelor date prin (14) și (15).

În Fig.2 sunt prezentate semnalele $a[n]$, $v[n]$, $d[n]$, precum și spectrele lor $A_p(r \cdot \Omega)$, $V_p(r \cdot \Omega)$, $D_p(r \cdot \Omega)$, obținute prin metoda spectrală, relațiile (13), (14) și (15). Măsurătorile au fost efectuate cu ajutorul sistemului definit în paragraful precedent asupra mașinii de tricotate ciorapi MATEC-1 Silver, [6]. Pentru obținerea spectrelor viteză și accelerație s-a utilizat o filtrare trece sus cu un filtru de forma:

$$H_{TS}[r] = 1 - \exp(q \cdot r \cdot (N - r)), \quad 0 \leq r < N, \quad q = 10^{-6}. \quad (16)$$

Funcția $H_{TS}[r]$ este reprezentată în diagrama spectrului semnalului accelerație din Fig.2a).

IV. DENSITATEA DE PROBABILITATE A SEMNALULUI DEPLASARE

Pentru determinarea densității de probabilitate (d.p.) a semnalului deplasare $d[n]$ facem apel la Teorema Limită Centrală (TLC):

dacă y_i , $0 \leq i < N_y$, constituie un set de variabile aleatoare independente având distribuții de aceeași natură și nici una dintre ele nu este dominantă (au aproximativ aceeași anvergură), atunci variabila aleatoare y dată de suma celor N_y variabile aleatoare are o distribuție normală (gaussiană).

Conform TLC putem considera că semnalul (aleator) deplasare are o d.p. normală dacă vibrațiile sunt produse de mai multe surse generatoare de vibrații și nu există una dominantă. Această ipoteză nu este una nerealistă. Mașinile de tricotate circulare execută cu mare viteză mai multe operații simultan. Realizarea acestor operații este posibilă prin mișcarea simultană a diferitelor sisteme și angrenaje cu funcții diferite (ace, conducători de ace, came, lacăte, cilindri și mecanismul de angrenare a lor, cilindrul selector, etc.) [7].

Deși toate aceste mișcări sunt realizate după un program de comandă al mașinii bine definit, din punct de vedere al semnalului vibrație ele apar ca surse necorelate de vibrație. Semnalul

vibrație poate fi privit așadar ca un zgomot Gaussian (de medie nulă). Densitatea de probabilitate are forma:

$$p(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{d^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (17)$$

în care σ^2 reprezintă dispersia ce poate fi determinată cu ajutorul relației:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} d^2[n]. \quad (18)$$

În Fig.3a sunt reprezentate histograma valorilor semnalului deplasare $d[n]$ obținute în paragraful precedent (vezi Fig.2c) precum și densitatea de probabilitate corespunzătoare calculată cu formula (17), unde valoarea lui σ a fost 0.0521mm .

Histograma valorilor semnalului $d[n]$ a fost construită astfel: cele $N=10000$ eșantioane din semnalul deplasare au fost grupate în 100 de intervale egale cuprinse între cea mai mică și cea mai mare valoare $d[n]$. Atunci ponderea sau probabilitatea fiecărui interval a fost calculată ca și raport între numărul de valori dintr-un interval și N . Dacă (așa cum e și cazul acestor mașini de tricatat) există o valoare critică admisibilă μ pentru valorile semnalului deplasare este posibil să determinăm care este probabilitatea de a fi depășită acest prag μ . Am considerat cazul conducătorului de fir care pentru o funcționare normală a mașinii trebuie să aibă o poziție relativ fixă față de traiectoriile acelor ce trebuie să capteze firul furnizat de acesta. Probabilitatea ca datorită vibrațiilor conducătorului de fir să se depărteze la o valoare $x = d \geq \mu$ este dată de:

$$F(\mu) = 2 \cdot \int_{\mu}^{\infty} p(x) dx \quad (19)$$

Această relație poate fi rescrisă astfel:

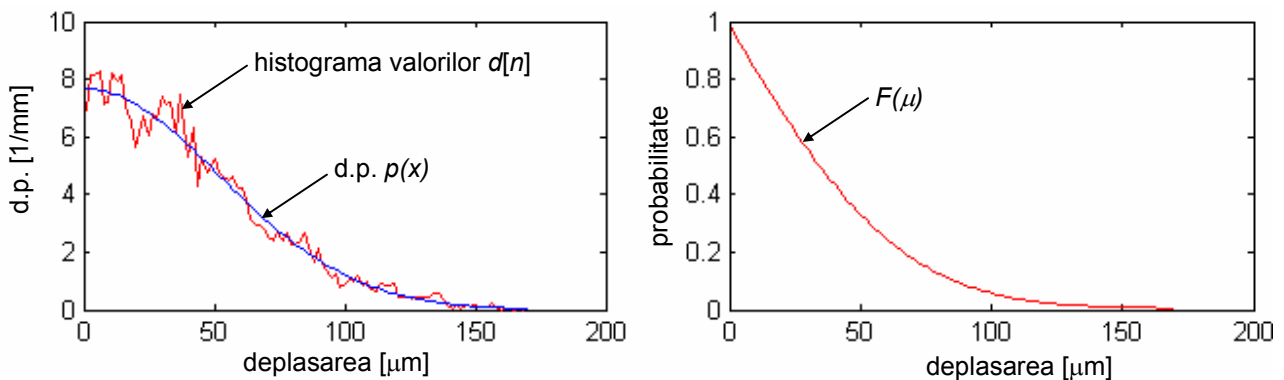


Fig.6 Statistica deplasării

$$F(\mu) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_{\mu/\sqrt{2\sigma^2}}^{\infty} \exp(-x^2) \cdot dx = 2 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right), \quad (20)$$

unde $\operatorname{erfc}()$ este funcția eroare complementară ce poate fi calculată cu ajutorul calculatorului, spre exemplu este o funcție proprie a Matlab-ului.

Pentru cazul considerat în exemplificările anterioare, în care σ a fost 0.0521mm , rezultă o variație a funcției $F(\mu)$ ca și în Fig.3b).

V. CONCLUZII

În această lucrare am prezentat un studiu asupra vibrațiilor mecano-acustice produse de mașinile de tricotate circulare în funcționarea lor normală. Am prezentat o analiză statistică asupra semnalului deplasare reconstruit prin metoda spectrală din semnalele accelerație și viteză. Invocând teorema limită centrală am presupus că densitatea de probabilitate a semnalului deplasare este gaussiană, de medie nulă. Am calculat dispersia acestei densități de probabilitate pe baza valorilor semnalului deplasare reconstruit din măsurători.

Utilizând densitatea de probabilitate am putut determina funcția de repartiție a semnalului deplasare, mai precis probabilitatea ca acesta (semnalul deplasare) să depășească anumite valori considerate critice pentru funcționarea normală a mașinii de tricotate circulare.

Deoarece anvergura vibrațiilor este o consecință directă a vitezei de lucru a mașinii, probabilitățile deduse prin calculul prezentat anterior pot servi la alegerea optimă a vitezei de lucru a mașinii.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Gh. Buzdugan, Elena Mihăilescu, M. Radeș, „Măsurarea vibrațiilor”, Ed. Academiei Republicii Socialiste România, 1979
- [2] Matec Silver New Generation, „Instruction manual”, 2003
- [3] M. Gafițanu, Sp. Crețu, B. Drăgan, „Diagnosticarea vibroacustică a mașinilor și utilajelor”, Ed. Tehnică București, 1989
- [4] Gh. Silaș, „Mecanică, vibrații mecanice”, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1968
- [5] National Instruments, LabVIEW, „Getting Started with LabVIEW”, April 2003 Edition, Part Number 323427-01
- [6] M. Ghinea, V. Fireteanu, „Matlab, calcul numeric –grafica –aplicatii”, Ed. Teora, 1995
- [7] M. Mateescu, „Tehnologia tricotajelor”, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1970
- [8] Mario de ARAUHO, Andre Catarino, Hu Hong, „Process Control for total Quality in Circular Knitting”, Autex Research Journal Vol. 1, No. 1, 1999;