

STAND MODULAR PENTRU TESTAREA PRODUSELOR MECANICE CU MIȘCĂRI DE ROTAȚIE

Gheorghe MOGAN, Sebastian ȘISCA

UNIVERSITATEA TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Rezumat. În lucrare se prezintă un stand modular pentru testarea performanțelor produselor cu mișcare de rotație (reductoare de turație, cuplaje mecanice, curele, etc.). Structura mecanică conține module diverse care permit testarea produselor cu variate poziții geometrice ale elementelor de intrare și de ieșire. Sistemul senzorial se poate configura în funcție de produsul și programul de testare ales adoptându-se senzorii de poziție, viteze, momente, forțe, vibrații etc. adecvați. Sistemul de monitorizare dezvoltat permite calibrarea automată a actuatorilor (de antrenare și de frânare) și senzorilor, achiziția datelor și semnalelor precum și procesarea evaluată a acestora în vederea evidențierii performanțelor măsurate.

Cuvinte cheie: Stand de testare, testarea produselor, monitorizarea sistemelor, testarea asistată de calculator, structuri modulare.

Abstract. In this paper it is presented a modular stand used for testing of products with rotary motion (gear boxes, couplings belts etc). The structure of stand contain various modules that allow products testing with different inputs and outputs geometrical positions. Sensors system can be configured taken in account types of products and testing programmes adopting adequate position, speeds, torques, forces and vibrations sensors. In order to show at highly level the values of measured parameters and to synthesise the results it is developed a complex monitoring system that allow automate calibration of actuators (drive and brake), acquisition data and signals and processing of these.

Key words: Testing stand, Products stand, System monitoring, Computer aided testing, Modular structures.

1. INTRODUCERE

Standul modular conceput, proiectat și realizat, pe care s-au dezvoltat aplicații de testare a unor subansamble mecanice cu mișcare de rotație, se află în laboratorul de Robotica, Realitate Virtuală și Testări Mecanice din cadrul catedrei de Design de Prods și Robotică a Universității Transilvania din Brașov. Deoarece prețul de achiziție al unui sistem modular de testare ar fi fost mult prea mare, din considerente de eficiență și de flexibilitate s-a preferat realizarea acestuia prin achiziția diverselor componente de la furnizori diferiți și integrarea acestora prin intermediul unor sisteme sau elemente de legătura și/sau de interfațare. Întrucât fiecare producător, de obicei, livrează componentele hard însoțite de software propriu, pe parcursul integrării s-au constatat incompatibilități a căror soluționare a presupus parcurgerea mai multe etape în cadrul cărora s-au testat mai multe variante de integrare.

2. STRUCTURĂ ȘI FUNCȚIONARE

În figura 1 se prezintă schema structurală a standului modular de testare a produselor tehnice mecanice cu mișcare de rotație. Pentru testarea performanțelor, produsul de testat, pe de o parte, este antrenat de un servomotor sincron fără perii

Siemens 1FT6-105, configurat să funcționeze în regim de motor, iar pe de altă parte, este frânat de un servomotor identic, dar parametrizat să funcționeze în regim de frânare. Servomotoarele de antrenare și de frânare sunt alimentate prin intermediul a două convertoare Siemens 6SE7023. Fiecare grup de acționare servomotor-convertoare este controlat de către calculator prin intermediul unei interfețe seriale de comunicație RS-232/RS-485.

În configurația de bază, pentru achiziția semnalelor asociate parametrilor funcționali ai procesului de testare se folosesc doi senzori de moment-viteză HBM T20WN, doi senzori de poziție incrementală Turck T5800 și doi senzori de tip accelorometru PCB 356A15. Adicional, în funcție de aplicația de testare se mai pot introduce datorită structurii modulare deschise și alți senzori de forță, de vibrații, de temperatură etc. Senzorii sunt conectați la un echipament de achiziție specializat HBM Spider 8, compus din două module cu 16 canale de măsurare, care este conectat la calculatorul central printr-o interfață serială RS 232 sau prin una paralelă.

Principalele părți componente grupate în subsistemele *meccanic*, de *antrenare*, de *frânare*, *senzorial*, de *achiziție date/semnal* și de *monitorizare* sunt prezentate, în continuare.

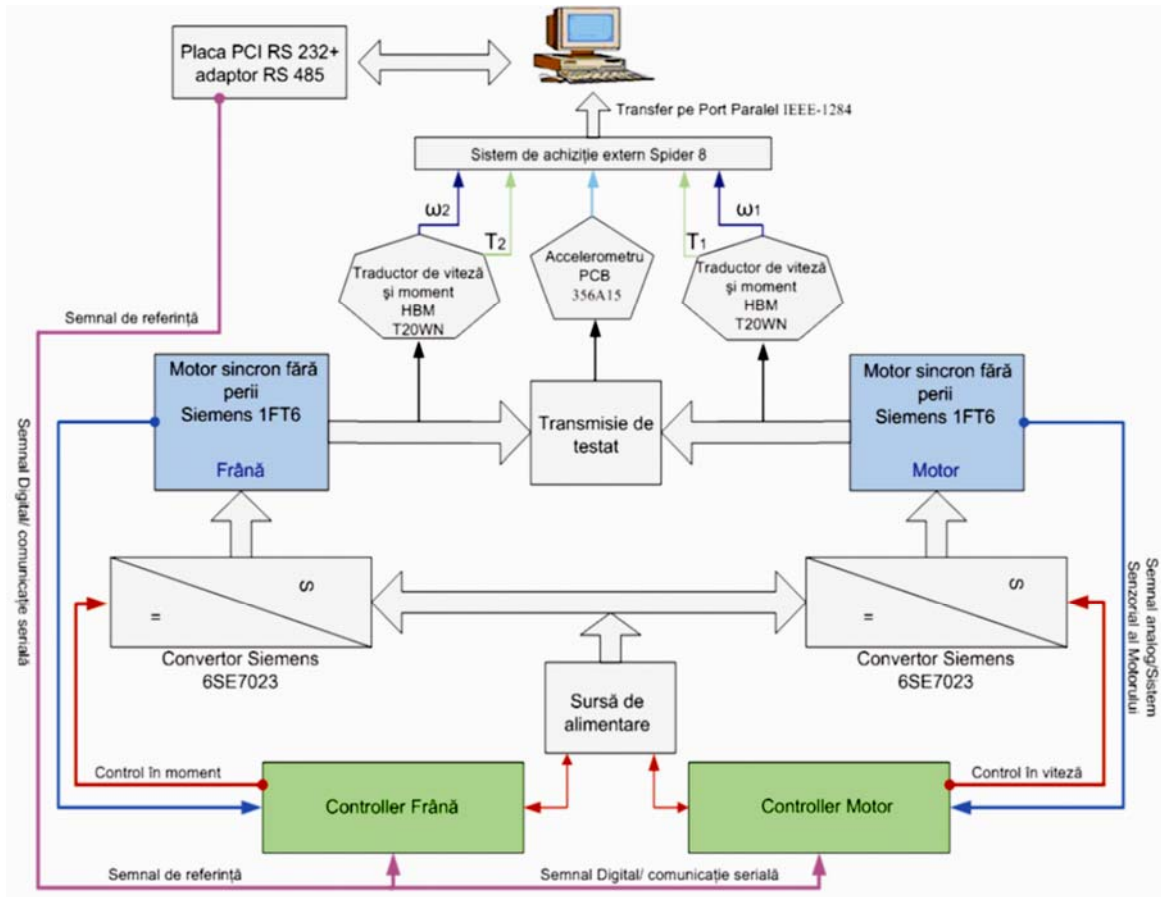


Fig. 1. Schema structurală a standului.

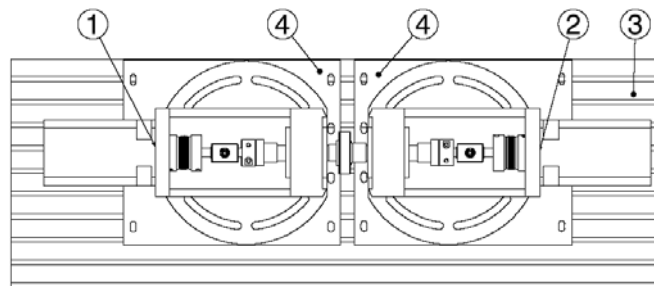


Fig. 2. Subsistemul mecanic.

2.1. Subsistemul mecanic

Subsistemul mecanic (fig. 2) este compus din: modulul de antrenare (1), modulul de frânare (2), batiul (3), montanții intermediari (4), montantul vertical. Modulele de antrenare și de frânare precum și montanții sunt fixați pe batiul (3) prevăzut cu o serie de canale T paralele cu direcția longitudinală care permit translatarea și fixarea în diverse poziții în plan orizontal.

Modulele de antrenare și de frânare au aceeași structură mecanică și sunt constituite din servomotorul de antrenare/frânare (1 fig. 3), cuplajul

elastic gofrat (2), senzorul de viteză-moment (3), cuplajul rigid (4), arborele de antrenare/frânare (5), placa de bază (6), placa intermediară (7), senzorul de poziție (8), transmisia prin curea dințată (9), corpul (10). Servomotorul de antrenare/frânare este fixat pe placa intermediară prin asamblări cu șuruburi. Pentru compensarea abaterilor axiale, unghiulare și radiale dintre axele de rotație ale arborii servomotoarelor 1 și 2 și arborele de antrenare și, respective, de frânare s-au folosit cuplaje flexibile gofrate de compensare cu rigiditate torsională, teoretic, infinită. Arborele de antrenare/frânare este fixat în corpul 10 printr-un

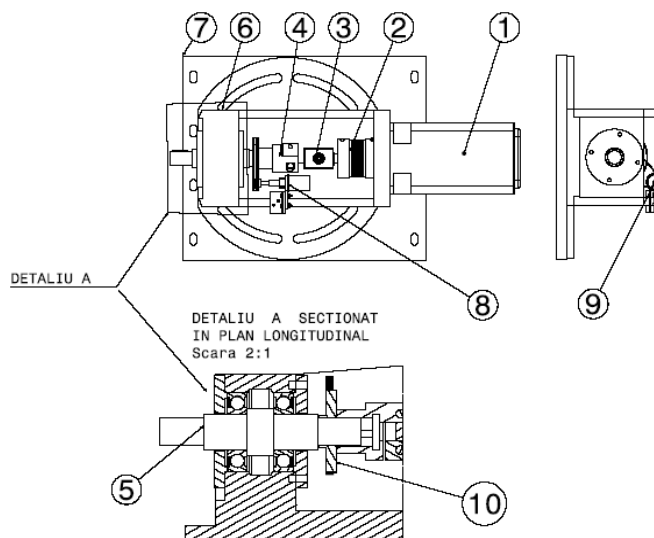


Fig. 3. Poziționările cu axele de intrare și de ieșire.

montaj cu rulmenți radial-axiali cu bile al căror joc axial se poate reduce până aproape de zero prin reglaj. Pentru aplicațiile de testare care necesită determinarea cu precizie a pozițiilor unghiulare de intrare și de ieșire pe corpul modului de antrenare/frânare se montează senzorul de poziție incremental 8 care este antrenat de arborele de antrenare/frânare cu ajutorul unei transmisii prin curea sincronă 9 și are raportul de transmitere de 3:1 asigurat prin roți dințate cu pasul de 5,08 mm.

În plus, de poziționările cu axele de intrare și de ieșire paralele prezentate în figura 3, se mai pot dezvolta și alte aplicații pentru produse care au aceste axe perpendiculare sau oarecare în spațiu prin posibilitățile de rotire ale plăcii intermediare 7 și placa de bază 6 facilitate de patru canale circulare practicate în placa 6.

2.2. Subsistemele de antrenare și de frânare

Subsistemele de antrenare și de frânare au la bază două servomotoare de electrice identice alimentate de la rețeaua de curent alternativ de 380V. Fiecare servomotor este compus din motorul propriu-zis, blocul electronic de putere convertor-invertor, modulul de control și comandă și modulul senzorial (fig. 4). Motoarele utilizate de tip Siemens 1FT6105-8AF7 sunt fără perii cu magneți permanenți din pământuri rare. Aceste motoare sunt folosite frecvent în aplicațiile industriale inclusiv în construcția instalațiilor de testare datorită următoarelor caracteristici: mare densitate de putere în raport cu volumul, greutate scăzută, rigiditate mecanică mare, afectate doar în mică măsură de

căldură în condiții de sarcină continuă sau supra-sarcină, poate depăși de 2,5 ori momentul nominal doar pentru 250 ms la o temperatură de 100K, posibilitatea monitorizării temperaturii cu ajutorul senzorului KTY 84, răspuns dinamic bun datorită unor factori mari de accelerație, fluctuații ale momentului mai mici de 1%, cheltuieli cu mentenanța scăzute. Modulul de control al acționării motorului, de tipul 6SE7023 produs de firma SIEMENS, poate fi configurat și comandat prin intermediul unor terminale externe de tip panou operator și/sau interfețe de comunicare serială, PROFIBUS sau CAN. Acesta poate fi supervizat în două moduri. Primul, este caracteristic regimului de funcționare discret care presupune că motorul primește comenzi (valori numerice distincte) de la operator numai prin intermediul unui panou extern. Al doilea mod, implică existența unui calculator în schema de funcționare (fig. 4) prin care se poate impune motorului regimuri de funcționare discrete (punct cu punct) sau continue conform funcțiilor programate de către operator.

În cadrul standului de testare dezvoltat, cele două motoare deși sunt identice din punct de vedere constructiv și performanțe sunt folosite în scopuri diferite, unul pentru antrenare iar celălalt pentru frânare (generator), și deci schemele de control și comandă sunt diferite. Pentru funcționarea ca frână unul dintre motoare este comandat în bucla de control minimal (v. fig. 4) ceea ce presupune controlul în moment și curent, iar cel de-al doilea servomotor, folosit pentru antrenare, este controlat în viteză ceea ce implică o schemă de comandă și control mai complexă deoarece, are în plus un bloc de control și comandă al vitezei (v. fig. 4).

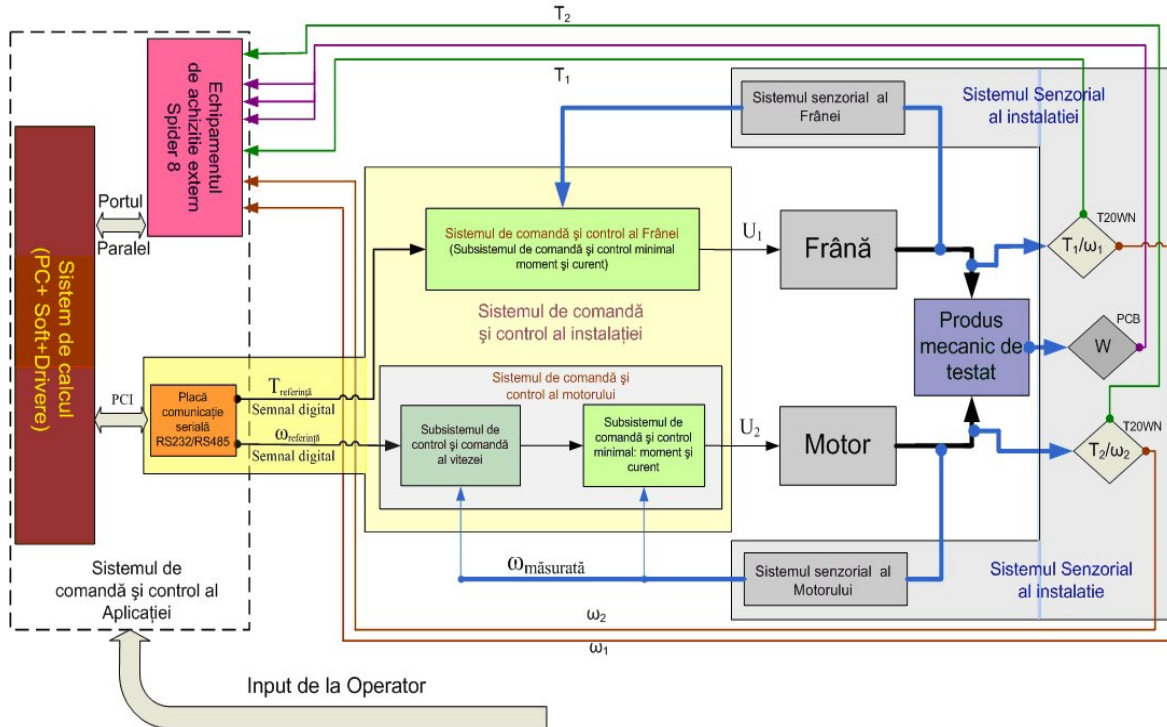


Fig. 4. Bloc de control și comandă al vitezei.

2.3. Subsistemul senzorial

Sistemul senzorial al instalației de testare poate fi împărțit în două grupe distincte, prima conține senzorii proprii servosistemelor de antrenare și de frânare, iar a doua este constituită din senzorii atașabili produsului de testat în vederea determinării valorilor parametrilor funcționali conform programului de testare. Pentru controlul și protecția motoarelor de antrenare/frânare se utilizează senzori de mișcare de tip resolver și senzori de temperatură.

Resolverele fac parte din clasa senzorilor inductivi de poziție/deplasare fiind pe locul al doilea ca și pondere de utilizare în automatizările industriale după senzorii optoelectronici, datorită robusteții lor și a faptului că au insensibilități mărite la factorii perturbatori (temperatură, praf, umezeală, șocuri, vibrații).

Senzorii folosiți în cadrul instalației de testare se aleg în funcție de natura aplicației și de performanțele urmărite. Deoarece în cazul proiectului propus se urmărește realizarea unei instalații modulare pentru dezvoltarea de aplicații de testare a produselor cu mișcări de intrare/ieșire de rotație s-a adoptat un set diversificat de senzori care să acopere cerințele impuse de produsele caracteristice grupei pentru care a fost conceput standul. Astfel, respectând principiile modularizării, s-au integrat senzori de poziție, viteză și moment pentru mișcările de intrare și de ieșire; senzori de forță

pentru măsurarea acțiunilor concentrate; senzori de tip accelerometru determinarea parametrilor vibrațiilor, senzori tensometrici pentru măsurarea deformațiilor și tensiunilor locale.

Deoarece, senzorii de poziție de tip resolver integrați în motoare nu oferă rezoluția necesară aplicației de testare se integrează în modulele de antrenare și de frânare câte un senzor incremental de tip encoder. Folosirea acestor senzori pentru determinarea poziției unghiulare dar și a vitezei în cadrul instalațiilor de testare este justificată de rezoluțiile ridicate și costurile scăzute.

Pentru măsurarea momentului de torsiune și vitezei de rotație a modulelor de antrenare și de frânare sau folosit senzori TW20/200Nm, produși de firma HBM cu următoarele caracteristici: momentul de torsiune nominal 200 Nm la valoarea nominală pozitivă/negativă de $\pm 10V$; 360 de impulsuri de 5 V la o rotație; domeniul de turații măsurate $[0, 3000]$ rot/min. Acest senzor poate fi folosit pentru a măsura momente statice și dinamice cu frecvențe mai mici decât frecvența naturală a sistemului în care este integrat dată de relația

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{c_T \cdot \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right)}, \quad (1)$$

în care: c_T este coeficientul de rigiditate torsională a traductorului; J_1, J_2 – momentele de inerție

redușe ale maselor de rotație cuplate de o parte și de cealaltă a traductorului.

Totodată amplitudinea semnalului momentului dinamic de măsurat nu poate depăși 80% din valoarea momentului nominal al traductorului. Măsurarea momentelor de torsiune cu acest senzor se face prin intermediul unor traductoare tenso-metrice montate în punte Wheatstone.

2.4. *Subsistemul de achiziție date/semnale*

Subsistemul de achiziție date/semnale implementat pe instalația de testare are două componente, una externă prin modulul Spider 8 (fig. 4) produs de către firma HBM conectat la calculatorul central și cealaltă internă materializată prin două plăci de achiziție specializate.

Modulul de achiziție Spider 8 cu patru canale de măsurare (cu posibilitate de extindere la 16 canale) poate fi conectat la calculator fie prin intermediul unui port paralel sau a celui serial RS-232C. În plus, modulul are 16 canale digitale de intrare și/sau de intrare/ieșire, un canal pentru semnalul de declanșare (trigger) și unul pentru semnalele de stare. Convertoarele A/D (analog/digital) incluse în echipamentul Spider 8 pot eșantiona cu rezoluție de 16 biți până la 9600 eșantioane/s concomitent pe toate canalele.

Pentru aplicații de testare complexe ce necesită un număr mai mare de senzori subsistemul de achiziție date/semnale este extins cu încă două plăci de achiziție interne care se montează în calculatorului central pe porturile de expansiune PCI și ISA.

Placa de achiziție de tip KPCI-1800HC Keithley cu interfață PCI, amplificare relativ mică și precizie mare de achiziție a semnalului este adecvată pentru a achiziționa semnalele provenite de la senzorii de tip mărci tensometrice, traductoare poziție, de moment etc. Prin intermediul acestei plăci se pot achiziționa pe 64 de semnale analogice legarea la pământ comună, sau pe 32 de canale diferențiale semnale analogice cu împământare separată. Permite selectarea a patru moduri de amplificare a semnalului codificate cu 1, 5, 50, 250. Deoarece această placă nu are o sursă de clock proprie și se folosește de timpul generat de sistemul de operare Windows nu este recomandată pentru aplicații care implică timpul absolut ca și parametru critic.

Placa de achiziție ADWIN-light Keithley față de placa precedentă comunică cu sistemul de calcul prin intermediul unei magistrale ISA 8/16 biți care datorită lipsei proprietăților plug&play aceasta se instalează și configurează mai anevoios. În plus, față de placa KPCI-1800HC, această placă conține un procesor plug-in care-i conferă posibilitatea de a prelucra semnalele preluate de la convertorul

A/D cu viteze de până la 40MHz – frecvență ce nu depinde de viteza sistemului de operare pe care rulează aplicația – ceea ce o recomandă pentru aplicații de testare în timp real.

2.5. *Subsistemul de monitorizare*

Deoarece echipamentele provin de la diverși utilizatori pentru integrarea acestora s-a folosit softul LabView deoarece acesta pe lângă interfața intuitivă a instrumentației virtuale permite integrarea de module software scrise în mai multe limbaje de nivele diferite ce pot fi controlate prin intermediul instrumentației virtuale. În figura 5 se pot observa modulele care compun softul de control și monitorizare al standului experimental modular

Modul software de comandă permite conducerea sistemului de acționare al standului prin transformarea semnalelor de referință setate de către utilizator prin intermediul interfeței grafice. Folosind un generator de funcții virtuale semnalele de referință pot lua diverse forme de undă (sinusoidală, treaptă, dinte de fierăstrău) a căror amplitudine și frecvență poate fi modificată de către operator în timpul funcționării sau pot fi predefinite de acesta anterior pornirii aplicației de monitorizare. Schema a modulului în care se generează semnalul de referință necesar punerii în funcțiune a standului este prezentată în figura 6, unde se poate observa că odată setată amplitudinea semnalului de referință este verificată dacă se încadrează în limitele fizice ale servomotorului țintă. Dacă amplitudinea semnalului depășește limitele prescrise este automat limitată la valoarea maximă admisibilă a servomotorului țintă. Această valoare este apoi procesată de către generatorul de funcții care conform preșetărilor efectuate de către operator generează forma de undă sub forma unui semnal digital de tip double cu o precizie de 32 de biți. Semnalul este apoi scalat și transformat în semnal digital de tip integer cu precizie de 16 biți deoarece controllerul nu poate procesa semnale de referință de tip double. Evident prin transformare double-integer semnalul de referință pierde mult din precizie dar scalarea efectuată înainte de transformare asigură o abatere maximă de +/- 0,02 de la valoarea setată de către utilizator.

Modulul software de calibrare a fost realizat consecință a faptului că s-a constatat că semnalele asociate momentelor primite de la traductorii de moment în timp își pot schimba caracteristica liniară ceea ce conducea la erori de măsurare. Factorii ce pot contribui la această modificare sunt diverși și se pot modifica de la o zi la alta: temperatură, câmpuri electro-magnetice și de la o locație la alta.

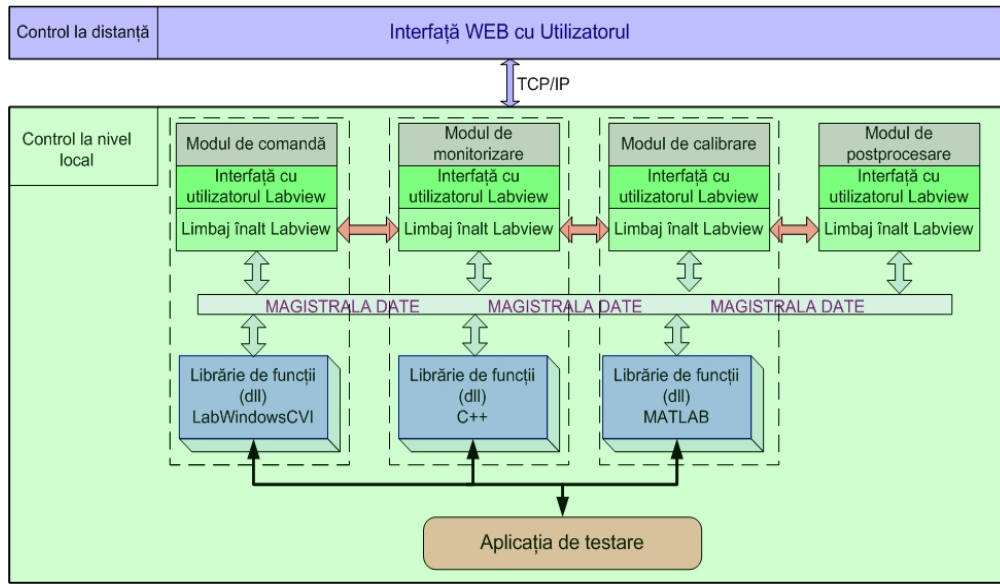


Fig. 5. Modulele softului de control și monitorizare.

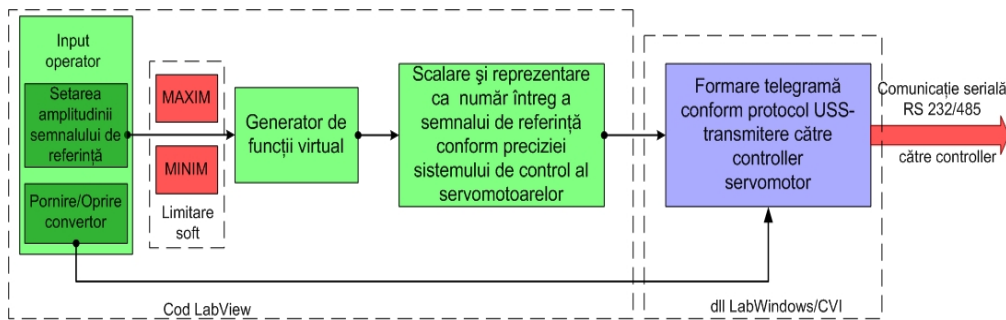
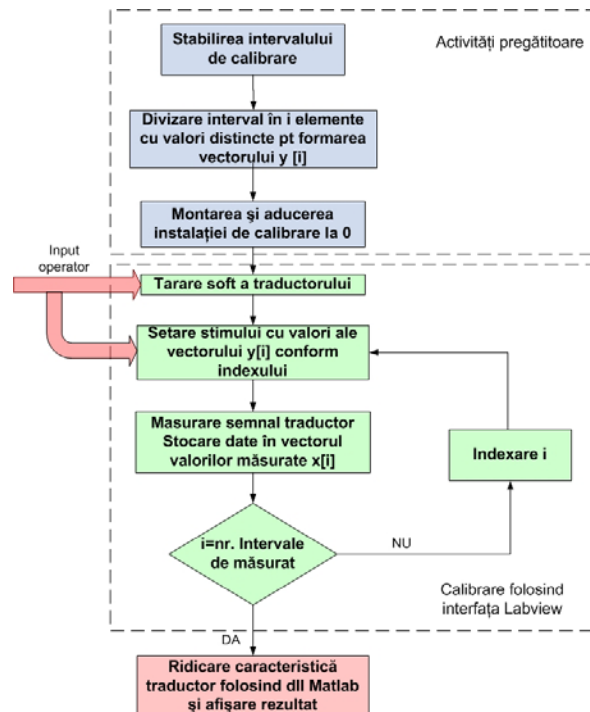


Fig. 6. Modulul generator al semnalului de referință.

Fig. 7. Schema logică a procedurii de calibrare.



Pentru a fi siguri că valorile furnizate de traductori sunt cele reale și pentru a reduce erorile de măsurare ce pot apărea în timp a fost elaborată o procedură de calibrare a cărei desfășurare, generalizată pentru majoritatea tipurilor de traductoare este redată în figura 7 sub forma unei scheme logice ce conține opt etape distincte.

3. CONCLUZII

Standul modular de testarea a performanțelor produselor de tip transmisie cu mișcare de rotație (reductoare de turație, cuplaje mecanice, curele etc.) se află în laboratorul de Robotică, Realitate Virtuală și Testări Mecanice din cadrul catedrei de Design de Produs și Robotică a Universității Transilvania din Brașov. Pe acest stand se pot determina, cu precădere, performanțele produselor legate de capacitățile de transmitere (caracteristici dinamice), de transformare (rapoarte de transmitere) a componentelor puterii mecanice. În plus, se poate determina cu acuratețe nivele de vibrații și zgomote emise precum și randamentele energetice. Consecința a modularizării constructive a standului se pot testa produse cu diverse gabarite și configurații ale intrărilor și ieșirilor. Pentru testele de

anduranță standul are un subsistem de recuperare a energiei rezultată în modulul de frânare.

BIBLIOGRAFIE

1. [Matlab, 2003] *Matlab high performance numeric computation and visualization software. User's Guide*, The Math Works Inc., 2003.
2. [Hutte, 1995] *Hutte, Manualul Inginerului*, Editura Tehnică, 1995.
3. [Swarup, 2006] **Swarup K. S., Mahesh P.** *Computerized Data Acquisition for Power System Automation*, ISBN 0-7803-9525-5/06/2006, IEEE, 2006.

Revizia științifică a articolului:

Constantin TALABĂ, profesor, doctor inginer, Universitatea „Transilvania” din Brașov.

Despre autori:

Gheorghe MOGAN: profesor universitar, doctor inginer, Universitatea „Transilvania” din Brașov, conducător de doctorat în Inginerie industrială. E-mail: mogan@unitbv.ro.

Sebastian ȘISCA: inginer drd., Universitatea „Transilvania” din Brașov. E-mail: siscas@unitbv.ro.