



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ din cadrul
Facultății de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice

Nr. Decizie 117 din 19.07.2017

TEZĂ DE DOCTORAT

(REZUMAT)

**CERCETĂRI PRIVIND ASISTENȚA DECIZIEI ÎN
ACTIVITĂȚILE DE MENTENANȚĂ A ECHIPAMENTELOR**

Autor: doctorand ing. PĂUNESCU C. IONEL

Conducător de doctorat: Prof.dr.ing. VELICU ȘTEFAN

BUCUREȘTI
2017

Cuprins

	R	T
R - Rezumat ; T -Teza de doctorat		
ABSTRACT	5	
INTRODUCERE	6	7
CAPITOLUL 1		
STADIUL ACTUAL AL CERCETARILOR PRIVIND ASISTENȚA DECIZIEI ÎN ACTIVITĂȚILE DE MENTENANȚĂ A ECHIPAMENTELOR TEHNOLOGICE	6	10
1.1 Metode aplicate în prezent în mentenanță pentru identificarea stării unui sistem tehnic		10
1.2 Tehnici actuale în strategia de mentenanță predictivă.....		12
1.2.1 Analiza sistemului tehnic prin metoda vibrațiilor		13
1.2.2 Analiza sistemului tehnic prin metoda termografică.....		14
1.2.3 Analiza sistemului tehnic prin metoda analizei lubrefiantului.....		16
1.3 Diagnoza unui sistem tehnic.....		18
1.4 Formularea obiectivelor tezei.....		23
1.5 Concluzii.....		25
CAPITOLUL 2		
ANALIZA, IDENTIFICAREA ȘI CODIFICAREA COMPONENTELOR UNUI ECHIPAMENT TEHNOLOGIC	6	27
2.1 Componentele unui echipament.....		27
2.2 Condiții generale impuse elementelor care compun un echipament.....		28
2.3 Generalizare, identificare și codificarea elementelor relevante ale unui echipament.....		28
2.3.1 Stabilirea elementelor relevante ale unui echipament.....		29
2.3.2 Calculul fiabilității elementelor unui echipament.....		32
2.3.3 Analize de fiabilitate.....		33
2.3.4 Evaluarea fiabilității previzionale pentru sisteme tehnice.....		33
2.4 Structura echipamentelor.....		36
2.4.1 Componenta sistemului tehnic.....		36
2.4.2 Elementul de legătură în transmiterea mișcării.....		37
2.4.3 Lanțuri cinematice.....		38
2.4.4 Sistemul de acționare al echipamentului.....		39
2.4.4.1 Sistemul de transmitere a mișcării de rotație prin curea.....		39
2.4.4.2 Sistemul de transmitere a mișcării de rotație prin lanț.....		40
2.4.4.3 Sistemul de transmitere a mișcării prin angrenaje.....		41
2.4.5 Sistemul de preluare a solicitărilor mecanice.....		41
2.4.5.1 Lagăre pentru mișcarea rotativă (rulmenți).....		41
2.4.5.2 Lagăre de alunecare.....		43
2.4.5.3 Ghidaje lineare		43
2.4.6 Sistem tehnic pentru transmiterea mișcării de translație.....		44
2.4.7 Sistemul de comandă electric și electronic.....		44
2.5 Concluzii.....		44
CAPITOLUL 3		
MONITORIZAREA SISTEMELOR TEHNICE, BAZA STRATEGIEI DE MENTENANȚĂ PREVENTIVĂ	6	45
3.1 Alcătuirea sistemului de monitorizare.....		45
3.2 Ierahizarea informațiilor monitorizate.....		46

3.3	Componentele ecranului de monitorizare.....	7	47
3.4	Concluzii.....		48
CAPITOLUL 4			
CONTRIBUȚII PRIVIND SIMULAREA FUNCȚIONĂRII UNUI LANȚ CINEMATIC ÎN MATLAB SIMULINK.....			
4.1	Modelul dinamic al lanțului cinematic.....		49
4.2	Modelarea lanțului cinematic în Matlab Simulink.....	8	51
4.3	Simularea funcționării sistemului tehnic.....	10	53
4.3.1	Simularea sistemului tehnic fără încărcare.....		53
4.3.2	Simularea sistemului tehnic cu încărcare.....	10	57
4.4	Concluzii.....		63
CAPITOLUL 5			
CONTRIBUȚII PRIVIND CONCEPEREA UNUI SISTEM VIRTUAL PENTRU ACHIZIȚIA MARKERILOR DE MENTENANȚĂ LA UN LANȚ CINEMATIC.....			
5.1	Etapele realizării unui sistem virtual de achiziție a datelor.....	13	64
5.2	Sistem virtual pentru măsurarea markerilor de mentenanță la un lanț cinematic.....	14	66
5.3	Folosirea mediului LabVIEW pentru achiziții de semnale.....		68
5.4	Analiza semnalului monitorizat.....	16	69
5.5	Markeri de mentenanță.....	18	72
5.5.1	Turația motorului.....	18	73
5.5.2	Analiza electrică a motorului.....	19	73
5.6	Limbajul de programare grafică LabVIEW.....		74
5.7	Concluzii.....		77
CAPITOLUL 6			
CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU DIAGNOSTICAREA UNUI LANȚ CINEMATIC PRIN MONITORIZAREA MARKERILOR DE MENTENANȚĂ ȘI ASISTAREA DECIZIEI.....			
6.1	Pașii necesari realizării monitorizării sistemului tehnic.....	21	78
6.2	Realizarea standului de lucru.....	22	80
6.3	Componentele echipamentului.....		82
6.3.1	Elemente principale ale unui sistem tehnic.....		82
6.3.2	Sistem de dezechilibru/simularea orelor de funcționare.....	23	82
6.3.2.1	<i>Deplasarea controlată a șurubului.....</i>		83
6.3.2.2	<i>Simularea timpului de funcționare a sistemului tehnic.....</i>	24	83
6.3.3	Sisteme de captare a informațiilor apărute.....		84
6.3.4	Bloc de monitorizare și analiză al informațiilor.....		84
6.3.5	Sistem de avertizare optică în vederea luării deciziei de mentenanță.....	25	85
6.4	Schema bloc a standului pentru studiul mentenanței unui lanț cinematic.....	26	86
6.5	Etapele cercetării asupra unui lanț cinematic simplificat.....	26	88
6.6	Concluzii.....	31	110
CAPITOLUL 7			
CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....			
7.1	Concluzii generale.....	32	111
7.2	Contribuții personale.....	33	112
7.3	Direcții ulterioare de cercetare.....	33	113
7.3.1	Tehnicile viitoare de mentenanță la distanță față de centrul de lucru.....		113
7.4	Valorificarea rezultatelor cercetării.....		114

BIBLIOGRAFIE	35	116
ANEXE		123
A1 LISTĂ ABREVIERI.....		123
A2 LISTĂ DE TABELE.....		125
A3 LISTĂ FIGURI.....		126
A4 CARACTERISTICI TEHNICE COMPONENTE.....		130

ABSTRACT

Teza de doctorat cu titlul „Cercetări privind asistența deciziei în activitatea de mentenanță a echipamentelor” are ca obiectiv principal, *fundamentarea deciziei pentru intervenția de mentenanță prin monitorizarea funcționării unui echipament industrial*, iar ca ipoteză de lucru faptul că *orice perturbare într-un lanț cinematic (LC) cauzată de o funcționare defectuoasă a unui mecanism influențează parametrii motorului electric de acționare*. Modificările care apar la elementele componente ale sistemului tehnic sunt continue și se datorează uzurii părților în mișcare, ca urmare a fenomenului de oboseală și îmbătrânire, posibilelor modificări ale proprietăților fizico-mecanice sau ca urmare a unor solicitări termice peste valorile prescrise în cartea tehnică de către producător.

Se modelează un echipament care conține un lanț cinematic alcătuit din elemente minimale, (simulează funcționarea unui sistem tehnic real), iar modificările, rezultate ca urmare al încălcării cu factori perturbatori, conduc la obținerea unor informații care pot fi utilizate în cazul sistemelor electromecanice reale, gestionate cu ajutorul **markerilor de mentenanță**.

Sunt menționate etapele pentru realizarea unui sistem de achiziție, folosind aplicația software LabVIEW.

Sunt prezentate etapele cercetării care conduc către momentul asistării unei deciziei de mentenanță.

Cercetările efectuate în cadrul tezei au condus la realizarea unui sistem eficient de interpretare a stării componentelor unui lanț cinematic al unui sistem tehnologic, prin monitorizarea motorului electric de acționare. Astfel, pentru prima dată s-a stabilit o legătură între caracteristicile dinamice ale mecanismelor de transmitere a mișcării și sistemul electromagnetic al motorului de acționare, prin monitorizarea și analiza unor parametri electrici care caracterizează starea motorului, denumiți de autor **markeri de mentenanță**.

Cuvinte cheie: sistem virtual, markeri de mentenanță, modelare echipament, monitorizare parametri tehnici, instrument virtual, decizie de mentenanță.

INTRODUCERE

Având în vedere globalizarea industrială, diminuarea resurselor materiale și crizele economice care își fac prezența tot mai des, a apărut o nouă abordare în folosirea sistemelor tehnice de producție, reliefându-se noul rol pe care îl poate avea activitatea de mentenanță în realizarea producției de bunuri, cu costuri mai scăzute.

Cu toate că materiile prime folosite în procesul de producție cunosc creșteri an de an, pe piața mondială au fost sesizate diminuări semnificative ale costului realizării unor produse, ca urmare a unei noi abordări a activității de mentenanță. Acest nou cadru de organizare a producției, a fost luat în calcul de cercetători din cadrul unor universități de prestigiu, dar și de membrii consiliilor de administrație ale multor firme cu profil industrial.

Teza de doctorat cuprinde o introducere, șapte capitole, anexe și bibliografie.

Capitolul 1, intitulat „*Stadiul actual al cercetărilor privind asistența deciziei în activitatea de mentenanță a echipamentelor*” trece în revistă problematica actuală legată de mentenanță. Metodele, folosite în mentenanță, scot în evidență eficiența ținerii sub observare a echipamentului, demonstrând că preluarea continuă sau la intervale de timp a unor date relevante cu ajutorul unor sisteme complexe, prin monitorizarea stării mecanice, electrice etc, permit compartimentului specializat de service o intervenție eficientă pentru menținerea în parametrii normali de funcționare a sistemului tehnic și controlând în același timp eficient intreruperile de producție neplanificate.

Problemele legate de analiza structurii unui echipament tehnic se dezvoltă în Capitolul 2, denumit „*Analiza, identificarea și codificarea componentelor unui echipament tehnologic*”. Se reliefează în acest capitol că echipamentele sunt compuse din elemente în funcțiune, legate între ele, alcătuind sistemul tehnic. Dar, trebuie spus că legăturile speciale sunt cele care fac diferența, sistemul astfel constituit de o înșiruire de elemente depinde în ansamblu de scopul și rolul cu care au fost proiectate în vederea funcționalității echipamentului tehnic.

În Capitolul 3, denumit „*Monitorizarea sistemelor tehnice, baza strategiei de mentenanță preventive*” se scoate în evidență evoluția echipamentului tehnic în funcționare, a faptului că acesta suferă modificări permanente de o anumită amploare în timp. Aceste modificări care apar la elementele componente sunt continue și se datorează uzurii părților în mișcare, ca urmare a fenomenului de oboseală și îmbătrânire, posibilelor modificări ale proprietăților fizico-mecanice sau ca urmare a unor solicitări termice peste valorile prescrise în cartea tehnică de către producător.

În figura 3.1 este prezentată schema de principiu a achiziției unei informații în cadrul monitorizării unui echipament/sistem tehnic.

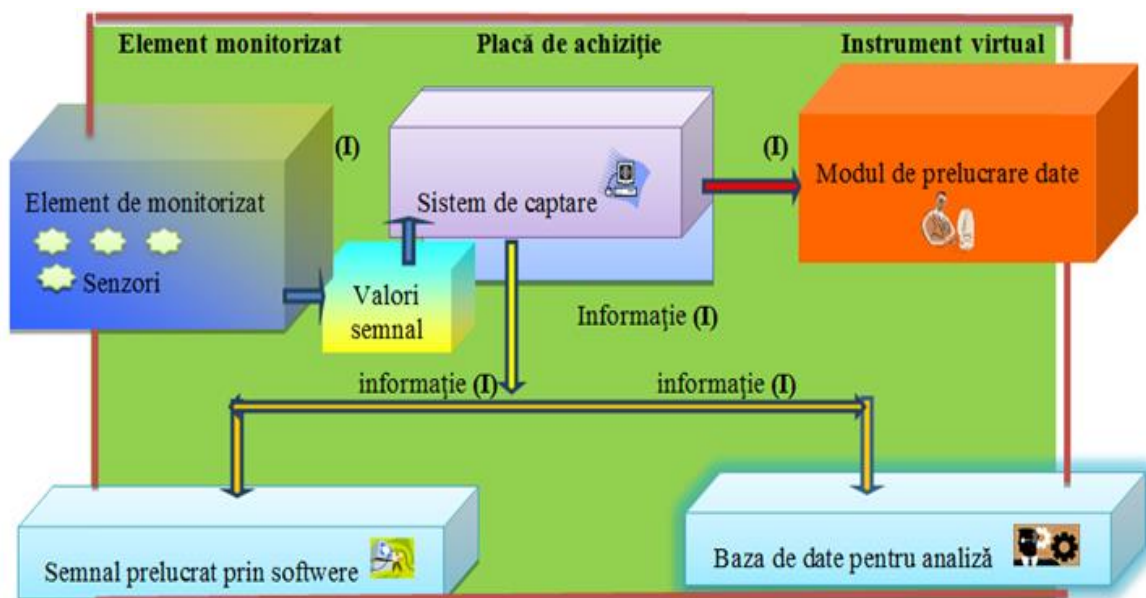


Fig.3.1. Schema de principiu a achiziției unei informații.

Pe monitorul sistemului de urmărire a comportării echipamentului va fi afișată și informația scrisă astfel, dar numai după atingerea unui prag prestabilit al valorii semnalului înregistrat.

3.3 Componentele ecranului de monitorizare

Informațiile preluate trebuie gestionate și consemnate în conformitate cu strategia de acțiune aleasă. De asemenea, trebuie urmărit impactul pe care îl are monitorizarea sistemului asupra deciziei cheie. Numai gestionarea corespunzătoare a informațiilor furnizate de sistem și interpretarea lor corespunzătoare va conduce compartimentul de mentenanță la decizii eficiente.

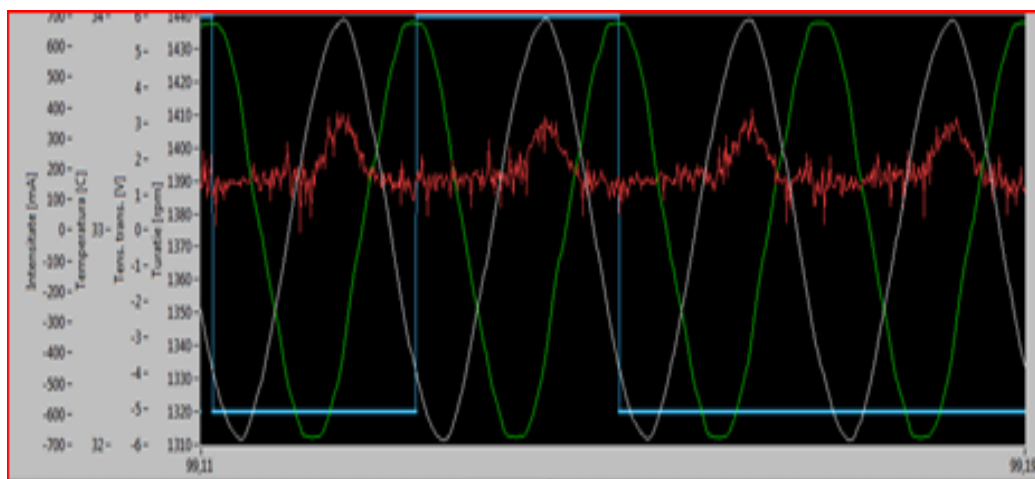


Fig.3.3. Echipament de monitorizare bazat pe LabVIEW

Trebuie menționat faptul că aceste date ne aduc informații relevante privind funcționarea sistemului tehnic monitorizat, prin afișarea acestora (figura 3.3), iar în cazul depășirii valorilor normale ale parametrilor mășurați (pentru care se stabilesc valorile normale și limită de funcționare), ne avertizează optic asupra stării sistemului la momentul respectiv, figura 3.4.

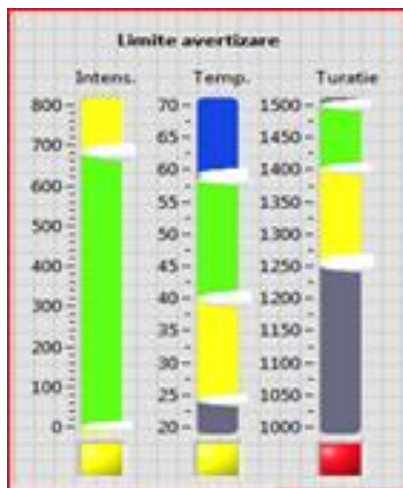


Fig.3.4. Echipament de monitorizare cu avertizare optică

Modificările unor parametri ai elementelor componente ale unui sistem tehnic pot apare și ca urmare a condițiilor de exploatare, sau în urma existenței unor defecte de fabricație, prezentate în Capitolul 4 al tezei „*Contribuții privind simularea funcționării unui lanț cinematic în MATLAB SIMULINK*”.

4.2. Modelarea lanțului cinematic în MatLab Simulink

Conceptul folosit în lucrarea de cercetare are la bază simularea funcționării unui sistem tehnic cu ajutorul softului Matlab. În figura 4.3 a fost modelat un echipament care conține un lanț cinematic alcătuit din elemente minimale, folosit pentru simularea funcționării sistemului tehnic, iar modificările rezultate ca urmare al încărcării cu factori perturbatori conduce la obținerea unor informații care pot fi utilizate în cazul sistemelor electromecanice reale controlate prin intermediul markerilor de mentenanță.

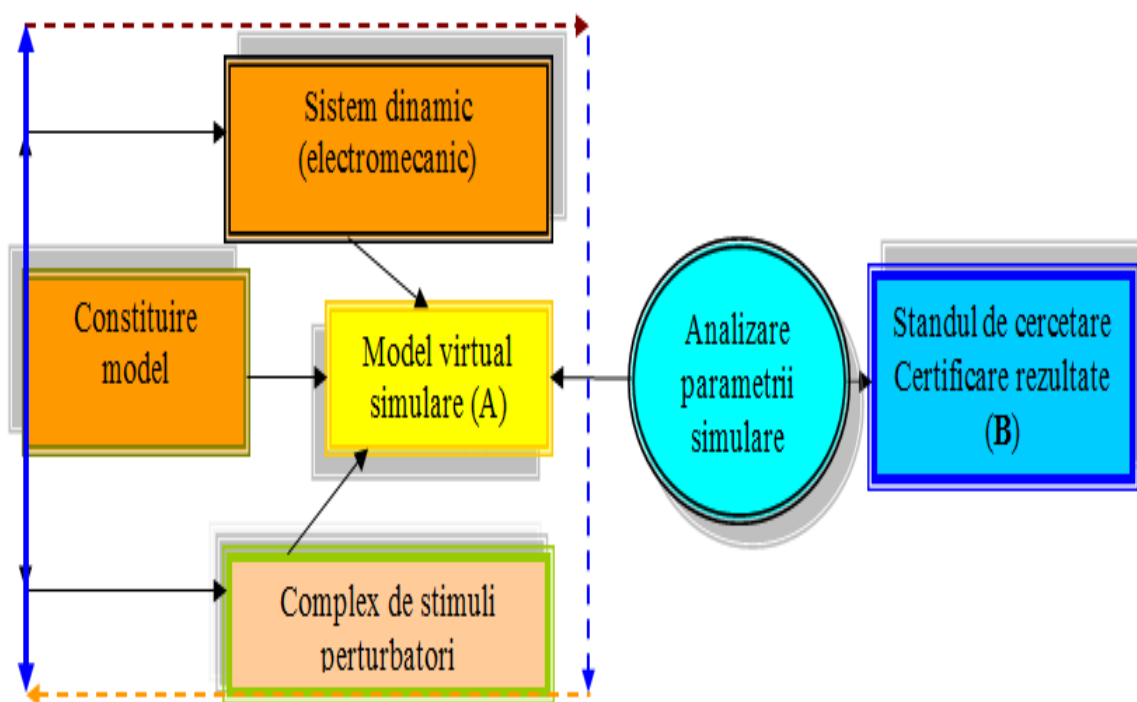


Fig. 4.3. Modelarea blocurilor pentru simularea funcționării unui echipament tehnic

Utilizarea algoritmului propus prin acest model va simula controlul unui sistem tehnic alcătuit din lagăre cu rulmenți, axe, roți dințate, cuplaje, care sunt acționate de un motor electric asincron de curent alternativ. Se are în vedere analiza vitezei unghiulare, a turației motorului, parametrii electrici la motorul electric de acționare, valori impuse de modificările care apar în timpul funcționării echipamentului în timp.

În figura 4.4 se prezintă modelul lanțului cinematic (LC) realizat în Matlab-Simulink.

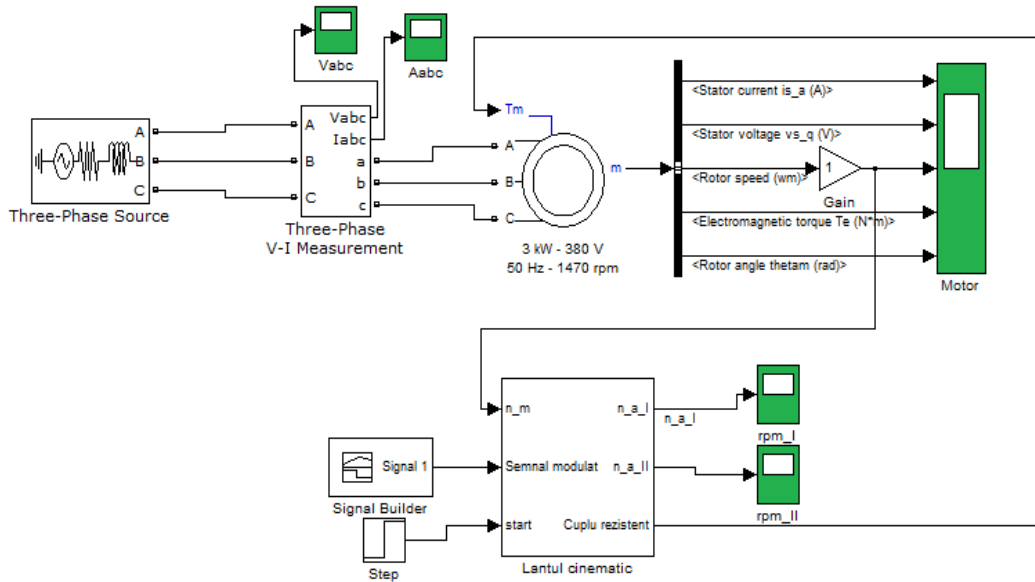


Fig. 4.4. Modelul lanțului cinematic în Matlab-Simulink

Plecând de la datele sus menționate se alcătuieste modelul sistemului tehnic de simulare al unui echipament de lucru, figura 4.5.

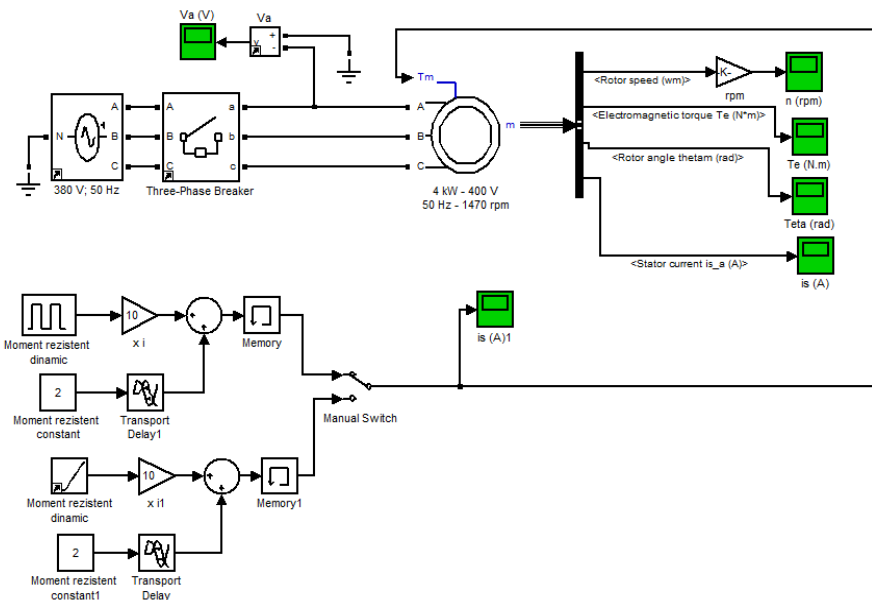


Fig.4.5 Alcătuirea sistemului tehnic de analiză (A)

4.3. Simularea funcționării sistemului tehnic

4.3.2. Simularea sistemului tehnic cu încărcare

La o **încărcare suplimentară** (aparitie componentă perturbatoare, (cazul 2) reprezentat în figura 4.7, exemplificată prin:

- moment rezistent dinamic (c)
- moment rezistent constant (d)

apar informații și date complexe, care pot fi interpretate în sensul stabilirii unei zone perturbatoare, sau a unui element al sistemului tehnic care are uzură.

În acest caz, comutatorul alternare componente perturbatoare se află în poziția 2 din figura 4.8. Se observă că la o rotație completă a axului apar diverse informații care ne dau posibilitatea analizării stării sistemului tehnic, figura 4.15.

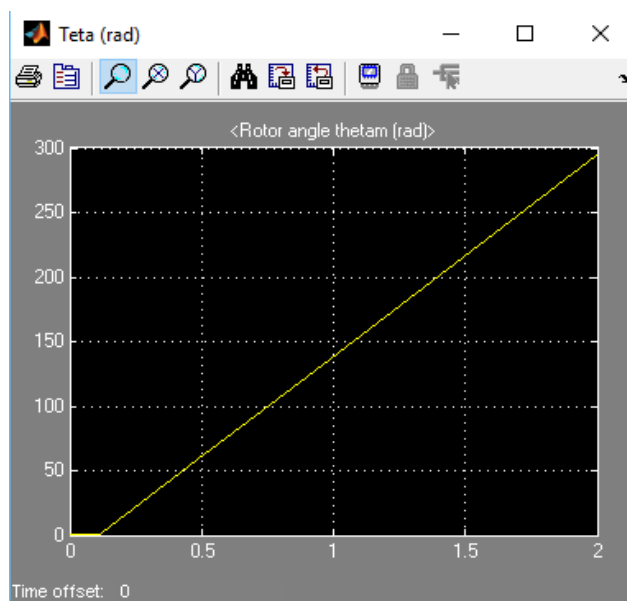


Fig.4.15. Înregistrarea semnalului la o rotație a axului

Se analizează dezechilibrarea sistemului ilustrată în figura 4.16 când există o componentă perturbare/fenomen (**F**) pe un interval unghiular. În simularea făcută se consideră o forță care apare pe o anumită zonă și anume într-un interval unghiular 0 - 90°. Acest interval poate fi legat de o perioadă de timp Θ și poate da multe informații cu care se poate realiza o analiză pe fiecare arbore.

Informația obținută ne ajută să determinăm poziția unghiulară și arborele unde apare dezechilibru, cazul nostru (arborele 3) din figura 4.2.

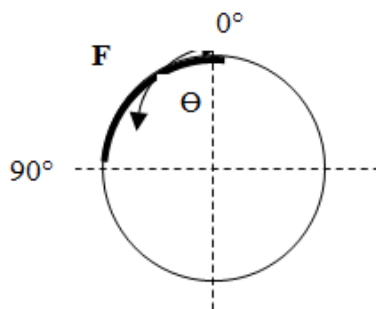


Fig.4.16 Simulare intervalului de timp perturbator

Se cunoaște turația motorului, respectiv: $n_m = 1470$ rot/min.

Putem determina astfel, turația arborelui 3 cu formula:

$$n_m = 1470 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \quad (4.23)$$

în care: i_1, i_2, i_3 sunt rapoartele de transmitere la roțile dințate

În această situație se identifică valoarea momentului care crește pe intervalul de timp: 0,1-0,11s (pe zona 0-90°), după care scade la valoarea minimă (normală) constantă, prezentată în figura 4.17.

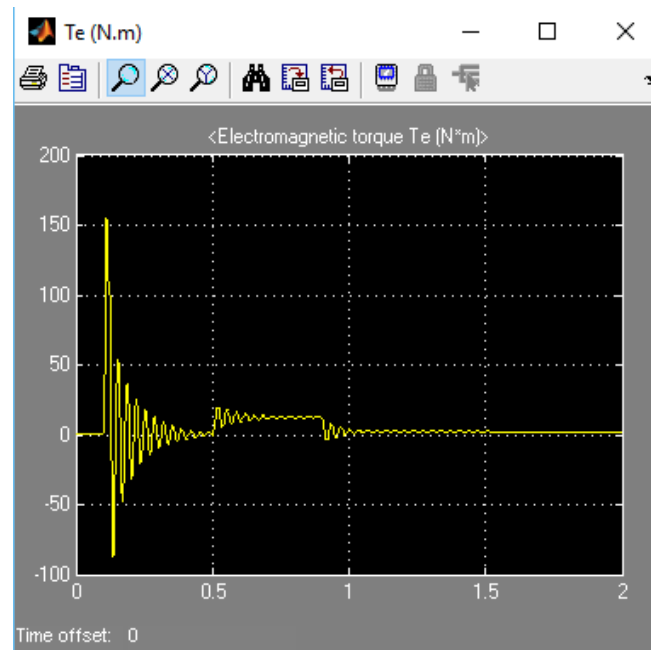


Fig.4.17. Marcarea momentului maxim la motorul electric

Se asociază intervalul de timp cu intervalul unghiular unde avem momentul maxim al perturbației sistemului, valoare reflectată în figura 4.2, valoarea Θ (interval timp, asociat intervalului unghiular).

Ca urmare a apariției fenomenului perturbator, evidențiat/simulat pe primul interval al mișcării de rotație al rotorului motorului electric, figura 4.16, se observă o fluctuație a mărimii curentului electric. Acesta crește într-un interval scurt de timp, cum se observă în figura 4.22.

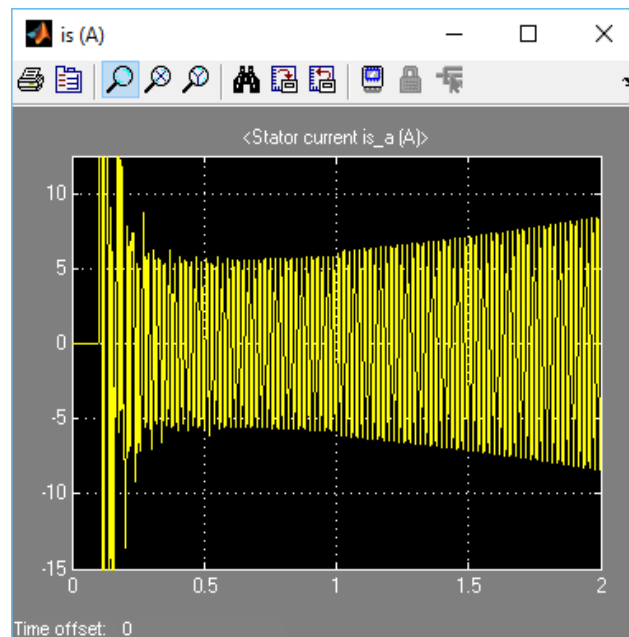


Fig.4.22. Monitorizarea intensității curentului electric

Valoarea curentului rămâne constantă până la apariția elementului perturbator în intervalul de timp (1,5-2)s, când se mărește valoare ajungând la limita maximă acceptabilă, vizualizată în figura 4.16 (intervalul 0-90°).

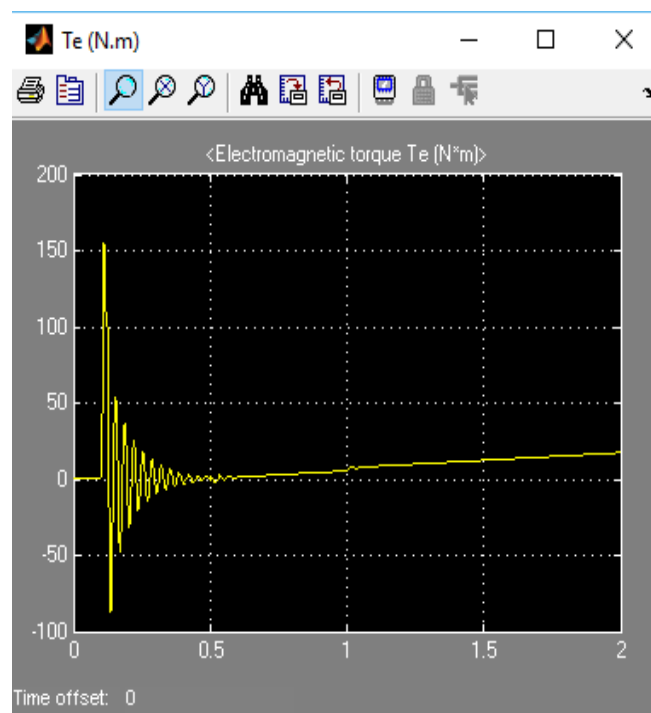


Fig.4.23. Monitorizarea componentei perturbatoare

În figura 4.23, se observă o creștere constantă a forței ca urmare a trecerii prin zona perturbatoare. Intervalul de timp este scurt, dar datele obținute ne conduc către un rezultat asemănător cu cel cercetat și la concluzia că simularea se apropie de partea reală a cercetării

Metoda simulării este relativ simplă în contextul compunerii sistemului tehnic cercetat, prezentat în figura 4.24.

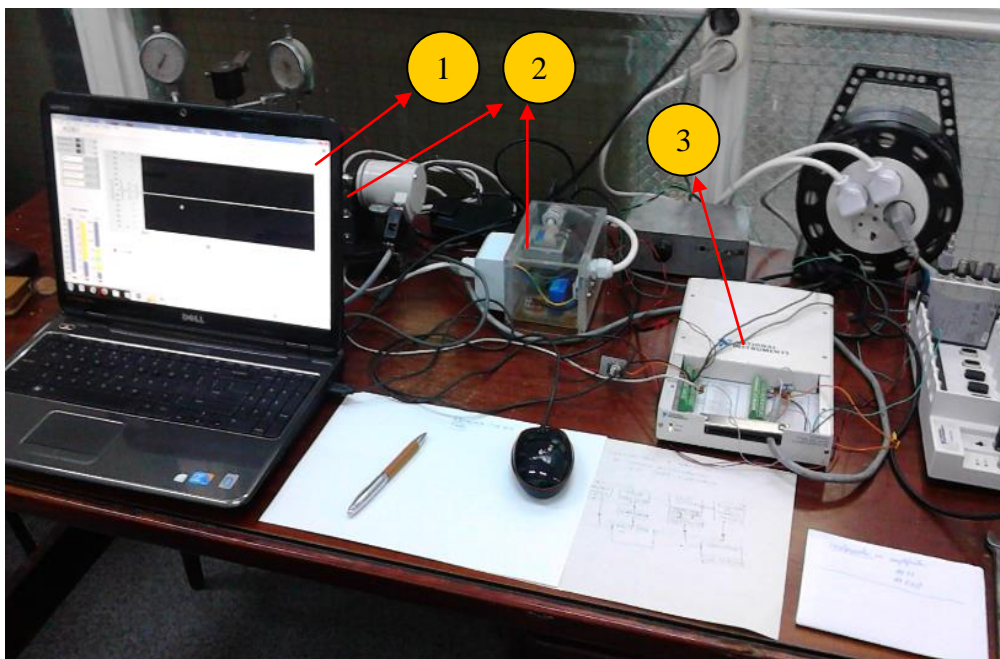


Fig.4.24. Sistemul tehnic supus cercetării (1-sistem, 2-senzori, 3-placă achiziție)

Din cele prezentate se observă un comportament similar cu cel al sistemului real studiat. Informațiile scot în evidență faptul că în ambele situații, după o perioadă de bună funcționare a sistemului tehnic (al elementelor critice monitorizate), apar date similare: creșterea intensității curentului la stator, creșterea temperaturii la carcasa motorului, scăderea turației motorului electric. Trebuie spus că, în cazul real al cercetării, avem prin soft posibilitatea marcării unor praguri minime/maxime prin semnal optic sau acustic. În cazul real, sistemul poate fi oprit automat, dacă este programată această funcție.

În Capitolul 5, „*Contribuții privind conceperea unui sistem virtual pentru achiziția markerilor de mentenanță la un lanț cinematic*” sunt menționate etapele pentru realizarea unui sistem de achiziție. Pentru realizarea acestui sistem este absolut necesară o analiză a informațiilor pentru alcătuirea unei aplicații.

5.1. Etapele realizării unui sistem virtual de achiziție a datelor

Traseul informațiilor are ca bază necesarul de date care trebuie captat de la echipamentul supus analizei.

Specialistul în mentenanță trebuie să selecteze și să personalizeze, din multitudinea de variante ale aplicației software LabVIEW, tipul de aplicație necesar pentru extragerea informațiilor care să reflecte baza studiului.

Acestea au următoarea componență:

- monitorizarea temperaturii unei părți a carcasei unui motor electric;
- salvarea datelor la un interval de timp impus;
- bucle pentru controlul proceselor;
- achiziții de semnale dinamice;
- punți de legătură (A,B)

Definirea semnalului pentru intrarea analogică permite folosirea unor termocuple, a unor senzori de curent și tensiune, iar ieșirile să fie semnale de curent.

Pentru semnalul digital sunt folosite semnalele electrice de la un encoder incremental, care dă posibilitatea de numărare a rotațiilor unui element dintr-un echipament, numărare evenimente, generare de pulsuri.

Trebuie avut în vedere ca rata de scanare să fie > 10 eşantioane/s, iar rezoluția de 16 biți. Sistemul de monitorizare este format dintr-o unitate centrală (laptop), iar sistemul de operare este Windows 7.

5.2. Sistem virtual pentru măsurarea markerilor de mentenanță la un lanț cinematic

Panoul frontal al instrumentului virtual este prezentat în figura 5.3 (pentru turație, temperatură și intensitate curent).

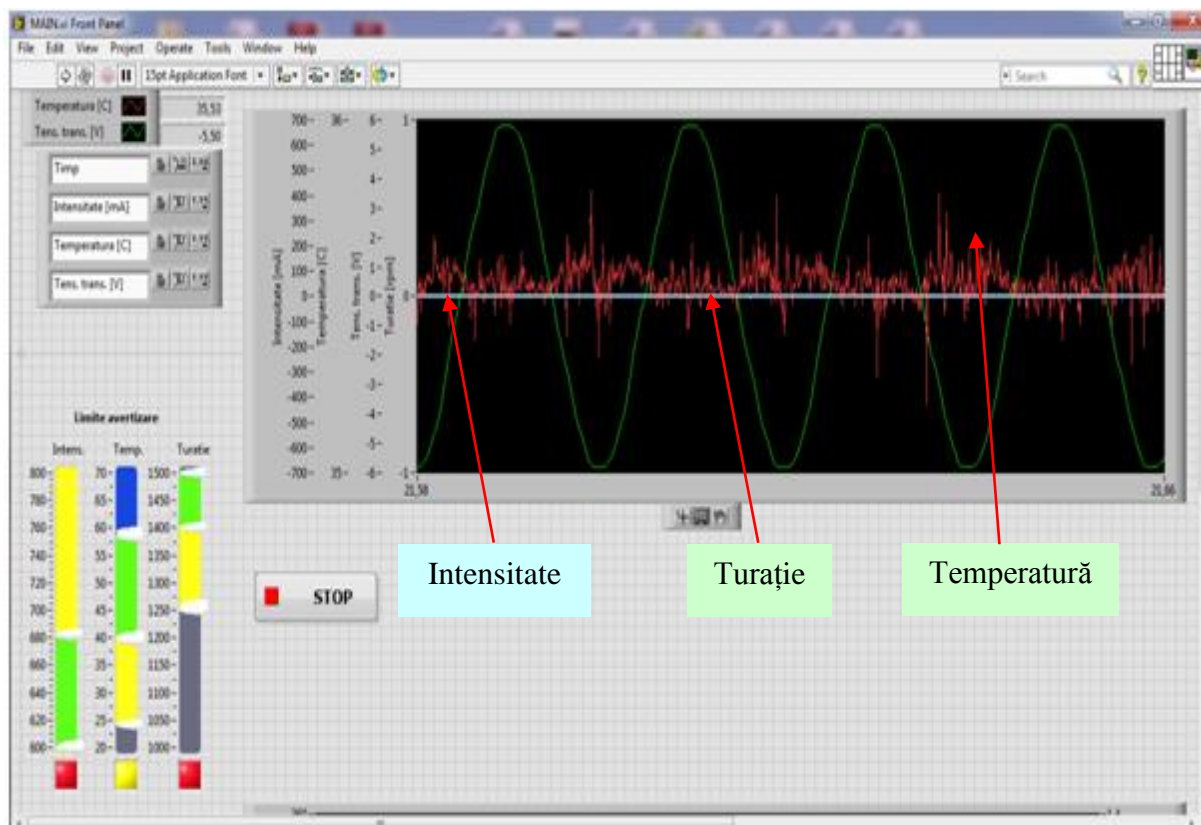


Fig. 5.3. Panoul frontal pentru monitorizare: turație, temperatură și intensitate curent

Odată cu implementarea instrumentelor de lucru pe panoul frontal (care înseamnă definirea legăturii dintre specialistul în mentenanță și unitatea de lucru) trebuie definite, funcție de instrumentele de lucru, diagrama bloc a echipamentului virtual de măsură cu ajutorul nodurilor executabile. De fapt, aceasta înseamnă chiar realizarea programului software care va pune în mișcare achiziția informațiilor la echipamentul virtual și trebuie conceput pentru fiecare analiză de semnal captat.

O parte a diagramei bloc este prezentată în figura 5.5.

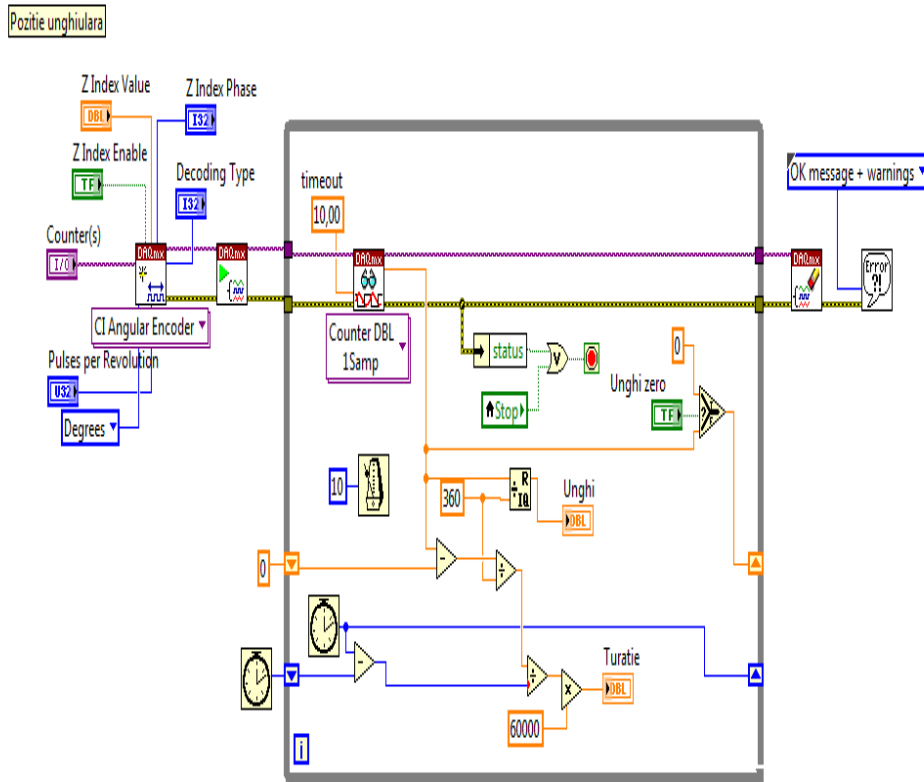


Fig. 5.5 Diagramă bloc a unui instrument virtual

Mediul LabVIEW oferă specialistului în mentenanță o interfață puternic orientată grafic, foarte simplă, furnizând informații relevante asupra semnalelor electrice studiate, (exemplu măsurarea temperaturii), figura 5.8.

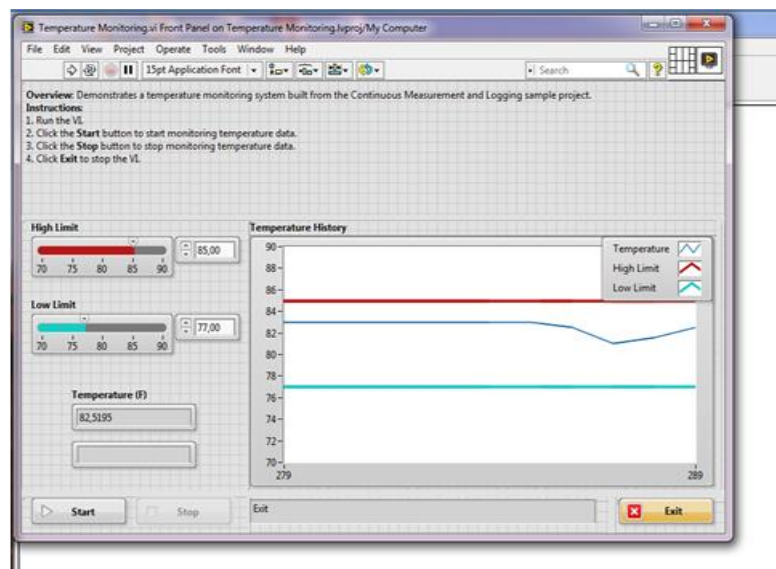


Fig. 5.8. Instrument virtual de monitorizare a temperaturii

5.4. Analiza semnalului monitorizat

Uzura în timp și dereglările care pot apare la un sistem tehnic de producție conduc la alterarea semnalelor normale de funcționare și în consecință, ne aduc imaginea în prim plan a problemelor care afectează performanța și buna funcționare. Procesul, de analiză directă a informațiilor primite, permite compararea cu cele aferente bunei funcționări, conform

documentației producătorului. În acest mod se poate înțelege cum funcționează un sistem tehnic, monitorizat prin intermediul markerilor dedicați, face posibilă preluarea datelor importante, dând posibilitatea analizei stării lui, fiind pregătit, astfel, să ia o decizie corectă.

Metoda, propusă în lucrare, pune în discuție folosirea transformatei Hilbert, pentru studiul formei, de periodicitate/ritmicitate ale unui semnal electric.

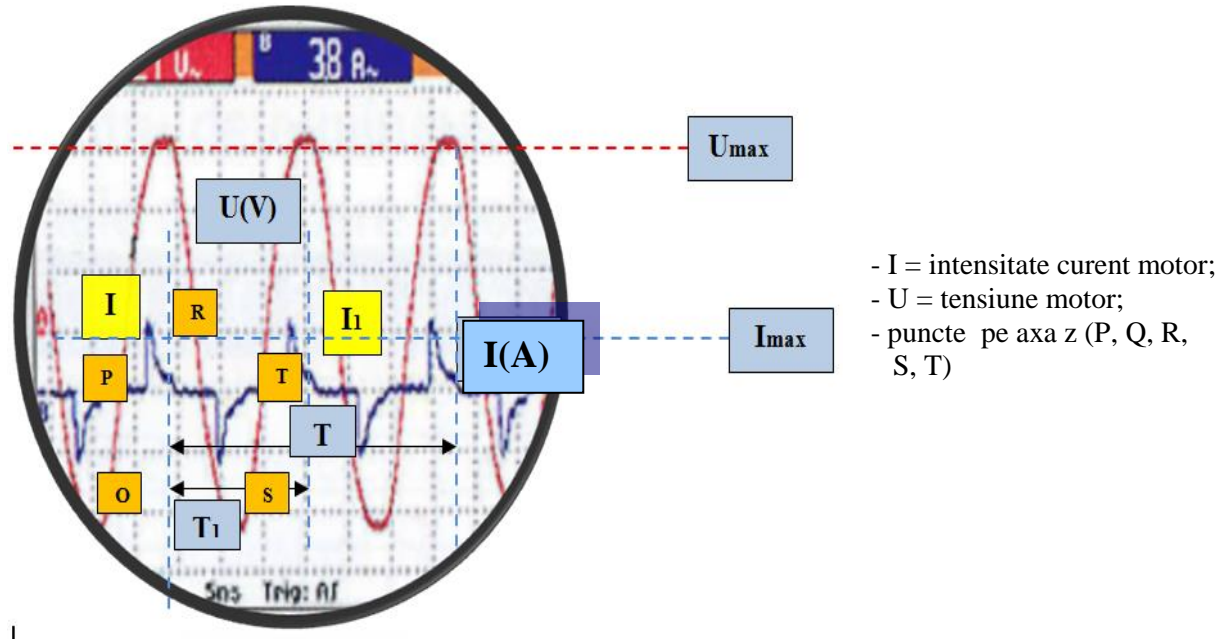


Fig. 5.9. Măsurarea intervalelor T1-T, în vederea determinării stării sistemului tehnic

Astfel, pentru un semnal al curentului la un echipament (motor electric) care funcționează normal, vectograma realizată (expunerea transformatei Hilbert, pentru forma unui semnalul electric) realizează un traseu bine definit, exact și ritmic, având o traiectorie restricționată în plan tridimensional; vectograma prezentată în figura următoare.

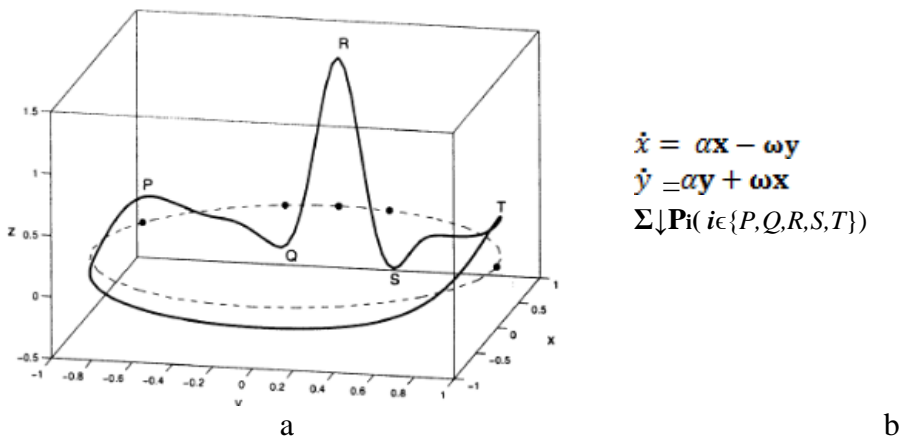


Fig.5.10. Ecuatii (b) care generează o traiectorie în spațiu tridimensional (a)

Pozițiile punctelor (P, Q, R, S și T) din forma semnalului curentului sunt puse în evidență de momentele care înscriu un maxim și minim în direcția z. Aceste momente sunt plasate la unghiuri fixe, pe un cerc unitate imaginar, reprezentând unghiurile θ_P , θ_Q , θ_R , θ_S , și θ_T .

Rezolvarea ecuațiilor conduce la rezultate care sunt folosite în aplicația soft LabVIEW. În prima etapă, au fost obținute valorile eşantioanelor unui semnal ideal (funcționare normală a motorului electric), după care s-a aplicat transformata Hilbert[7].

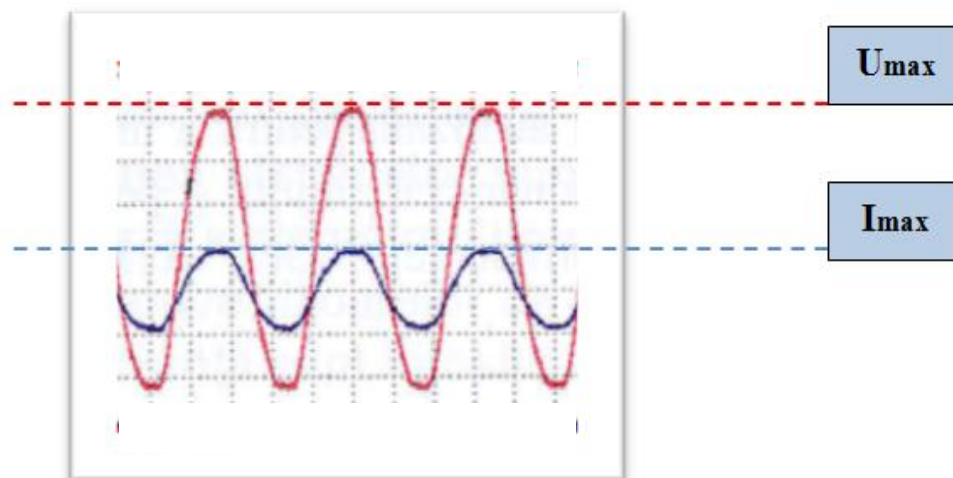


Fig.5.11. Semnal "bun" aferent unui motor în stare normală de funcționare

Din figura 5.11 se remarcă faptul că valoarea curentului (semnalul normal la punerea în funcțiune a sistemului tehnic) este constant și tinde către o traiectorie limită. Aceste monitorizări au fost folosite și pentru analiza semnalelor curentului electric la anumite intervale de timp, din domeniul de funcționare normală a mașinii unelte, până la atingerea pragului de intervenție, pentru refacerea stării normale de funcționare (folosirii strategiei de mentenanță prin monitorizare).

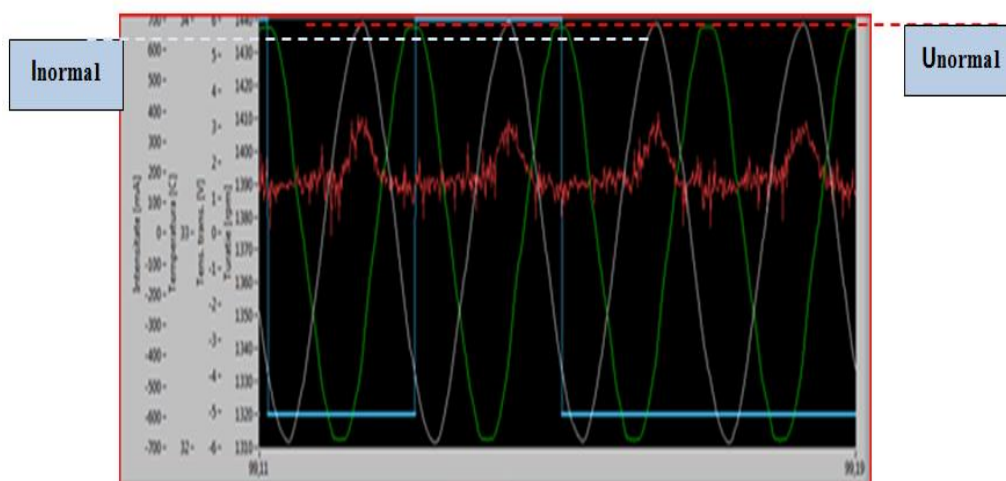


Fig.5.12. Semnal aferent unui motor cu parametri la limita pragului de bună funcționare

În cazul mărimii valorii curentului la motorul electric de acționare al echipamentului, constatăm că are o valoare peste un anumit prag de funcționare normală, figura 5.12. În acest context trebuie să luăm decizia de intervenție.

În figura 5.13 este prezentat parcursul funcționării unui sistem tehnic.

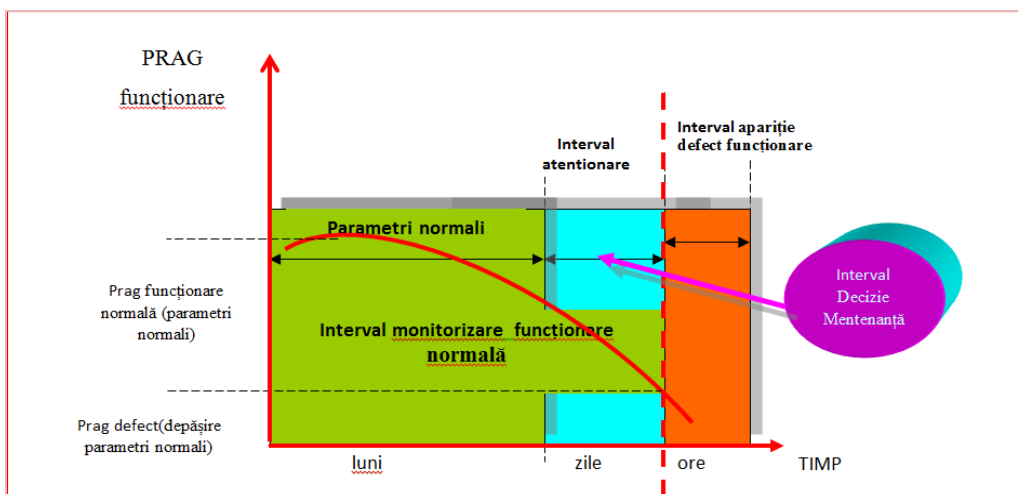


Fig.5.13. Parcursul funcționării unui sistem tehnic

5.5. Markerii de mentenanță

Markerii de mentenanță reprezintă un număr de parametri tehnici care pot fi monitorizați (ex.: temperatură, turație, intensitate curent, unghi, vibrații etc) specifici unui sistem tehnic (motor electric, lanț cinematic), cu valori în intervale bine definite.

Un marker de mentenanță trebuie să pună la dispoziția specialistului de mentenanță informații despre:

- specificul unui anumit sistem tehnic/ansamblu/element;
- modul de diagnosticare a sistemului;
- posibilitate de monitorizare și înregistrare;
- predictivitatea valorii parametrului.

În urma stabilirii numărului de markeri, funcție de sistemul tehnic analizat, se poate trece la monitorizarea evoluției lor, odată cu implementarea unor operații de mentenanță, astfel:

- dacă valoarea acestora se află în domeniul de bună funcționare stabilit de specialist, se consideră că operația de mentenanță a fost bine realizată, iar sistemul funcționează normal;
- dacă această valoare este la nivelul maxim al bunei funcționări se consideră că există și alte elemente care nu permit funcționarea normală și se decide o nouă intervenție la o componentă a sistemului;
- creșterea rapidă a valorii către domeniul de atenționare conduce la decizia de oprire a sistemului tehnic și o analizare complexă a unor componente critice ale sistemului (stabilite).

5.5.1. Turația motorului

Turația motorului, componentă principală în comunicarea de informații, privind starea unui echipament tehnic, este dată de turația instantanee a arborelui motorului. În combinație cu cuplul motorului, turația motorului oferă o imagine a performanței mecanice a echipamentului rotativ.

Prin folosirea unor algoritmi, funcție de markerii de mentenanță ai softului LabVIEW împreună cu placa de achiziție specializată se pun la dispoziția specialistului de mentenanță informații privind calitatea energiei electrice a unui motor de acționare, prin forma și valorile

curentului și tensiunii monofazate/trifazate, pentru a calcula turația, intensitatea curentului absorbit de motor, cu o frecvență de actualizare de 1 secundă. Prin analiza câmpului întrefierului respectivului motor, se observă că formele/mărimile de undă ale tensiunii /curentului, reprezintă baza pentru analiză.

5.5.2. Analiza electrică a motorului

Înainte de a începe analiza parametrilor motorului, trebuie să realizăm măsurători de referință a calității energiei pentru a vedea eventual starea armonicilor și dezechilibrul de la ieșirea instalației electrice, pentru a nu avea un impact negativ major asupra motorului.

Când începem măsurătorile, rezultatele sunt rezumate pentru performanța electrică, performanța mecanică etc. Scara de analiză propusă are patru niveluri de culoare fiind simplu de înțeles și indică performanța motorului în funcție de nivelurile recomandate ale parametrilor electrici. Sistemul de monitorizare ne permite vizualizarea instantanee a turației motorului, a mărimii curentului, a temperaturii carcasei acestuia și a semnalului normal al tensiunii. Turația normală a motorului este comparată instantaneu cu turația la timpul t_n și ne pune la dispoziție informații tehnice în timp real, ajutându-ne să luăm o decizie la momentul oportun. Prin analiza acestor valori la intervale de timp definite, putem măsura cu ușurință starea echipamentului în timpul fiecărui ciclu de operare, figura 5.14.

Ecranul de prezentare al monitorizării este actualizat odată cu modificarea sarcinii și a condițiilor electrice, iar fiecare măsurătoare nouă este trasată cu o anumită culoare. În acest exemplu putem vedea că motorul are turația la valoarea normală (ca cea înscrisă pe placa de timbru). Acest lucru indică faptul că nu este necesară ameliorarea calității puterii, întreținerea motorului sau o altă reglare pentru îmbunătățirea performanței lui. Prin efectuarea frecventă a acestor teste în timp, se pot crea referințe cunoscute și tendințe de bună funcționare. Analiza curentului reprezintă o informație foarte valoroasă în cadrul oricărui sistem de mentenanță care folosește un program de monitorizare continuă a stării de funcționare al unui motor.

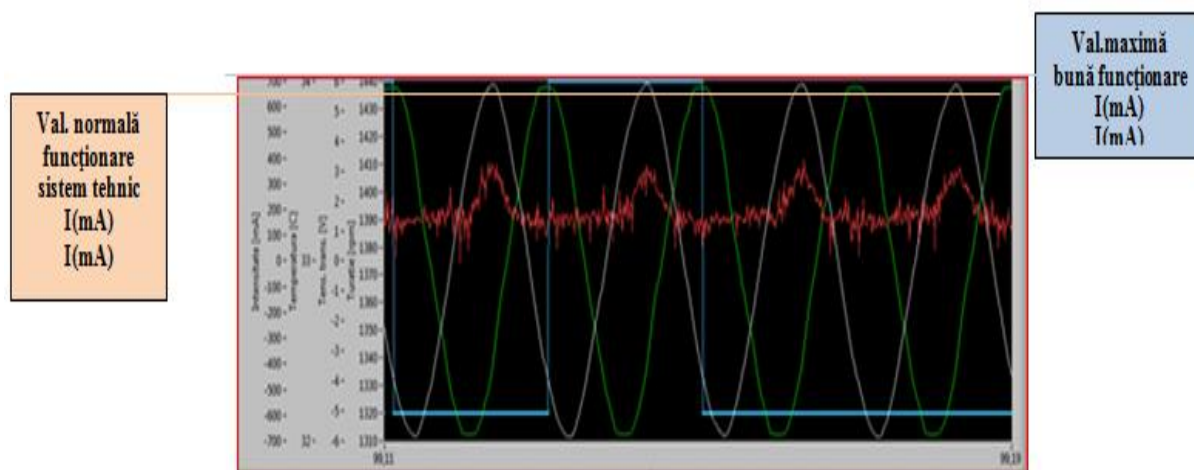


Fig. 5.14. Monitorizarea semnalelor electrice

Cu această instrumentație se poate analiza în timp real comportamentul echipamentelor de producție de către compartimentul de mentenanță al unei societăți comerciale[99].

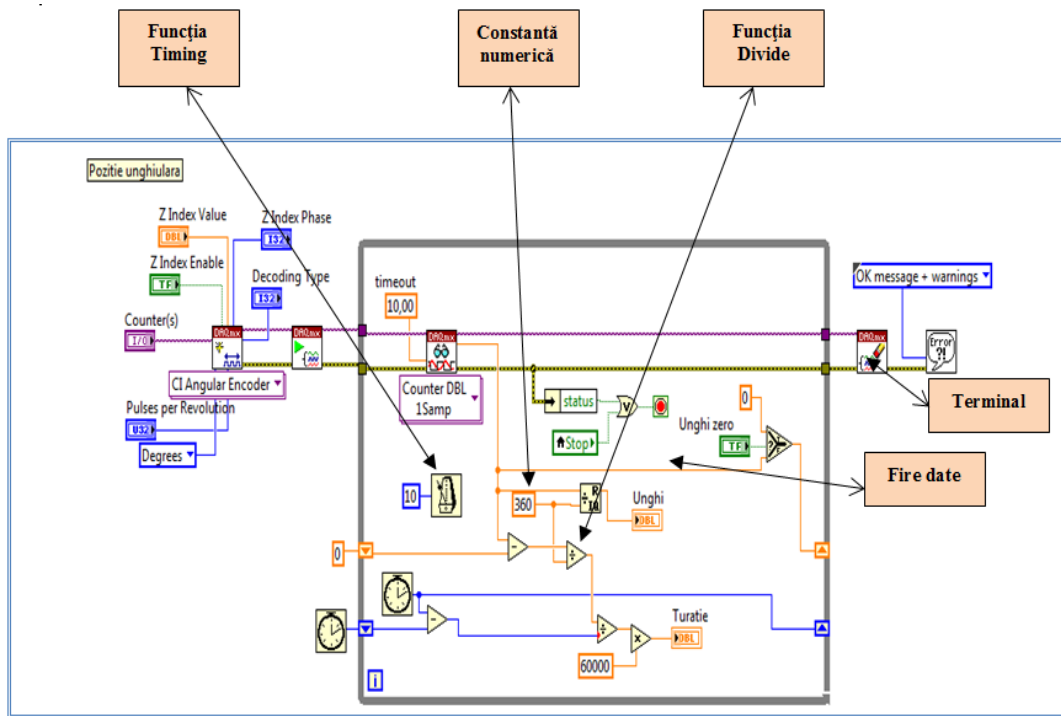


Fig.5.16 Diagramă bloc 1 (dispozitiv de măsură pentru unghi și vibrații)

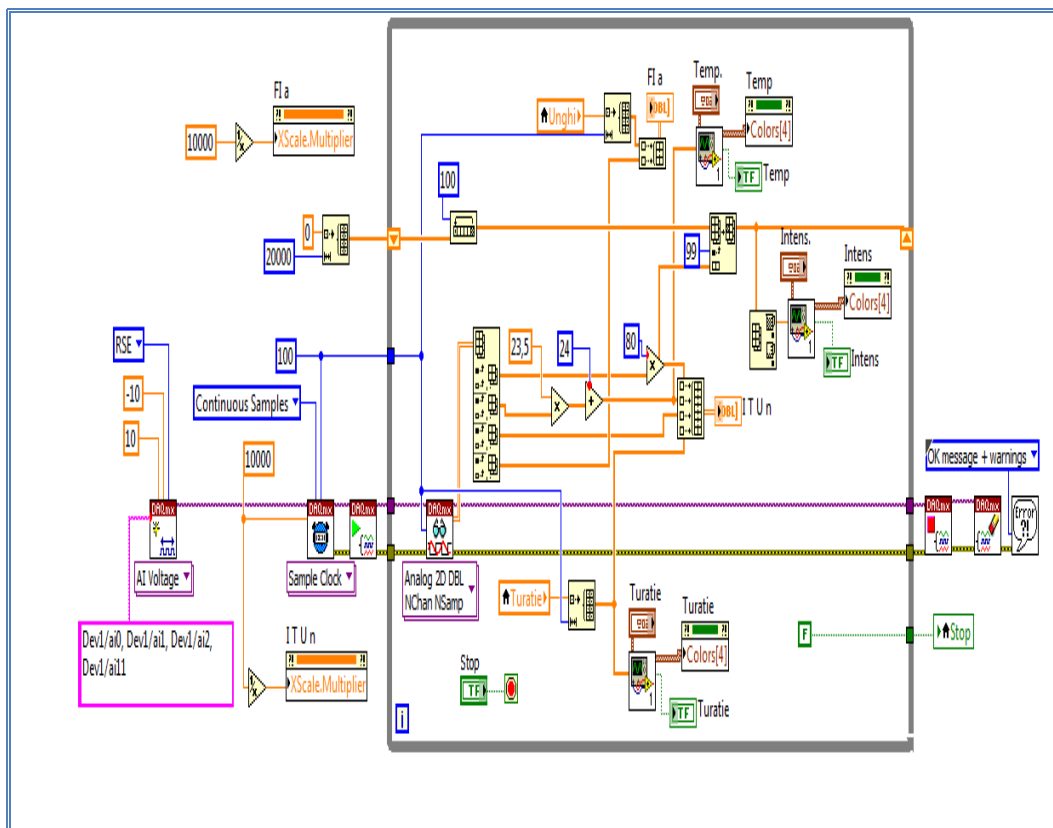


Fig.5.18 Diagramă bloc 2 (dispozitiv de măsură a turăției, temperaturii, intensității curentului)

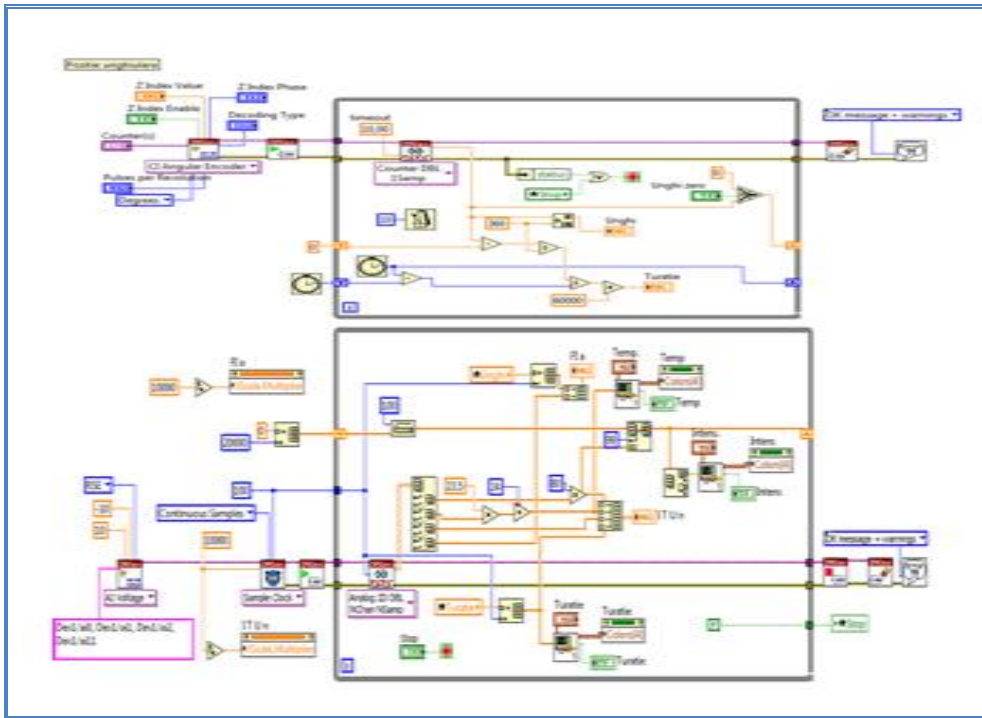
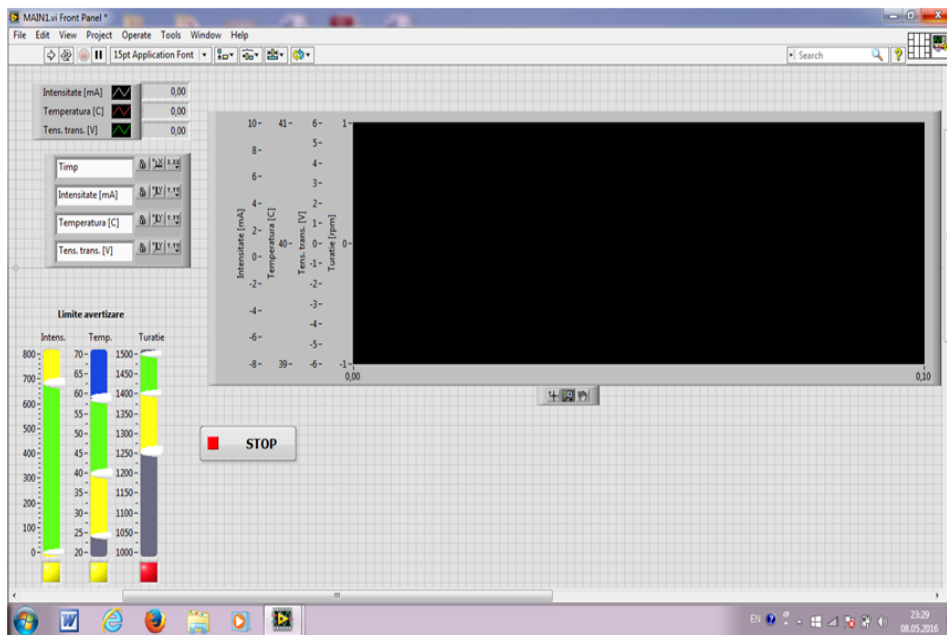


Fig.5.20. Diagrama bloc a unui echipament virtual de monitorizare a unui motor electric



b

Fig.5.21 Panou frontal al instrumentului virtual (diagrama bloc 1(a), 2(b))

În Capitolul 6, „Cercetări experimentale pentru diagnosticarea unui lanț cinematic prin monitorizarea markerilor de mentenanță și asistarea deciziei” sunt prezentate etapele cercetării care conduc către momentul asistării unei decizii de mentenanță.

Analiza de curent se bazează pe faptul că motorul electric poate fi privit, în esență, ca un traductor. Astfel, motoarele unor echipamente pot fi testate de la distanță, din compartimentul de mentenanță al secției de producție, eliminându-se riscurile efectuării măsurătorilor în zonele periculoase sau inaccesibile.

Urmărind în timp funcționarea motorului electric, se evidențiază faptul că atunci când există un moment rezistent ridicat (de exemplu ca urmare a funcționării necorespunzătoare a unei componente a lanțului cinematic) apar armonicile fluxurilor de curent, sesizabile la

echipamentul cu care facem cercetarea. Aceste fluxuri induc componente de curent în înfășurarea statorică, care determină modularea curentului de intrare. Cunoașterea acestor semnale permite determinarea prezenței unei funcționări necorespunzătoare a unei componente a sistemului tehnic și evaluarea gradului de severitate al funcționării lanțului cinematic al mașinii unelte.

6.2. Realizarea standului de lucru

Standul de lucru reunește o multitudine de elemente caracteristice unui sistem tehnic, care participă la procesul de producție.

Părțile componente (figura 6.3) le clasificăm astfel:

- de lucru (specifice sistemului tehnic - lagăre, ax, rulmenți, motor, cuplaj etc);
- de monitorizare pentru markeri de mentenanță (captoare de semnal: encoder, traductoare de: curent, tensiune, temperatură, vibrații)

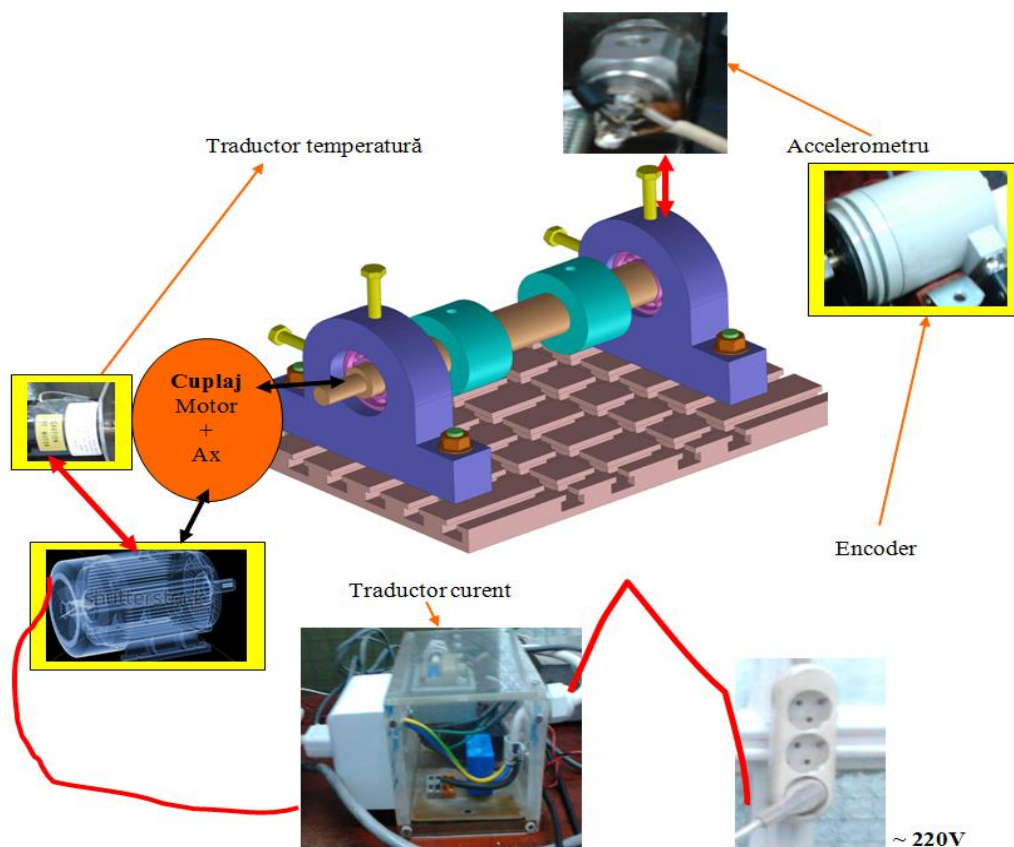


Fig.6.3. Stand de lucru

În figura 6.4 se prezintă standul de cercetare alcătuit din subansambluri și componente pentru simularea unor fenomene specifice, care pot apărea în timpul funcționării unui lanț cinematic.

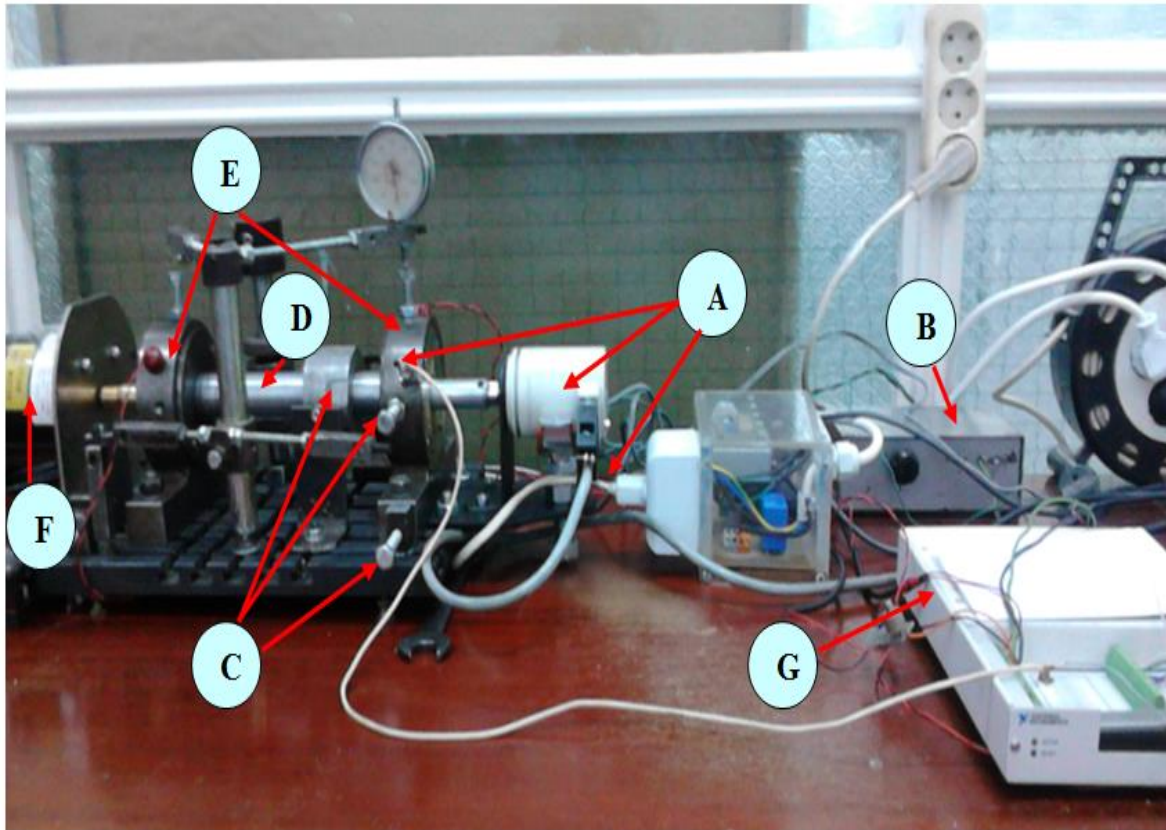


Fig.6.4 Echipamentul de lucru supus cercetării

Standul de cercetare are în alcătuire elementele principale ale unui echipament de lucru, un complex de stimuli pentru dezechilibrare, captori pentru achiziția unor posibile informații, sistemul de analiză și monitorizare, respectiv:

- ansamblul blocului de traductori (tensiune, curent, turație, unghi, vibrație) - **A**;
- sistemul compact de amplificare al semnalului de la traductorul de temperatură - **B**;
- elemente simulare constrângeri (șuruburi, magnet) - **C**;
- ax principal - **D**;
- lagăre principale de sprijin al axului principal - **E**;
- motor electric monofazat de acționare a axului principal – **F**;
- placă de achiziție, soft specializat, monitor - **G**.

6.3.2. Sistem de dezechilibru/simularea orelor de funcționare

După cum se observă în figura 6.6, s-au folosit mai multe elemente pentru a introduce simulări de fenomene posibile, care apar în funcționarea unui echipament tehnic. Aceste elemente sunt: șuruburile (**A**), elementul balador (**B**) având posibilitate de fixare într-o anumită poziție pe ax. Șuruburile folosite permit introducerea unor simulări care să reflecte starea sistemului tehnic, funcție de orele de funcționare. S-a plecat de la echivalarea introducerii unor deplasări ale șuruburilor în ore de funcționare. Acest lucru a fost necesar pentru a micșora durata de funcționare a sistemului tehnic. Astfel, deplasarea maximă de 0,3 mm a șuruburilor a fost echivalată cu circa 2500 ore de funcționare. Totodată, elementul balador a fost implementat pentru a scoate în evidență fenomenele care pot apare la elementele de transmitere ale mișcării de rotație (roți dințate, roți de lanț etc).

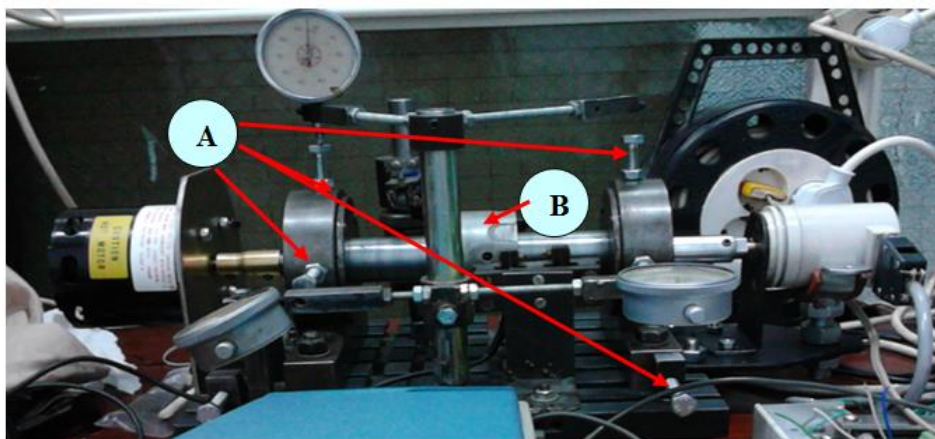


Fig.6.6. Sistem de dezechilibru

6.3.2.2. Simularea timpului de funcționare a sistemului tehnic.

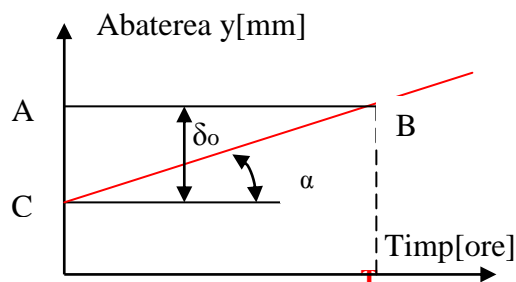
Conform literaturii de specialitate^[113,157], prin analogie, se pleacă de la *timpul mediu de funcționare fără defect* al unui echipament, care este avut în vedere de către producător și beneficiar la recepția unui sistem (timp care este estimat, însă, de experiența proprie a producătorului) și care se află între intervalele limită, T_i (inferior) și T_m (superior).

În literatura de specialitate sus menționată, au fost notate cu α și β valorile riscurilor de funcționare. Pentru o fiabilitate declarată avem $\alpha = \beta$, iar valorile folosite de literatura de specialitate sunt următoarele: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25.

Se menționează în^[113,157] că durata mare a unui test de recepție la fiabilitate este neeconomică. În această situație, se poate lua în calcul alte elemente (variante) de calcul.

Astfel, se poate avea în vedere limitele admisibile ale rezervei de precizie a unui sistem tehnic. Conform ^[113,157], se poate stabili durata de funcționare în limita de precizie T , figura 2.

În triunghiul rezultat ΔABC , figura , dreapta CB reprezintă traseul preciziei mașinii-unelte în intervalul de timp de Δt .

Fig. 6.8 Variația abaterii $y(t)$

există relația:

$$\operatorname{tg} \alpha = \delta_o / T \quad (6.1)$$

dar,

$$b = \operatorname{tg} \alpha \quad (6.2)$$

unde: T = timpul de bună funcționare (ore)

δ_o = precizia mașinii unelte (cartea tehnică) (mm)

b = viteza cu care se diminuează rezerva de precizie (mm/oră)

Am plecat de la premisa că la o intensitate a curentului mai mică de $0,8A$, uzura sistemului (precizia) se încadrează în limita maximă de $0,03\text{mm}$. Dacă se are în vedere că la

un strung de precizie [113,157] valoarea $b = 0,000012$ mm/oră, avem timpul de bună funcționare la valoarea:

$$T = \delta_o \cdot l / b. \quad (6.3)$$

unde:

$$0,03 \text{ (mm)} / 0,000012 \text{ (mm/ore)} = 2500 \text{ (ore)} \text{ valoare maximă}$$

În acest context, am luat în calcul pentru un sistem simplificat, timpul maxim de bună funcționare 2500 ore. Au fost analizate și valorile intermediare de 1000 și 2000 ore.

6.3.5. Sistem de avertizare optică în vederea luării deciziei de mentenanță

Sistemul de avertizare optică prezentat în figura 6.11 este o configurare a unui soft LabVIEW, unde s-a ținut seama de componentele folosite la achiziționarea semnalelor și de tipul de semnal. Totodată au fost configurate aparate de monitorizare adaptate la nevoile cercetării, respectiv platformă pentru monitorizarea valorilor mărimilor electrice (tensiune, intensitate), a temperaturii, turației, vibrațiilor și unghiului unde se manifestă fenomenul.

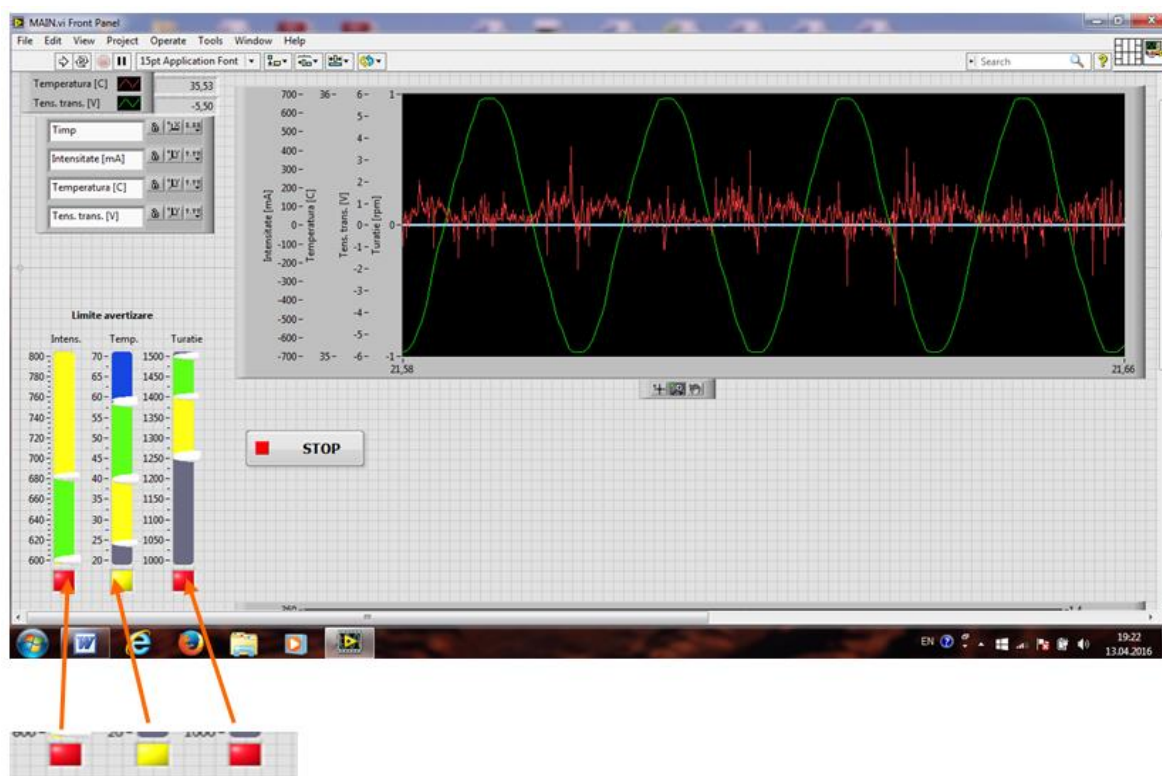


Fig.6.11. Sistem de avertizare optic

Se poate observa, în partea stângă, sistemul specializat de avertizare, care ne pune la dispoziție un semnal optic (🔴 - anormal, 🟡 - normal) când sunt atinse valorile maximale/minimale de funcționare normală ale elementelor echipamentului studiat.

Captura prezentată în figura de mai sus (ex.: tensiune alimentare = 220V curent alternativ, intensitate = 0 A, temperatura carcasei motorului = 34,5 °C, turație = 0 rot/mim) evidențiază alimentarea cu energie electrică din priză, echipamentul fiind oprit după circa o oră de funcționare. Se observă că avem setat cu culoare roșie 🔴 valorile turației și intensității curentului (*caz extrem*, setat în sistem pentru perioada de funcționare a echipamentului), care nu sunt relevante acum, deoarece echipamentul este oprit.

Acest sistem de avertizare optic, alături de înregistrarea mărimii semnalelor electrice face eficientă munca specialistului în mentenanță, ca urmare a alertei primite la atingerea unui prag maxim al funcționării normale (prag setat din documentația tehnică/cercetare).

6.4. Schema bloc a standului pentru studiul mentenanței unui lanț cinematic

În figura 6.12 sunt prezentate principalele elemente componente ale schemei bloc utilizată în cadrul lucrării pentru studiul mentenanței unui lanț cinematic al unui sistem mecanic.

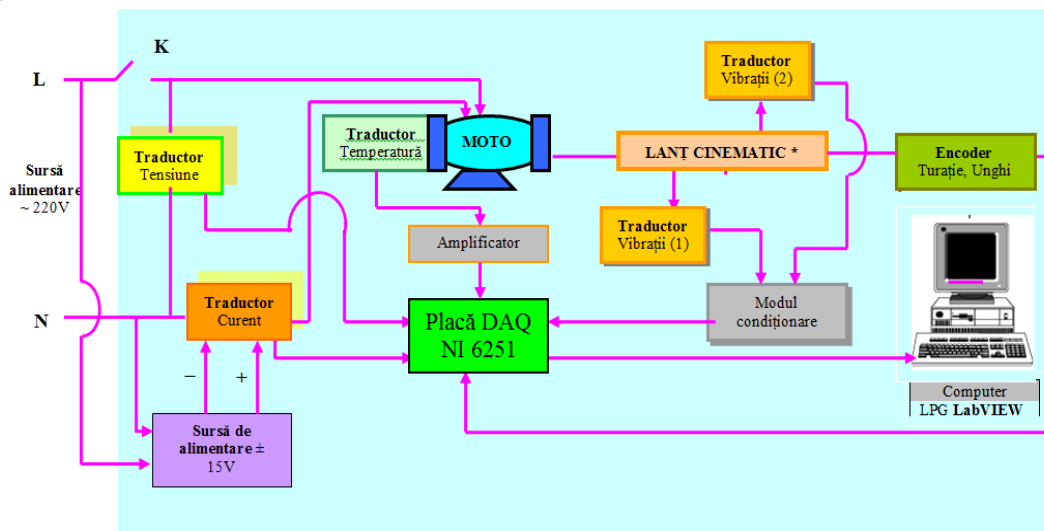


Fig.6.12. Elementele componente ale schemei bloc

În cadrul prezentei lucrări a fost studiat un lanț cinematic simplificat, care să răspundă în totalitate ipotezelor de lucru avute în vederea luării unor decizii de mentenanță și a unei monitorizări complexe.

6.5. Etapele cercetării asupra unui lanț cinematic simplificat

La sistemul cercetat, prezentat în figura 6.14, există posibilitatea simulării unor durate de lucru (ore de funcționare) prin deplasarea componentelor (șuruburilor) 1, 2, 3 și 4. Prin deplasarea controlată a acestora (există montate, pe capetele șuruburilor, palpatoare cu ceasuri comparatoare, care au o precizie de 0,02 mm) se induc tensiuni în carcasa rulmenților I, II.

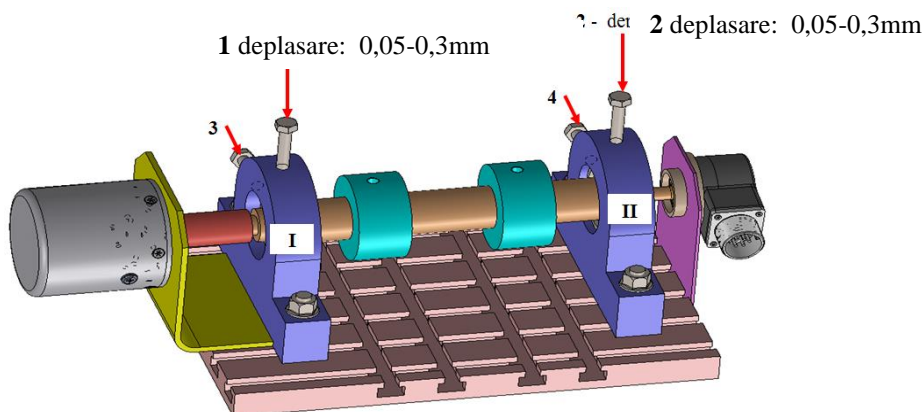


Fig.6.14. Standul de cercetare (model simplificat)

Deplasările au loc într-o anumită ordine, care încearcă să scoată în evidență determinarea apariției unor semnale/informații la sistemele de monitorizare conectate la sistemul cercetat.

La **pasul (k)** se deplasează șuruburile S1 și S2 cu 0,3 mm, iar șuruburile S3 și S4 tot cu 0,3 mm, figura 6.42, se citesc valorile care apar la instrumentul virtual (valorile markerilor de mentenanță: intensitate curent, temperatură, turație), figura 6.43. La sfârșitul acestei operații se lasă sistemul tehnic în funcționare circa 20 min. Se citesc valorile înregistrate. Se observă că valoarea markerilor de mentenanță sunt în creștere/scădere spre o valoare care se regăsește în zona de atenționare maximă (posibil defect), turația motorului scade pe moment la 1250 rot/min, intensitatea curentului crește către valoarea de 0,8 A, figura 6.44. Sistemul de captare a informațiilor, înregistrează continuu valorile markerilor de mentenanță.

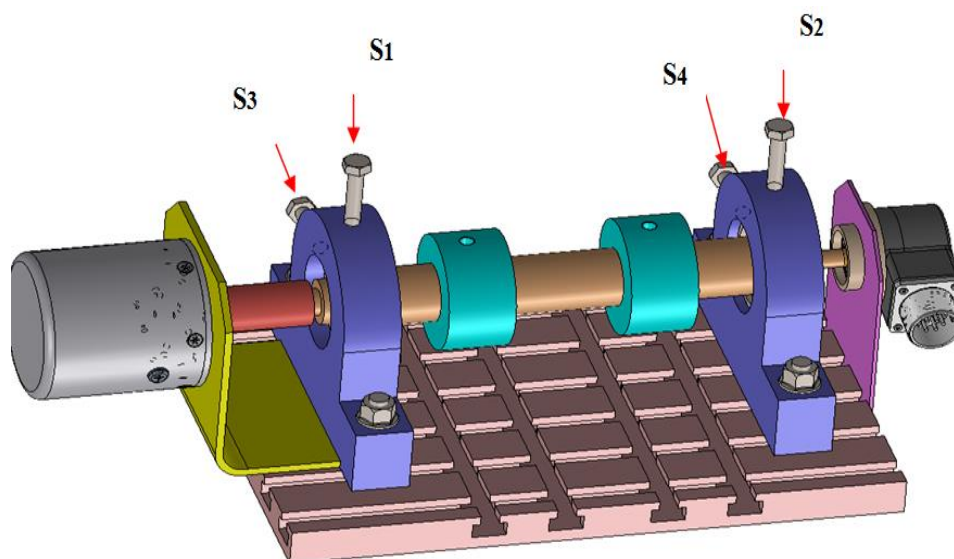


Fig.6.42. Sistem tehnic supus dezechilibrului - starea (k)

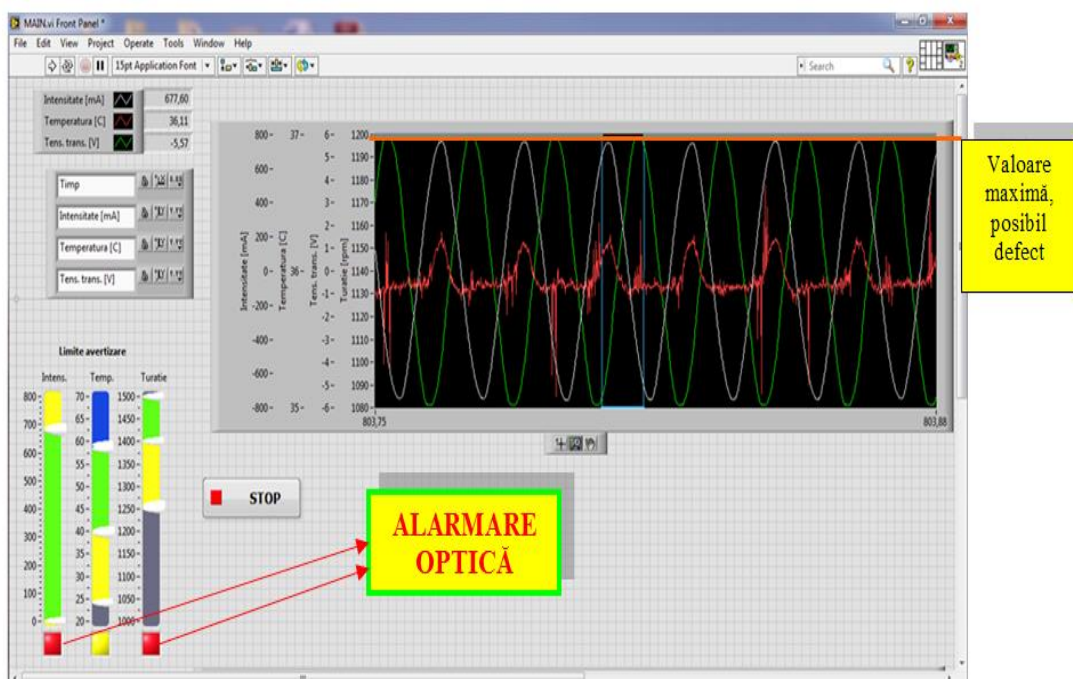


Fig.6.43. Echipament de monitorizare bazat pe LabVIEW - starea (k)

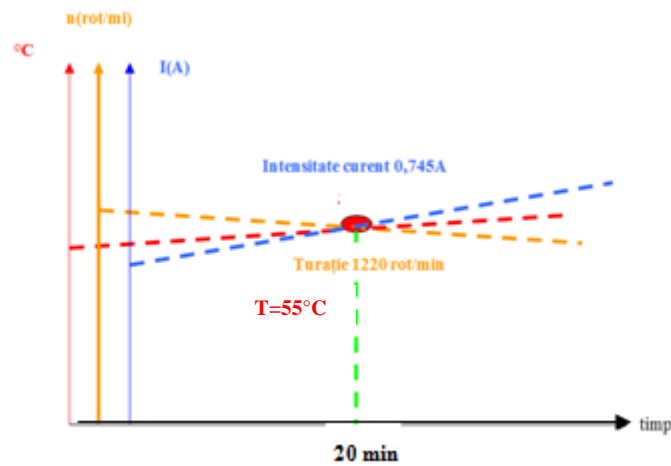


Fig. 6.44. Valorile markerilor de mentenanță - starea (k)

Se captează și înregistrează valorile măsurate. Parte a acestor înregistrări sunt prezentate în tabelul 6.6

La **pasul (J)** se deplasează șuruburile S1 și S2 cu 0,3 mm, iar șuruburile S3 și S4 tot cu 0,3 mm, figura 6.45, se citesc valorile care apar la instrumentul virtual (valorile markerilor de mentenanță: intensitate curent, temperatură, turație), figura 6.46. La sfârșitul acestei operații se lasă sistemul tehnic în funcționare circa 20 min. Și se citesc valorile înregistrate.

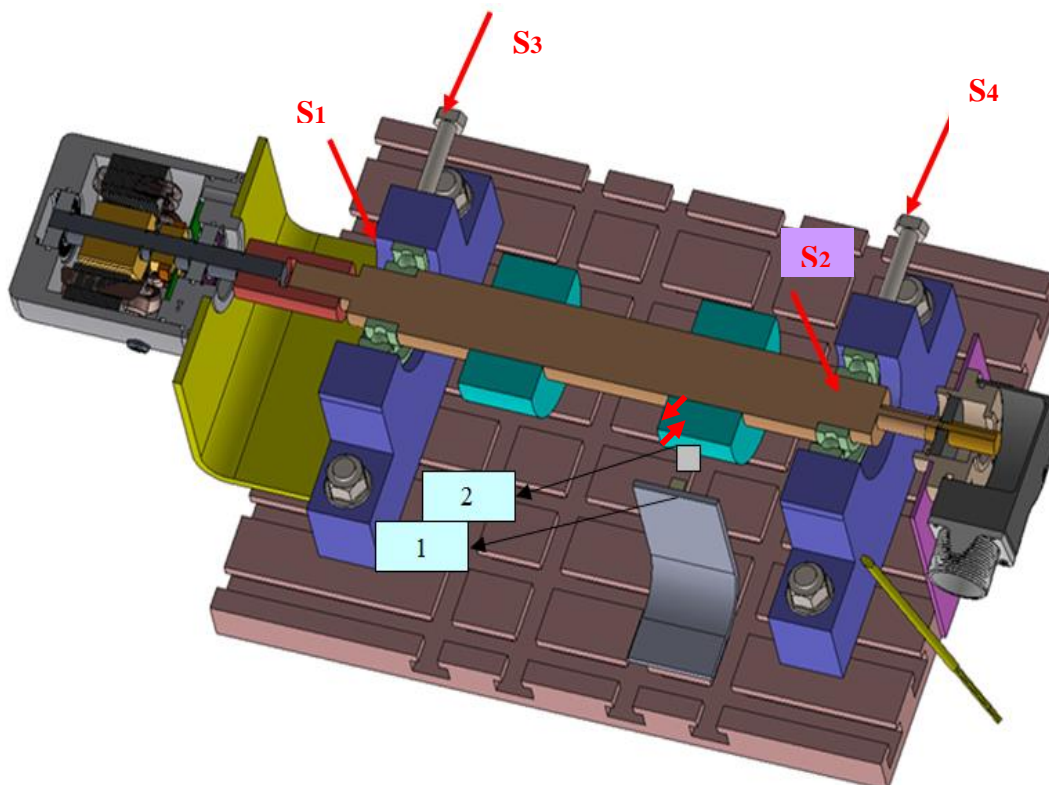


Fig.6.45. Sistem tehnic supus dezechilibrului - starea (j)

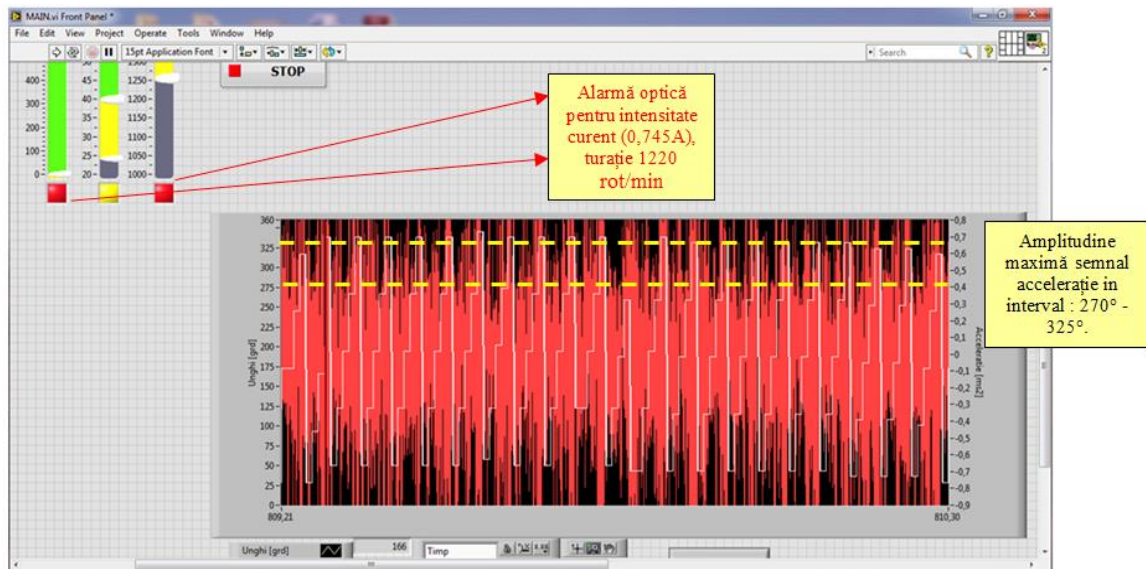


Fig.6.46. Echipament de monitorizare bazat pe LabVIEW pentru starea (1)

Totodată, sunt înregistrate și semnalele de la 2 magneți permanenți unul (1) pe suportul fix, iar celălalt (2) pe axul principal, pentru a simula o posibilă uzură (funcționare necorespunzătoare). Se observă că valoarea markerilor de mentenanță sunt în creștere/scădere spre o valoare care se regăsește în zona de atenționare maximă (posibil defect), turația motorului scade către 1220 rot/min, intensitatea curentului crește către valoarea de 0,8 A, figura 6.43. La instrumentul virtual figura 6.46 se observă că intensitatea maximă a vibrațiilor sistemului este pentru un anumit unghi cuprins în intervalul: 270°-325°. Sistemul de captare a informațiilor înregistrează continuu valorile markerilor de mentenanță. Se captează și înregistrează valorile măsurate.

Parte a acestor înregistrări sunt prezentate în tabelul 6.7.

Tabel 6.7. Valorile măsurate

Nr.	Turație [rot/min]	Accelerație [ms ²]	Unghi [°]	Nr.	Turație [rot/min]	Accelerație [ms ²]	Unghi [°]
1	1350	0,282160	352,8	27	1350	0,420501	72
2	1350	0,282185	352,8	28	1350	0,422346	72
3	1350	0,283014	352,8	29	1350	0,423784	72
4	1350	0,285898	352,8	----	-----	----	----
5	1350	0,287971	352,8	50	1320	0,671013	288
6	1350	0,288375	352,8	51	1320	0,669244	288
7	1350	0,288876	352,8	52	1320	0,669468	288
8	1350	0,395468	352,8	53	1320	0,651057	288
9	1350	0,397797	352,8	54	1320	0,642372	288
10	1350	0,397886	352,8	55	1320	0,653208	288
11	1350	0,397396	352,8	56	1320	0,659302	288
12	1350	0,399906	352,8	57	1320	0,651164	288
13	1350	0,414565	352,8	58	1320	0,600731	288
14	1350	0,421226	352,8	59	1320	0,629087	288
15	150	0,377018	352,8	-----	-----	-----	-----
16	160	0,433621	72	65	1320	0,638197	316
17	170	0,458593	72	66	1320	0,618676	316
18	180	0,410068	72	-----	-----	-----	-----
19	190	0,355617	72	-----	-----	-----	-----
20	200	0,375961	72	-----	-----	-----	-----

21	210	0,425503	72	-----	-----	-----	-----
22	220	0,399452	72	-----	-----	-----	-----
23	230	0,394797	72	-----	-----	-----	-----
24	240	0,394430	72	118	1220	0,359483	64
25	250	0,395255	72	119	1220	0,346932	64
26	260	0,416126	72	120	1220	0,353002	64

La **pasul (m)** analizăm rezultatele obținute. Am constatat o serie de modificări ale parametrilor motorului electric de acționare a sistemului tehnic cercetat.

În urma analizării valorii mărimilor înregistrate prin monitorizare, se observă modificări ale valorilor parametrilor electrici și temperaturii carcasi motorului electric, ca urmare a procesului de uzură normală în funcționarea sistemului tehnic. În acest context, putem controla pe lângă performanțele motorului electric de acționare al sistemului tehnic și starea unor elemente critice ale echipamentului, care trebuie să se încadreze în cerințele tehnice evidențiate de producător, pentru durata de bună funcționare.

Trebuie avute în vedere două situații ale monitorizării, necesare momentului deciziei de mentenanță, respectiv:

- monitorizarea la intervale mari de timp, după perioada de intervenție, pentru reparații curente recomandate de producător;
- monitorizarea la intervale de timp foarte scurte/continuu, pentru momentul când valorile markerilor de mentenanță monitorizați ating praguri apropiate de *limita maximă a zonei de bună funcționare* (zona critică).

Datele interpretate pleacă de la valoarea mărimilor markerilor de mentenanță și a legăturii acestora cu starea echipamentului în mai multe momente ale monitorizării și sunt evidențiate clar în figura 6.47

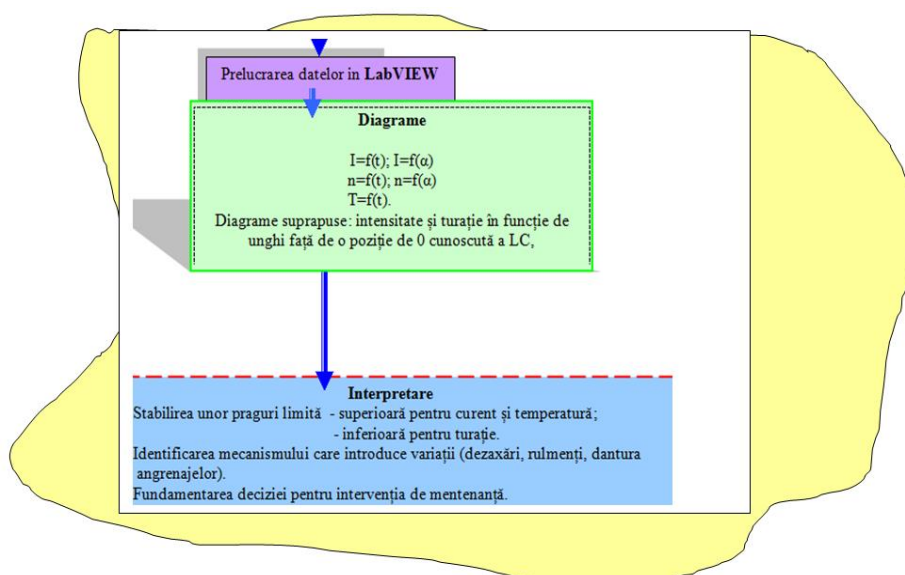


Fig.6.47. Interpretarea rezultatelor cercetării

Evaluarea valorii mărimilor markerilor de mentenanță înregistrate urmăresc:

1. analizarea mărimilor intensității curentului electric în timp la funcționarea normală a sistemului tehnic;
2. analizarea valorilor turației motorului electric funcție de starea sistemului tehnic;
3. analizarea intensității curentului electric funcție de unghiul când sunt captate vibrații maxime în lanțul cinematic;

4. analizarea turației motorului electric funcție de unghiul când apar vibrații maxime în lanțul cinematic;
5. analizarea temperaturii carcasei motorului funcție de valorile intensității curentului și al turației motorului.

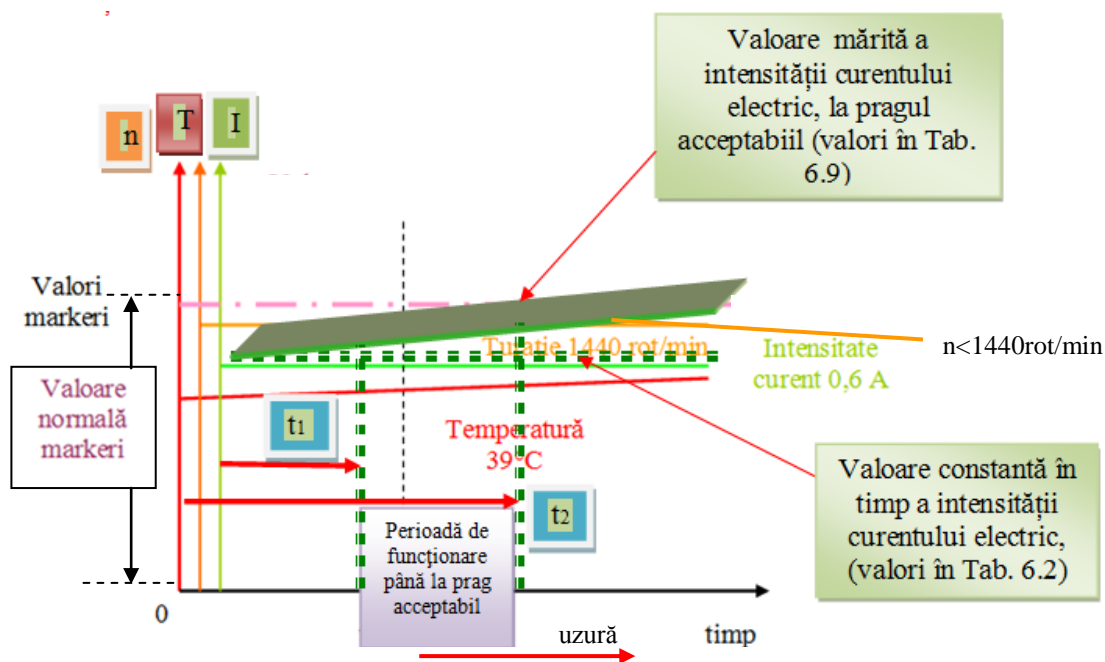


Fig. 6.48. Evoluția valorii intensității curentului electric la momentele t_1 și t_2

6.6 Concluzii

Cercetările realizate folosind markerii de mentenanță, amprenta de curent a motorului, care definește starea echipamentului tehnic (elementelor, lanț cinematic) evidențiază precis că odată cu creșterea componentei perturbatoare (cazul cercetat, prin deplasarea șuruburilor) intensitatea curentului, temperatura cresc, iar turația motorului scade. Această metodă nouă de analiză a echipamentului tehnic prin monitorizarea amprentei de curent, a temperaturii, a unghiului unde are loc o perturbare a stării normale de funcționare, exemplificată în această lucrare, poate fi folosită cu ușurință în mentenanță. Această lucrare scoate în evidență că parametrii motorului de acționare a unui echipament tehnic reprezintă un indicator relevant al stării lui de funcționare, iar markerii consemnați în lucrarea de cercetare sunt indicatori importanți și folosiți pentru asistarea deciziei de mentenanță.

Avantajele instrumentației virtuale decurg din caracteristicile acestora. Odată fixate pragurile de atenționare de către compartimentul de specialitate, VI-ul realizat poate semnaliza optic, acustic sau poate trimite alerte pe telefon sau prin internet.

Chiar mai mult, în lipsa intervenției umane, sistemul tehnic poate fi oprit la atingerea pragurilor programate de compartimentul de specialitate, pentru evitarea defectării unor componente sau posibile accidente.

În Capitolul 7, „Concluziile finale și contribuții” sunt exemplificate concluziile finale, noutățile cercetării și perspectivele de dezvoltare în viitor.

7.1. Concluzii generale

Cunoașterea și controlarea momentului deciziei de mentenanță conduce la menținerea în parametri optimi ai factorilor de risc în utilizarea sistemului, influențând pozitiv beneficiul societății comerciale.

Cercetările efectuate în cadrul tezei au condus la realizarea unui sistem eficient de interpretare a stării componentelor unui lanț cinematic de la un sistem tehnologic prin monitorizarea motorului electric de acționare. Astfel, pentru prima dată s-a stabilit o legătură între caracteristicile dinamice ale mecanismele de transmitere a mișcării și sistemul electromagnetic al motorului de acționare prin monitorizarea și analiza unor parametri electrici ai motorului denumiți de autor markeri de mentenanță. Studiul influenței câmpului electromagnetic al motorului electric asupra deformațiilor sistemului elastic al unui sistem tehnologic a făcut obiectul multor lucrări de specialitate, însă acțiunea inversă, fiind mult mai complexă, nu a fost studiată.

Utilizând sistemul de monitorizare a markerilor de mentenanță putem vizualiza și determina continuu sau ulterior următoarele:

- mărirea semnalelor electrice care pot fi încadrate între praguri de funcționare normală cu includerea unei avertizări optice pentru limita maximă a semnalului;
- identificarea mecanismului din componența lanțului cinematic care modifică caracteristicile dinamice ale sistemului prin corelarea frecvențelor;
- crearea unei baze de date cu semnalele înregistrate;
- evaluarea stării sistemului și stabilirea evoluției acestuia;
- stabilirea nivelului maxim al semnalului prin analiza istoricului funcționării sistemului;
- posibilitatea compunerii unui raport al semnalului de stare pentru sistemul tehnic.

Sistemul de monitorizare folosit prin intermediul instrumentului virtual realizat în această lucrare de cercetare, se compune din:

- senzori pentru captarea markerilor;
- softul LabVIEW pentru instrumentul virtual de monitorizare și procesare;
- componente virtuale de analiză și praguri de control a semnalelor procesate.

Metoda prezentată, bazată pe acest instrument virtual de analiză a valorilor markerilor de mentenanță, dă posibilitatea ținerii sub control și în condiții de siguranță a unui sistem tehnic de producție, cu următoarele avantaje:

- luarea unor decizii la momentul cel mai potrivit;
- mărirea timpului de bună funcționare;
- posibilitatea realizării unei strategii de mentenanță și a responsabilizării personalului de deservire;
- menținerea fiabilității sistemului tehnic conform recomandărilor producătorului sistemului tehnic;
- folosirea eficientă a sistemului pe toată durata de viață comunicată de producător;
- ținerea la valoare acceptabilă a riscurilor în funcționarea sistemului;
- minimizarea timpilor cu oprirea producției;
- posibilitatea controlului de la distanță a sistemului și reducerea riscurilor la valori controlabile în exploatarea sistemului tehnologic.

7.2. Contribuții personale

Contribuții teoretice

- Realizarea unui amplu studiu documentar prin consultarea unei bibliografii care s-a împlinit cu o bogată experiență în domeniul mentenanței de peste 25 ani a autorului.
- Implementarea noțiunii de *Marker de Mentenanță* pentru evaluarea stării unui sistem tehnologic.
- Elaborarea unui model matematic pentru definirea caracteristicilor dinamice ale unui lanț cinematic. Modelul matematic a permis stabilirea dependenței între caracteristicile dinamice ale mecanismelor de transmitere a mișcării într-un lanț cinematic și sistemul electromagnetic al motorului de acționare.
- Realizarea modelului lanțului cinematic (LC) în Matlab-Simulink.
- Studiul prin *simulare a* comportării și influenței diferitelor defecte ale unor mecanisme de transmitere a mișcării într-un lanț cinematic asupra markerilor de mentenanță: curentul electric absorbit de motor, turația și momentul la arborele motor. Simularea s-a făcut în diferite cazuri de încărcare statică și dinamică.
- Utilizarea aparaturii virtuale din soft-ul LabVIEW pentru monitorizarea unui sistem tehnic.

Contribuții experimentale

- Conceperea și realizarea unui stand de lucru.
- Conceperea unui instrument virtual în LabVIEW pentru monitorizarea markerilor de mentenanță stabiliți pentru motorul electric de acționare a lanțului cinematic care să realizeze următoarele funcții:
 - identificarea valorilor apărute ca urmare a funcționării unui sistem tehnic;
 - posibilitatea stabilirii domeniului unghiular unde există o valoare crescută a stării de funcționare la limita necesității lucrărilor de mentenanță;
 - posibilitatea determinării momentului optim pentru luarea deciziei de mentenanță și oprirea sistemului tehnic;
 - posibilitatea determinării timpului de intervenție și a unei aprovizionări eficiente cu piese de schimb.
- Întocmirea unei proceduri de lucru privind monitorizarea stării sistemului tehnic;
- Parcurgerea unui număr de etape de etalonare, testare și lucru la sistemul tehnic de lucru;
- Elaborarea procedurii de evaluare a stării sistemului tehnic prin prelucrarea datelor achiziționate.
- Simularea diverselor defecte ale componentelor lanțului cinematic și achiziția markerilor de mentenanță.

7.3. Direcții ulterioare de cercetare

Cu ajutorul unei tehnologii portabile folosind ochelari speciali, dotați cu soft de mentenanță și un sistem mobil de comunicare echipat cu un soft specializat care deține sau poate prelua un fișier având istoricul comportării în timp a echipamentului, se poate gestiona eficient intervenția într-o secție de producție din orice colț al lumii, cu condiția să existe și o rețea de date mobilă/satelit. Ochelarii inteligenți de mentenanță vor fi echipați cu soft specializat care poate realiza imagini virtuale cu sisteme tehnice

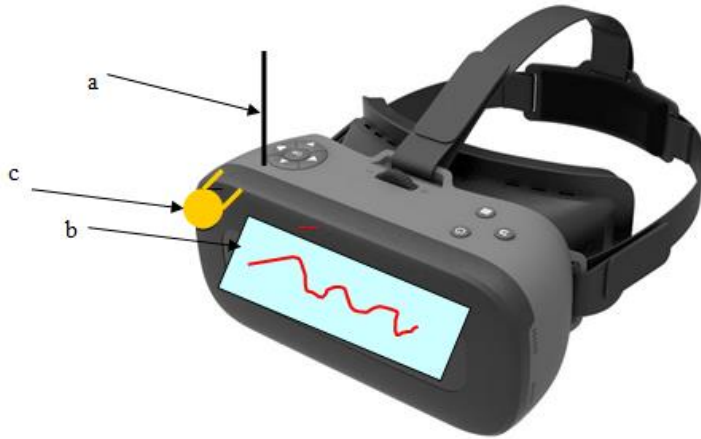


Fig. 7.1 Ochelari de mentenanță cu sistem mobil de comunicare(a-antena, b- ecran proiecție, c- aparat video cu proiector)

Cu acești ochelari de mentenanță, specialiștii pot dezvolta diverse sisteme de streaming audio-video, prin care se poate realiza controlul eficient al echipamentelor de către firmele care au contracte de mentenanță și trebuie să deplaseze specialiști pentru diverse intervenții în locații diverse din lume.

BIBLIOGRAFIE (selecție)

- [1] * * * SR EN 60300-3-14/11.2004 Managementul dependabilității. Mentenanța și suportul de mentenanță;
- [2] *Adam M., Andrușcă M., Baraboi A., Irimia D.F.*, Technical condition and the importance of electrical equipment from a transformer electric substation on their maintenance order, Buletinul AGIR, nr. 2, 2012;
- [3] *Adam M., Baraboi A., Pancu C., Andrușcă M.*, System for monitoring and diagnostics of the electrical equipment, Acta Electrotehnica, Cluj, 2011;
- [4] *Alexandru Magdalena*, - Sisteme de măsurare cu traductoare, Editura Matrixrom, București, 2012;
- [5] *Andrușcă M., Adam M., R. Pantelimon, Baraboi A.*, About diagnosis of circuit breakers from electricity company, 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering - ATEE 2013, IEEE xplore, București, România, 2013;
- [6] *Articol 2.*, Mentenanța total productivă cu software specializat. <http://www.msdi.ro/mentenanta-total-productiav-cu-software-specializat> Editat de Revista-Mentanță și distribuție industrială. Pitești, 2014;
- [7] *Barbu G.*, Modele de simulare cu aplicații în fiabilitate, Editura Tehnică, București 1992
- [8] *Barron, T.*, Engineering Condition Monitoring, London, :Addison Wesley, Longman 1996
- [9] *Bitter, R., Mohiuddin, T., Nawrocki, M.*, LabVIEW Advanced Programming Techniques, CRC Press Boca Raton New York London Tokyo, 2001;
- [10] *Bîrleanu C.* Mentenanța integrată în sistemele de fabricație, Sesiunea științifică studentescă, mai 2015;
- [11] *Bruce Hiatt*, Cele mai bune practici în mentenanță, MOBIL INDUSTRIAL AG @2011Mentanța sistemelor industriale - www.memm.utcluj.ro/materiale-2012;
- [12] *Carrasco M, Cassady CR* (2006) - Studiu privind impactul erorilor într-un sistem de performanță;
- [13] *Charles T. H., ș.a.* Contabilitatea costurilor, o abordare managerială, Editura Arc, Chișinău, 2006;
- [14] *Ciascai A.*, “Sisteme de achiziții de date pentru calculatoare personale”, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1998;
- [15] *Ciobanu A.*, Contribuții privind diagnoza defectelor la motoarele electrice asincrone, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 2013;
- [16] *Cîmpan M., Arghir M* - Studii și cercetări de mentenanța utilajelor, a XIII a Conferință Națională Multidisciplinară, Sebeș, 2013;
- [17] *Cîmpan, M., Arghir M.*, Equipment Maintenance Study, Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and Mechanics, Vol. 56, Issue I, ISSN 1221-5872, Ed. UTPres, 2013;
- [18] *Corăbieru P., Velicu Ș, Corăbieru A., Vasilescu D.D., Păunescu I.*, Research on combined processing technology of superficial layers hardened steel, OPTIROB 2016, Applied Mechanics and Materias, ISSN 1662-7482, Trans Tech Publications, Switzerland, vol. 841, pp 21-28, 2016;
- [19] *Cottet, F., Ciobanu, O.*, Bazele programării în LabVIEW, Editura Matrix Rom, București, 1998;
- [20] *Dumitrașcu V., Ciupitu Adrian S.*, - Bazele Managementului - Aspecte contemporaneale performanței, Editura Pro Universitaria, București, 2013;
- [21] *E. Pop, I. Naforniță, V. Tiponuț, A. Mihăescu, L. Toma*, Metode în prelucrarea numerică a semnalelor”, Editura Facla, Timișoara, Vol.I-1983, Vol.II-1989;
- [22] *Enciu G., Păunescu I.*, Research on Improving the Reliability of Copper Alloys Parts by Polyester Coating (Studiul îmbunătățirii siguranței în exploatare a pieselor din aliaj de cupru prin acoperiri poliesterice pag.560-564, REVISTA DE MATERIALE PLASTICE, Vol. 52, nr. 4, Decembre, 2015, ISSN 0025 / 5289;

- [23] *Enciu G., Velicu S., Paraschiv M. D., Păunescu I.*, Research on the maintenance of parts transport and transfer systems using a polyester textile belt conveyor, pp.257-263, vol.2, nr.6, iunie 2015, Ethan Publishing Company, 1902 Merced Ave, South El Monte, CA 91733, USA, ISSN 2333-9187
- [24] *Engels R., Rongen, H.*, LabVIEW Course Manual, ForschungszentrumJülich GmbH Zentrallabor für Elektronik, 2002;
- [25] *Foșalău C.*, Introducere în instrumentație virtuală, Editura Politehniun, Iași, 2012;
- [26] *Gafițeanu M., Focșa V., Merticaru V., Biborosch L.*, - Vibrații și zgomote, Editura Junimea, Iași 1980
- [27] *Gheorghieș C.*, Modificări structurale în procese de frecare, uzură și oboseală, Ed. Tehnică, București 1994;
- [28] *Gorunescu F., Prodan A.*, Modelarea stochastică și simulare, Editura Albastră, 2001;
- [29] *Harris C. M., Crede E. Charles*, Socuri si vibrații, Editura tehnică, Bucuresti 1969;
- [30] *Hedeșiu H., Munteanu R. Jr.*, Introducere în programare grafică instrumentală, Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 2003;
- [31] *Irimia D.F., Baraboi A., Adam M., Andrușcă M.*, Modeling, EMTP simulation and analyse of the electrical equipment from renewable energy system, Proceedings 7th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering - EPE, Iași, România, 2012, pp. 143-147;