

UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA



FACULTATEA DE INGINERIE ÎN ELECTROMECHANICĂ, MEDIU ȘI INFORMATICĂ INDUSTRIALĂ



Ing. Gheorghe Eugen SUBȚIRELU

SISTEME DE MĂSURĂ VIRTUALE UTILIZATE LA ÎNCERCAREA MOTOARELOR ASINCRONE

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

Prof. Dr. Ing. **Alexandru BITOLEANU**

CRAIOVA
2008

CUPRINS

INTRODUCERE

1. ASPECTE GENERALE PRIVIND ÎNCERCAREA MAȘINILOR ELECTRICE

1.1. TIPURI DE ÎNCERCĂRI, ÎNCERCĂRI SPECIFICE ȘI ÎNCERCĂRI COMUNE TUTUROR MAȘINILOR ELECTRICE

1.2. CONDIȚII TEHNICE GENERALE, CONȚINUTUL BULETINULUI DE ÎNCERCARE

1.3. TENDINȚE ȘI ORIENTĂRI ACTUALE ÎN ÎNCERCAREA MAȘINILOR ELECTRICE

2. SISTEME DE MĂSURĂ VIRTUALE

2.1. ELEMENTE GENERALE ALE SISTEMELOR DE MĂSURĂ VIRTUALE

2.2. ARHITECTURA SISTEMELOR DE MĂSURĂ VIRTUALE

2.2.1. *Componenta hardware a unui sistem de măsură virtual*

2.2.2. *Componenta software a unui sistem de măsură virtual*

2.3. INSTRUMENTE DE MĂSURĂ VIRTUALE

3. NOȚIUNI GENERALE DESPRE TEORIA MAȘINII ASINCRONE ÎN REGIM STAȚIONAR DE FUNCȚIONARE; PRINCIPALELE ÎNCERCĂRI ALE MOTORULUI ASINCRON

3.1. SCHEMA ELECTRICĂ ECHIVALENTĂ, ECUAȚIILE DE FUNCȚIONARE, MĂRIMI CARACTERISTICE, BILANȚUL PUTERILOR

3.2. DETERMINAREA PARAMETRILOR ÎNFĂȘURĂRILOR

3.2.1. *Determinarea rezistenței înfășurărilor*

3.2.2. *Determinarea reactanțelor X_1, X_2' și a rezistențelor R_2, R_2' prin încercarea de scurtcircuit*

3.2.3. *Determinarea reactanței X_m și a rezistenței R_{Fe} prin încercarea de mers în gol*

3.3. CARACTERISTICILE DE FUNCȚIONARE PRINCIPALE ALE MOTORULUI ASINCRON ÎN CAZUL REGIMULUI STAȚIONAR

3.3.1. *Caracteristica mecanică a motorului asincron*

3.3.2. *Caracteristicile de funcționare definite în funcție de puterea utilă*

3.3.2.1. *Caracteristica randamentului*

3.3.2.2. *Caracteristica factorului de putere (FP)*

3.3.3. *Caracteristicile artificiale ale motorului asincron*

3.4. ÎNCERCĂRILE MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE

3.4.1. *Verificarea tehnică generală*

3.4.2. *Măsurarea rezistenței de izolație dintre înfășurări și între înfășurări și masa mașinii*

3.4.3. *Încercarea la tensiune mărită a izolației dintre înfășurări și între înfășurări și masa mașinii*

3.4.4. *Încercarea izolației dintre spire*

3.4.5. *Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu*

3.4.6. *Determinarea raporului de transformare la motoarele cu rotor bobinat*

3.4.6.1. *Metoda alimentării trifazate a înfășurării statorice*

3.4.6.2. *Metoda alimentării trifazate, succesive a înfășurării statorice și rotorice*

3.4.6.3. *Metoda alimentării unei faze a înfășurării statorice*

3.4.7. *Încercarea la funcționarea în gol*

3.4.8. *Încercarea la funcționarea în scurtcircuit*

3.4.9. *Determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină*

4. INSTRUMENTE DE MĂSURĂ VIRTUALE PENTRU DETERMINAREA PARAMETRILOR SCHEMEI ELECTRICE ECHIVALENTE LA UN MOTOR ASINCRON

4.1. INSTRUMENT VIRTUAL PENTRU DETERMINAREA DEFAZAJULUI DINTRE DOUĂ MĂRIMI SINUS

4.2. INSTRUMENT VIRTUAL PENTRU DETERMINAREA PARAMETRILOR R_1, X_1, R_2', X_2' PRIN ÎNCERCAREA DE SCURT-CIRCUIT

4.3. INSTRUMENT VIRTUAL PENTRU DETERMINAREA PARAMETRILOR R_{Fe}, X_m PRIN ÎNCERCAREA DE MERS ÎN GOL

4.4. SISTEM DE MĂSURĂ VIRTUAL PENTRU DETERMINAREA ÎN TIMP REAL A PARAMETRILOR SCHEMEI ECHIVALENTE PE FAZĂ LA UN MOTOR ASINCRON

5. INSTRUMENTE DE MĂSURĂ VIRTUALE PENTRU TRASAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCȚIONARE ÎN REGIM STAȚIONAR PENTRU UN MOTOR ASINCRON

5.1 INSTRUMENT VIRTUAL PENTRU TRASAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCȚIONARE PENTRU UN MOTOR ASINCRON

5.2. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU TRASAREA CARACTERISTICILOR ARTIFICIALE PENTRU UN MOTOR ASINCRON

5.2.1. *Instrument virtual pentru trasarea caracteristicilor de funcționare cu modificarea tensiunii de alimentare $U_1 \neq U_{1n}$*

5.2.2. *Instrument virtual pentru trasarea caracteristicilor de funcționare, cu modificarea frecvenței de alimentare $f_1 \neq f_{1n}$*

5.2.3. *Instrument virtual pentru trasarea caracteristicilor de funcționare, cu menținerea raportului $U_1/f_1=ct.$*

5.2.4. *Instrument virtual pentru trasarea caracteristicilor de funcționare, cu modificarea rezistenței rotorice $R_2 \neq R_2$*

5.3. SISTEM DE MĂSURĂ VIRTUAL UTILIZAT PENTRU TRASAREA ÎN TIMP REAL A CARACTERISTICILOR DE FUNCȚIONARE ALE UNUI MOTOR ASINCRON

5.3.1. *Caracteristicile de funcționare, schema electrică experimentală*

5.3.2. *Instrument virtual pentru trasarea graficului curbei randamentului în cazul unui generator de c.c. tarat*

5.3.3. *Sistem Virtual pentru trasarea caracteristicilor de funcționare*

5.3.3.1. *Panoul Frontal al instrumentului virtual*

5.3.3.2. *Diagrama Bloc a instrumentului virtual*

6. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU STOCAREA DATELOR

6.1. FUNCȚII ȘI VI-URI UTILIZATE PENTRU OPERAȚII DE I/O CU FIȘIERE; TIPURI DE FIȘIERE UTILIZATE

6.2. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU FIȘIERE TIP SPREADSHEET

6.3. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU FIȘIERE TIP BYTE STREAM

6.4. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU FIȘIERE TIP DATALOG

6.5. FIȘIERE DE DATE TIP LABVIEW MEASUREMENT

7. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU ÎNTOCMIREA RAPOARTELOR DE ÎNCERCARE

7.1. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU ÎNTOCMIREA RAPOARTELOR DE ÎNCERCARE TIP STANDARD

7.2. INSTRUMENTE VIRTUALE PENTRU ÎNTOCMIREA RAPOARTELOR DE ÎNCERCARE TIP HTML

7.3. INSTRUMENTE VIRTUALE EXPRESS PENTRU ÎNTOCMIREA ȘI TIPĂRIREA RAPORTULUI DE ÎNCERCARE

8. SISTEM DE MĂSURĂ VIRTUAL UTILIZAT LA ÎNCERCAREA UNUI MOTOR ASINCRON

8.1. COMPONENTA HARDWARE A SISTEMULUI DE MĂSURĂ VIRTUAL

8.2. COMPONENTA SOFTWARE A SISTEMULUI DE MĂSURĂ VIRTUAL

8.3. INSTRUMENT VIRTUAL PENTRU ÎNCERCAREA MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE

8.3.1. *Obiectivele, funcțiile și structura generală a instrumentului virtual*

8.3.2. *VI-ul pentru introducerea datelor inițiale ale încercării*

8.3.3. *VI-ul pentru determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu*

8.3.3.1. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.3.2. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.3.3.3. *Modul de lucru pentru utilizarea independentă a instrumentului virtual*

8.3.4. *VI-ul pentru determinarea raportului de transformare în cazul motoarelor cu rotorul bobinat*

8.3.4.1. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.4.2. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.3.4.3. *Modul de lucru pentru utilizarea independentă a instrumentului virtual*

8.3.5. *VI-ul pentru încercarea de mers în gol*

8.3.5.1. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.5.2. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.3.5.3. *Modul de lucru pentru utilizarea independentă a instrumentului virtual*

8.3.6. *VI-ul pentru încercarea de scurtcircuit*

8.3.6.1. *Suportul matematic pentru determinarea analitică a tensiunii U'_{sc}*

8.3.6.2. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.6.3. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.3.6.4. *Modul de lucru pentru utilizarea independentă a instrumentului virtual*

8.3.7. *VI-ul pentru determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină*

8.3.7.1. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.7.2. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.3.7.3. *Modul de lucru pentru utilizarea independentă a instrumentului virtual*

8.3.8. *VI-ul pentru formularea concluziilor încercării*

8.3.9. *VI-ul pentru întocmirea, salvarea și tipărirea raportului de încercare*

8.3.9.1. *Descrierea panoului frontal al instrumentului virtual*

8.3.9.2. *Descrierea diagramei bloc a instrumentului virtual*

8.4. TESTAREA METROLOGICĂ A SISTEMULUI VIRTUAL DE MĂSURARE

8.5. MODUL DE LUCRU PENTRU UTILIZAREA INDEPENDENTĂ A SISTEMULUI VIRTUAL DE MĂSURĂ ÎN ANSAMBLU

9. REZULTATE EXPERIMENTALE

10. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE

BIBLIOGRAFIE

ANEXE

CUVINTE CHEIE

Încercări motor asincron, Instrument virtual, LabVIEW, Sistem de măsură virtual

REZUMAT

Obiectivul principal al tezei a fost rezolvarea unei probleme practice și de actualitate, respectiv introducerea unei noi tehnologii la încercarea mașinilor electrice și elaborarea automată a documentelor aferente.

Noua tehnologie are în vedere trecerea la măsurarea numerică și prelucrarea automată a datelor, sub mediul de programare grafică LabVIEW. Astfel se urmărește înlocuirea vechilor instrumente de măsură analogice folosite în prezent în multe din standurile de încercări mașini electrice cu un sistem de măsură virtual. Acest sistem este capabil să îndeplinească cu succes funcțiile de achiziție de date, memorare și stocare pe un anumit suport a datelor achiziționate, prelucrarea lor prin analiză on-line sau off-line, precum și vizualizarea, tipărirea sau distribuirea către cei interesați prin facilități de networking a rapoartelor de încercare generate în mod automat.

Sistemul de măsură virtual realizat, prin structura și performanțele sale își găsește aplicabilitatea în următoarele domenii:

- în standurile de încercări mașini electrice rotative;
- în laboratoarele de cercetare – proiectare;
- în laboratoarele institutelor de învățământ universitar și preuniversitar; în acest sens utilizarea funcției de simulare permite implementarea unui mod interactiv de instruire.

Lucrarea este structurată din punct de vedere al conținutului în trei părți prezentate în continuare:

Partea întâi descrie aspectele generale, teoretice ale încercărilor mașinilor electrice împreună cu noțiunile introductive privitoare la sistemele de măsură virtuale și este formată din capitolele unu, doi și trei.

Aspectele generale privind încercările mașinilor electrice sunt prezentate în *primul capitol* și se referă la: tipuri de încercări; încercări comune tuturor mașinilor electrice și încercări specifice anumitor tipuri de mașini electrice; condiții tehnice generale; ce trebuie să conțină un buletin de încercare precum și tendințe și orientări actuale în domeniul încercărilor mașinilor electrice (utilizarea calculatoarelor atât în structuri deschise de tip comandă cât și în structuri închise de tip conducere a procesului de încercare; analiza circuitului motorului; analiza răspunsului curent/frecvență; analiza vibrațiilor; analiza imaginii în infraroșu; încercări cu ultrasunete).

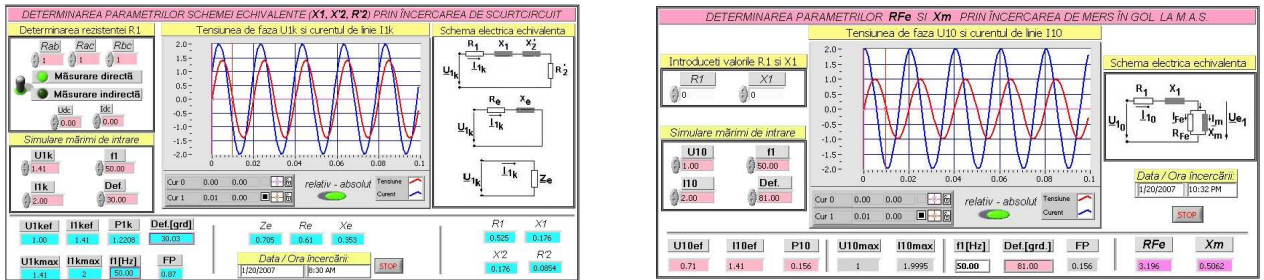
Sistemele de măsură clasice precum și sistemele de măsură virtuale sunt tratate în *capitolul doi*, cu prezentarea arhitecturii acestora. Sunt prezentate noțiuni generale despre componenta hardware (traductoare, elemente de condiționare, modulul de achiziție de date, calculatorul) și software (sistemul de operare al calculatorului, driver-ul modulului de achiziție, mediul de programare grafică, programele care realizează achiziția și prelucrarea datelor – instrumentele virtuale) a unui sistem de măsură virtual. Pentru instrumentele virtuale sunt puse în evidență flexibilitatea și înaltul lor grad de integrare.

Noțiunile generale despre teoria mașinilor electrice sunt puse în evidență în *capitolul trei*, cu referire la motorul asincron în regim staționar: ecuațiile de funcționare, schema electrică echivalentă, mărimi și parametri caracteristici. De asemenea sunt determinați parametrii înfășurărilor motorului (rezistența statorului R_1 , reactanța de scăpări a statorului X_1 , rezistența rotorului R_2 , rezistența rotorului raportată la stator R_2' , reactanța rotorică raportată la stator X_2') precum și rezistența corespunzătoare pierderilor în miezul feromagnetic R_{Fe} sau reactanța de magnetizare X_m . Sunt definite principalele caracteristici de funcționare ale motorului asincron: caracteristica mecanică, caracteristici artificiale precum și alte caracteristici în funcție de puterea utilă P_2 și prezentate câteva din cele mai importante încercări prevăzute în standardul pentru încercarea motoarelor asincrone trifazate (SR7246) și anume: verificarea tehnică generală, determinarea rezistenței înfășurărilor în c.c., încercarea la funcționarea de mers în gol, încercarea la funcționarea de scurtcircuit, determinarea caracteristicilor de funcționare în

sarcină, etc. Toate aceste noțiuni prezentate în capitolul trei constituie fundamentul teoretic al instrumentelor virtuale construite în capitolele următoare.

În *partea a doua* a lucrării (capitolele patru, cinci, șase și șapte) sunt construite o serie de programe, instrumente virtuale care vor fi folosite total sau parțial la realizarea sistemului de măsură virtual.

Realizarea subVI-ului pentru determinarea defazajului dintre două mărimi sinusoidale (tensiune și curent), mărime necesară pentru calculul puterii active absorbite de motor este realizat în *capitolul patru*. De asemenea, aici sunt realizate instrumente virtuale pentru determinarea parametrilor schemei electrice echivalente pe fază prin încercările de scurtcircuit și de mers în gol (fig. 1).



a) b)
Fig. 1 - Panoul frontal al instrumentului virtual pentru determinarea parametrilor schemei echivalente la scurtcircuit (a) și mers în gol (b)

Folosind modulul de achiziție NI-USB-6008 și două traductoare LEM (unul de tensiune și unul de curent) s-a realizat un sistem de măsură virtual pentru determinarea parametrilor schemei electrice echivalente pe fază la un motor asincron prin achiziție reală de date. Panoul frontal al acestui instrument virtual este prezentat în (fig. 2).

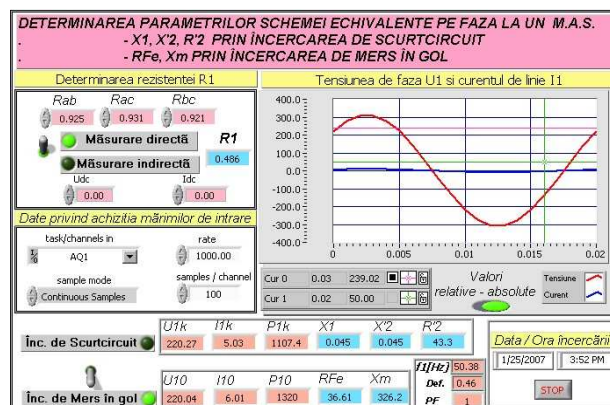


Fig. 2 - Panoul frontal pentru determinarea parametrilor prin achiziție reală

Instrumentele virtuale pentru trasarea diferitelor familii de caracteristici de funcționare ale motorului asincron sunt realizate în *capitolul cinci* (fig. 3).

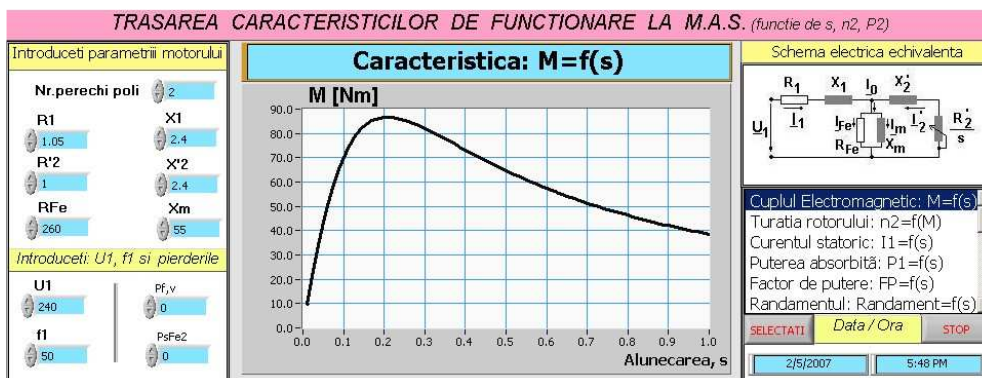


Fig. 3 - Panoul frontal pentru Caract_Functionare.vi

De asemenea sunt construite instrumente virtuale pentru trasarea mai multor caracteristici, cu modificarea anumitor parametri, în scopul comparării acestora între ele: modificarea tensiunii U_1 (fig. 4a), modificarea frecvenței f_1 (fig. 4b), modificarea rezistenței rotorice R_2 (fig. 4c), modificarea tensiunii U_1 sau a frecvenței f_1 , cu păstrarea raportului U/f constant (fig. 4d).

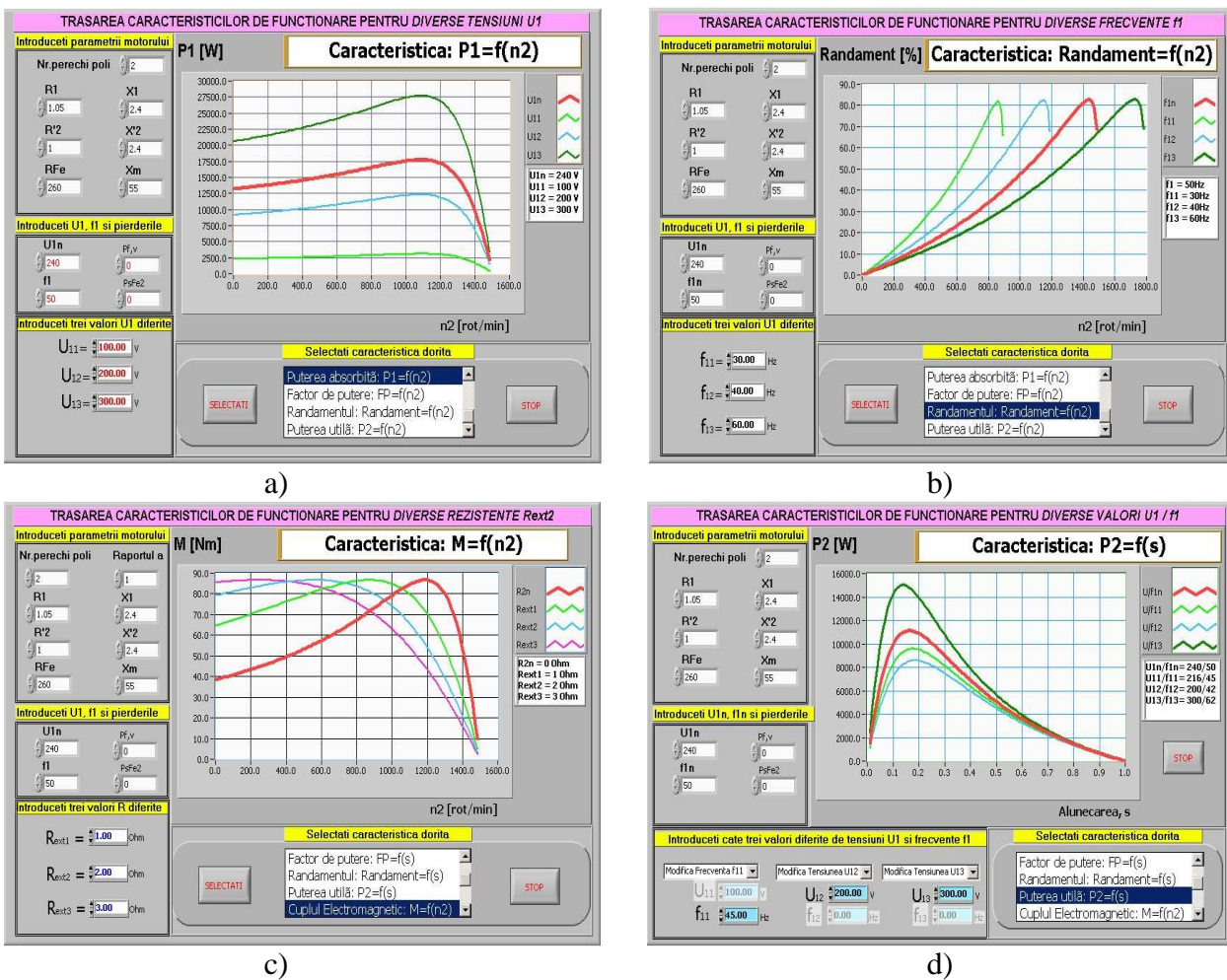


Fig. 4 – Panoul frontal al VI-urilor pentru trasarea prin comparație a caracteristicilor de funcționare

Scopul realizării acestor instrumente este acela de familiarizare cu modul de proiectare și funcționare al instrumentelor virtuale precum și de a verifica corecta funcționare a unor subVI-uri care vor fi integrate apoi în sistemul de măsură virtual.

Descrierea instrumentelor virtuale pentru stocarea datelor, realizate cu funcții speciale oferite de LabVIEW se găsesc în **capitolul șase**. Sunt prezentate diverse tipuri de fișiere de stocare (spreadsheet-text, byte stream-binare, datalog), atât pentru scriere cât și pentru citire, cu avantajele și dezavantajele fiecăruia.

Întocmirea raportului (buletinului) care trebuie să fie eliberat după fiecare încercare efectuată asupra unei mașini electrice este prezentat în **capitolul șapte** unde sunt tratate două moduri de realizare a acestui raport: în format HTML (pentru a putea fi vizualizat într-un browser specializat) sau în format standard (pentru a putea fi tipărit automat la o imprimantă cuplată la calculatorul sistemului).

Partea a treia a lucrării pune în evidență “rezultanta” tuturor „vectorilor” dezvoltăți în capitolele precedente. Astfel în **capitolul opt** este prezentat pe larg sistemul de măsură virtual utilizat la încercarea unui motor asincron cu următoarele componente hardware principale: traductoarele - LEM, modulul de condiționare, modulul de achiziție - NI-USB-6210 și calculatorul - Laptop (fig. 5).

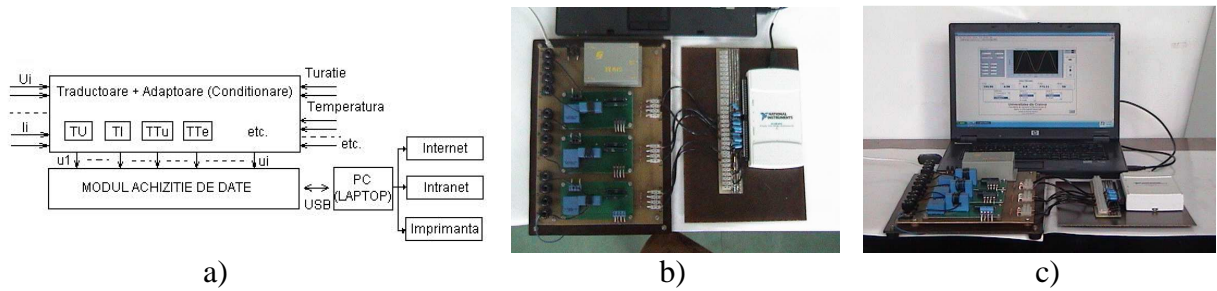


Fig. 5 – Componenta hardware a sistemului de măsură virtual:
a) schema bloc, b), c) imagini foto

Tot în acest capitol se prezintă structura generală a sistemului de măsură realizat privind componenta software cu toate VI-urile dispuse în mod ierarhic pentru a se observa cu ușurință interdependența dintre acestea (fig.6).

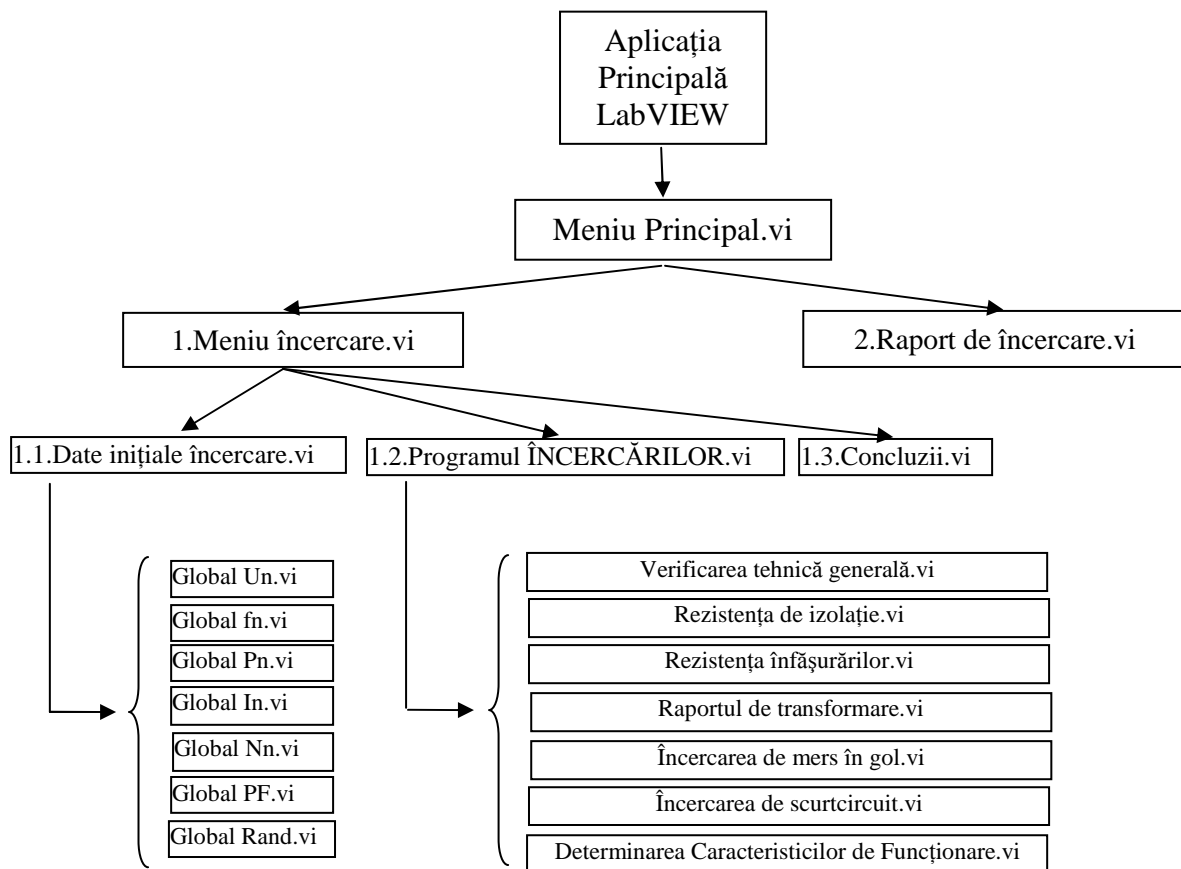


Fig. 6 - Structura generală a instrumentului virtual folosit pentru încercarea motoarelor electrice asincrone

Sunt descrise panourile frontale și diagramele bloc (codul sursă) al fiecărui VI în parte. De asemenea cum fiecare instrument virtual poate funcționa atât independent (în regim de *Simulare* sau în regim de *Achiziție Reală*) cât și integrat în cadrul sistemului de măsură, sunt descrise ambele moduri de lucru: utilizare independentă și utilizare în cadrul sistemului. În (fig. 7) sunt prezentate câteva din cele mai importante VI-uri ale sistemului și anume: a) Meniul principal; b) Datele inițiale ale încercării; c) Verificarea tehnică generală; d) e) Rezistența înfășurărilor; f) Raportul de încercare; g) Încercarea de mers în gol; e) Încercarea de scurtcircuit; f) Determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină.

Tot în acest capitol sunt prezentate și rezultatele testării funcției de măsurare a sistemului de măsură cu ajutorul unor mijloace etalon în cadrul unui laborator metrologic autorizat.

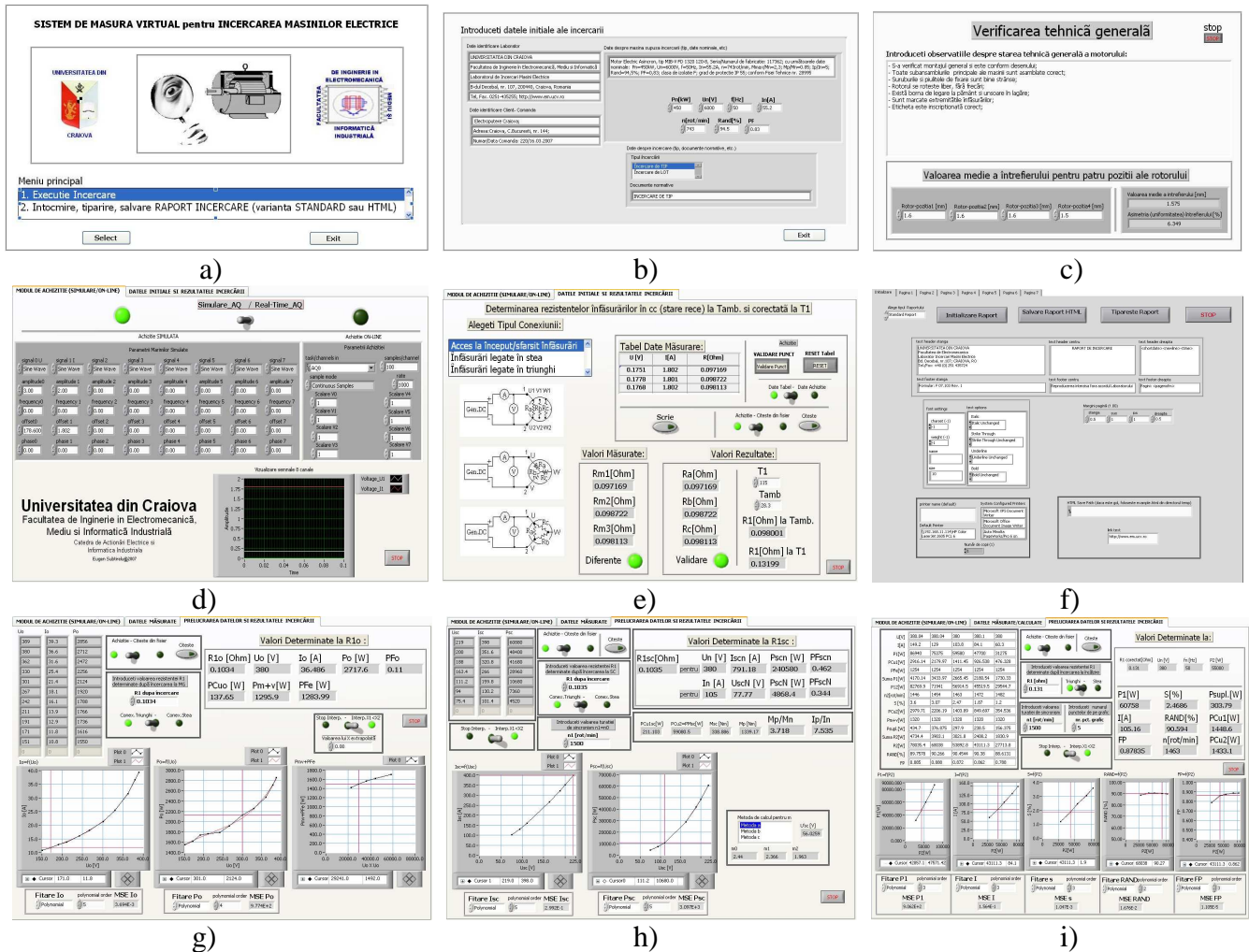


Fig. 7 – Panourile frontale ale principalelor VI-uri ale sistemului

Evidențierea rezultatelor experimentale obținute la verificarea sistemului într-un stand de încercări mașini electrice se face în *capitolul nouă*. S-au executat un număr de șase încercări din cadrul programului încercărilor de tip pentru un *Motor Asincron cu rotorul în scurtcircuit, tip: MIB3 250M 65-4; conex.Δ; P=55 kW; U=380 V*.

Pentru verificarea corectitudinii funcționării sistemului s-a efectuat mai întâi o testare a sa pe funcția de *Simulare* folosind datele conținute în dosarul de omologare al acestui tip de motor; aceste date au fost furnizate sistemului sub formă tabelară. Fiecare instrument virtual a fost folosit atât independent cât și complet integrat în cadrul sistemului în ansamblu. În lucrare sunt prezentate prin comparație (atât în reprezentare grafică cât și numeric) rezultatele obținute cu ajutorul sistemului virtual și cele consemnate în raportul întocmit la omologare, observându-se similitudinea acestor rezultate.

După ce a fost verificat și testat din punct de vedere al corectitudinii achiziției datelor (prin testarea metrologică) și din punct de vedere al realizării softului de prelucrare a datelor (prin introducerea unor date sigure din timpul încercărilor de omologare, folosind funcția de *Simulare* și compararea rezultatelor obținute cu cele din buletinul de omologare) s-a efectuat și o verificare a sistemului integrat în standul de încercări, pentru o achiziție reală a datelor folosite în prelucrările cerute de program. La sfârșitul încercărilor a fost elaborat în mod automat un raport de încercare care a fost tipărit la o imprimantă cuplată la calculatorul sistemului.

Rezultatele experimentale obținute confirmă corectitudinea alegerii soluțiilor și viabilitatea acestor sisteme, fiind obținute rezultate comparabile cu cele determinate prin metodele clasice.

Concluziile, contribuțiile precum și perspectivele viitoare ale sistemului de măsură virtual, sunt puse în evidență în *capitolul zece*, din care reiese îndeplinirea obiectivului principal al tezei și anume realizarea unui sistem de măsură performant, complet și complex. Viitorul este al acestor sisteme!!