



Universitatea din Craiova

FACULTATEA DE ELECTROTEHNICĂ



Rezumat al tezei de doctorat

Virginia IVANOV

**CONTRIBUȚII LA REALIZAREA SISTEMELOR DE
MONITORIZARE ȘI CONTROL A
ECHIPAMENTELOR ELECTRICE**

**Conducător științific
Prof.dr.ing. G.A. CIVIDJIAN**

CRAIOVA

– 2004 –

CUPRINS
(extras)

Cuprins	2
Lista simbolurilor utilizate	6
Introducere	9
1. Sisteme de monitorizare. Stadiu actual	13
1.1. Importanța sistemelor de monitorizare	13
1.2. Principii de prelucrare numerică a mărimilor electrice	15
1.2.1. Principii de prelucrare numerică pentru o mărime de proces	15
1.2.2. Principii de prelucrare pentru două mărimi de proces	21
1.3. Stadiul actual al instalațiilor de monitorizare	24
1.4. Concluzii și contribuții	25
2. Sisteme de supraveghere și control a instalațiilor industriale	27
2.1. SCADA, control supervizor și achiziții de date	27
2.1.1. Introducere	27
2.1.2. Elementele sistemelor SCADA	28
2.1.3. Sisteme în timp real	29
2.1.4. Sisteme de securitate	31
2.1.5. Comunicațiile	32
2.1.6. Comunicația radio	40
2.1.7. Unitățile terminal depărtate (RTU)	44
2.1.8. Unități master (MTU)	51
2.1.9. Senzori, elemente de acționare și cablare	54
2.1.10. Interfața operator	55
2.1.11. Tendințe în evoluția sistemelor SCADA	57
2.2. Sisteme expert	57
2.2.1. Istoria inteligenței artificiale	57
2.2.2. Sisteme expert. Generalități	58
2.2.3. Aplicațiile și domeniile sistemelor expert	59
2.2.4. Dezvoltarea unui sistem expert	59
2.2.5. Reprezentarea cunoașterii	60
2.2.6. Avantajele sistemelor expert	71
2.3. Concluzii și contribuții	72
3. Tehnici de comutație controlată	73
3.1. Introducere	73
3.2. Condiții și proceduri de încercare impuse componentelor individuale și sistemelor integrate	74
3.3. Aplicații ale comutației controlate	77
3.3.1. Comutarea sarcinilor capacitive	77
3.3.2. Comutarea sarcinilor inductive	85
3.3.3. Comutarea transformatoarelor	87
3.3.4. Comutarea liniilor de transport și distribuție	93
3.4. Concluzii și contribuții	106
4. Micro-sistem de monitorizare	108
4.1. Modul de achiziție și transfer	108
4.1.1. Structura hardware a modului de achiziție și transfer	108
4.1.2. Structura software a modului de achiziție și transfer	118
4.2. Interfața utilizator	133
4.3. Propunere de integrare a micro-sistemului experimental într-un sistem de monitorizare	136
4.4. Concluzii și contribuții	137
5. Verificări experimentale	139
5.1. Prezentare generală a condițiilor de testare	139
5.2. Determinări experimentale cu sarcină rezistivă	139
5.3. Determinări experimentale cu sarcină rezistiv-inductivă	143
5.4. Concluzii și contribuții	149
6. Concluzii și contribuții finale	151
Bibliografie	160
Anexe 1-8 Programul principal și rutinele în limbaj de asamblare	
Anexa 9 Interfața utilizator	

Ținând cont de dezvoltarea puternică a microelectronicii, pe baza celor mai noi cuceriri ale științei, lucrarea urmărește să abordeze dezvoltarea unui sistem de monitorizare și control a echipamentelor electrice, prin utilizarea micro controlerelor. Teza este organizată pe cinci capitole, la care se adaugă Introducere, Lista simbolurilor utilizate, Concluzii și contribuții, Bibliografia și nouă Anexe.

În primul capitolul, intitulat „Sisteme de monitorizare. Stadiu actual” s-a prezentat importanța sistemelor de monitorizare și a funcțiilor realizate de acestea. Datorită progresului tehnic, se observă că, din ce în ce mai multă inteligență este integrată în echipamentele electrice, care realizează monitorizare, auto evaluare și diagnosticare.

Se descrie structura de bază a unui sistem de monitorizare, care, în principal, se compune din două părți: sistemul de achiziție de date din proces și unitatea centrală. Sistemul de achiziție de date din proces este, în general, dedicat unui anumit echipament și are în componență senzori, traductoare, adaptoare și circuite de condiționare a semnalelor, achiziționând informații despre procesul monitorizat, pe care le convertește în format numeric și le memorează într-un computer local. Acesta din urmă poate comunica cu unitatea centrală prin intermediul unui protocol de comunicație serial. Unitatea centrală prelucrează informațiile și poate asigura transmiterea celor mai importante date către un nivel ierarhic superior.

Ținând cont de faptul că informațiile vehiculate sunt sub formă numerică, acest capitol prezintă și analizează (în funcție de diferite criterii) algoritmi principali de prelucrare a valorilor eșantionate. Algoritmii se împart în două grupe principale: pe baza unei singure mărimi de proces (curent, tensiune) și pe baza mai multor mărimi de proces (impedanță, diferență de fază). Din prima categorie se prezintă algoritmi care urmăresc valorile instantanee, viteza de variație la trecerea prin zero, valoarea maximă, valoarea efectivă și valoarea medie redresată. Din cel de-al doilea grup, pentru monitorizarea a două semnale, se menționează algoritmi pentru calculul impedanței și defazajului, dintre cele două mărimi, bazați pe tensiuni și curenți sinusoidali.

Se analizează algoritmi utilizați pentru realizarea interfeței utilizator din cadrul micro sistemului experimental realizat în lucrare.

În capitolul al doilea, intitulat „Sisteme de supraveghere și control a instalațiilor industriale”, se analizează, din punct de vedere constructiv și funcțional, două tipuri de sisteme specializate: SCADA și EXPERT. În cadrul a două subcapitole diferite, se prezintă domeniile de aplicabilitate, funcțiile îndeplinite, structura și perspectivele.

În ceea ce privește sistemele SCADA, o atenție deosebită a fost acordată detalierii protocolelor de comunicație. Se descrie un exemplu de protocol de comunicație serială, cu sublinierea importanței și funcțiilor fiecărei părți a unui mesaj transmis.

Se propune integrarea sistemului experimental realizat, într-un sistem SCADA, îndeplinind funcțiile unei unități terminal depărtate (RTU). Această unitate se utilizează pentru achiziționarea celor șase mărimi (trei curenți și trei tensiuni), corespunzătoare unui echipament electric și a numărului de comutații.

În cea de-a doua parte a capitolului se prezintă domeniile de aplicare ale sistemelor expert, structura acestora și având în vedere importanța modului de reprezentare a structurilor de cunoștințe în performanțele sistemelor expert, formalismele de reprezentare a cunoștințelor. Totodată sunt evidențiate avantajele utilizării acestor sisteme.

În final, se evidențiază posibilitatea integrării micro sistemului experimental, realizat și detaliat în §4, în structura unui sistem expert de reglare și control a unui proces, care să cuprindă interpretare, diagnoză, monitorizare, prognoză și remediere, prin achiziția și supravegherea a șase semnale caracteristice unui sistem electric trifazat (trei tensiuni și trei curenți) și a numărului de manevre.

În capitolul 3, intitulat „Tehnici de comutație controlată” se dezvoltă comutația controlată, care a devenit o soluție economică aplicată în mod curent pentru reducerea solicitărilor la comutație. În prezent, au apărut controlere care sunt utilizate, din ce în ce mai mult, pentru întreruperea sarcinilor mici inductive, a bateriilor de condensatoare, a liniilor de transport și distribuție și pentru punerea sub tensiune a transformatoarelor de putere în gol.

Este analizat stadiul actual al comutației controlate pe baza informațiilor furnizate de la cinci producători ce au participat la CIGRE WG13.07.

Pentru sistemele moderne care utilizează microcontrolerele, funcțiile comutației controlate sunt: determinarea precisă a momentelor de timp pentru comanda întreruptoarelor, în scopul reducerii solicitărilor la comutație și compensarea controlată.

Funcțiile impuse a se realiza prin intermediul microcontrolerelor pentru compensarea controlată, cu referire la caracteristicile determinante ale întreruptoarelor cu poli independenți, sunt: compensarea creșterii timpului de închidere datorită timpului de repaus; compensarea condițională a variației timpului de închidere /deschidere în funcție de temperatura mediului ambiant, tensiunea de comandă și presiunea hidraulică; compensarea adaptivă a abaterii timpilor de închidere /deschidere, ca urmare a îmbătrânirii pe termen lung.

Se propune soluția integrării micro sistemului experimental, realizat și detaliat în §4, în cadrul unui sistem modern, care poate realiza comutația controlată, prin adaptarea corespunzătoare a structurii software, pentru determinarea precisă a momentelor de timp pentru comanda întreruptoarelor, în scopul reducerii solicitărilor la comutație, în funcție de mărimile de proces supravegheate (tensiunea și curentul) și de tipul de comutație respectiv.

Analizând caracteristicile determinante ale întreruptoarelor cu poli independenți, în funcție de tipul mecanismelor de acționare, se evidențiază posibilitatea utilizării micro sistemului experimental, conceput și realizat în lucrare, prin programare adecvată, pentru: compensarea creșterii timpului de închidere, datorată timpului de repaus; variația timpului de închidere /deschidere în funcție de temperatura mediului ambiant, tensiunea de comandă și presiunea hidraulică; compensarea adaptivă datorată abaterii timpilor de închidere /deschidere ca urmare a îmbătrânirii pe termen lung.

În Capitolul 4 se prezintă micro sistemul **conceput, proiectat și realizat** în lucrare. Acesta este constituit dintr-un **modul de achiziție și transfer**, având la bază *controlerul Dallas DS87C550* și o **interfață utilizator** dezvoltată folosind facilitățile *Graphic User Interface* ale Matlab.

În continuare se descriu structura hardware a modulului de achiziție și transfer (§4.1.1.), structura software (§4.1.2.), pentru realizarea în cel mai scurt timp a funcțiilor propuse, precum și structura interfeței grafice (§4.2.).

Fiind un microsistem experimental, s-a urmărit asigurarea unei versatilități ridicate, funcțiile îndeplinite putând fi programate atât prin comenzi locale cât și prin comenzi furnizate de interfața utilizator. Aceste funcții asigură monitorizarea celor șase mărimi specifice unui sistem electric trifazat, trei tensiuni și trei curenți, atât sub formă de valori instantanee cât și sintetice, precum și informații privind istoria funcționării instalației.

Realizarea modulului de achiziție și transfer presupune conceperea și proiectarea structurii hardware, care să răspundă funcțiilor propuse, într-o manieră versatilă. Totodată s-a realizat și programarea controlerului, folosind facilitățile și performanțele acestuia. Așa cum s-a precizat mai sus, modulul de achiziție și transfer a fost realizat pe baza *controlerului Dallas DS87C550*. Acesta este un controler din familia Intel 8051 având însă facilități deosebite atât față de familia de bază cât și față de controlerele de tipul 550 ale altor producători (Philips).

Figura 1 prezintă schema bloc a modulului de achiziție și transfer. Aceasta cuprinde blocurile *Surse, Controler, Consolă locală, Intrări, Ieșiri și Linia de transmisie serială*.

Blocul *Surse*, alimentat cu tensiunea dublă de $\pm 9V$, furnizează tensiunile stabilizate necesare micro sistemului. Blocul *Controler* reprezintă nucleul modului și cuprinde: controlerul, interfața de comunicație serială RS485 full duplex; conector către un afișor cu 7 segmente; ieșire numerică “open collector” (utilizată pentru comanda unui element de putere); memorie nevolatilă EEPROM serială de 32 de octeți pentru memorarea unor parametri de reglaj sau a unor evenimente esențiale; opt microswitch-uri pentru posibilele modificări ale funcționalității sistemului; LED pentru semnalizarea stării sistemului.

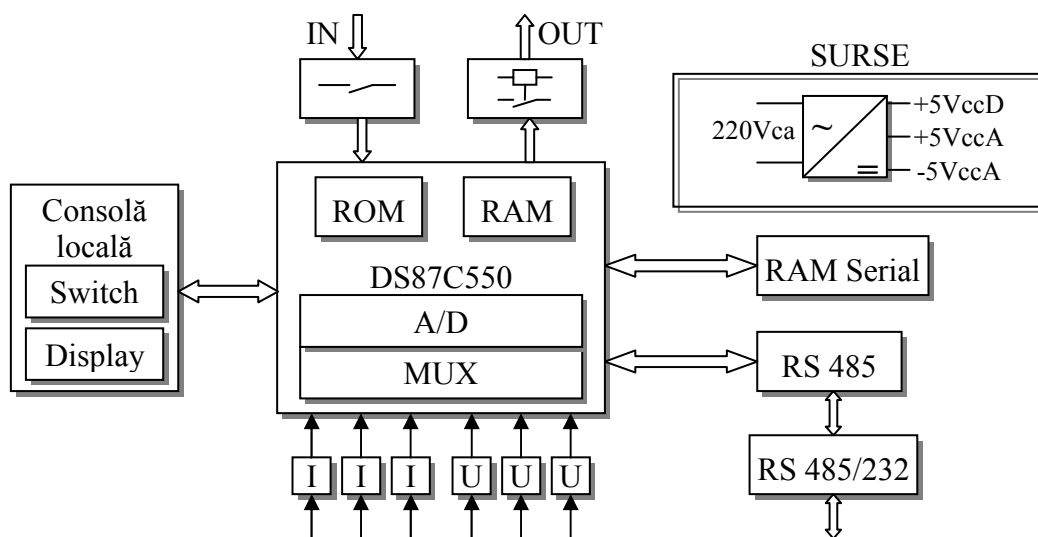


Figura 1 Schema bloc a modului de achiziție și transfer

Pentru măsurarea curenților, cu separare galvanică, se utilizează trei traductoare de curent de tip LEM, LTS 15-NP. Specific acestor traductoare de curent sunt două aspecte deosebit de importante din perspectiva utilizării lor în structura unor sisteme numerice și anume:

- tensiunea de alimentare este de 5 V;
- ieșirea este unipolară, cu offset de 2,5 V și excursie de $\pm 0,625$ V, special adaptată convertoarelor analog-numerice de 8 biți uzuale.

Măsurarea tensiunilor se realizează prin intermediul a trei divizoare de tensiune de precizie, realizate cu rezistențe de toleranță 1%. Acestea au fost dimensionate astfel încât să se obțină, pentru tensiunea nominală, semnale de amplitudine $\pm 0,5$ V. Toleranța de 1% este suficientă, mult mai importantă fiind stabilitatea acestora. Din acest motiv sunt utilizate rezistențe cu coeficient de stabilitate termică deosebit de bun.

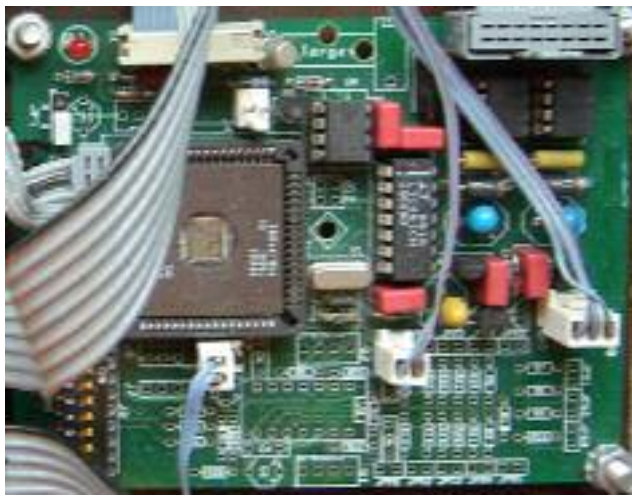
Compensarea offset-ului atât a traductoarelor de curent cât și a divizoarelor rezistive se realizează *software*, o singură dată, la punerea în funcțiune a sistemului, de către *rutina de calibrare*, ce va fi descrisă odată cu celelalte componente software. Prin intermediul microswitch-urilor din componența blocului *Controler* se configurează sistemul pentru calibrare. În această fază, cu toate intrările de curent scurtcircuitate și cele de tensiune conectate la masă, se măsoară toate cele șase semnale.

Valorile rezultate reprezintă offset-urile fiecărui canal de măsură, ele fiind memorate în memoria serială EEPROM. La fiecare pornire a sistemului, valorile offset-urilor vor fi încărcate din memoria serială nevolatilă în memoria controlerului și apoi utilizate pentru corecția valorilor măsurate achiziționate.

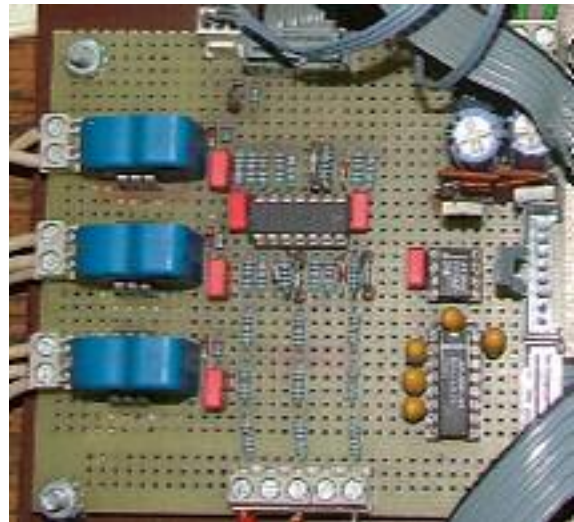
În aceeași memorie nevolatilă sunt stocate informațiile legate de numărul de manevre de conectare și de deconectare ale instalației, disponibile la cerere în interfața utilizator. Datorită importanței valorilor memorate în memoria serială nevolatilă, la fiecare pornire a sistemului, se face verificarea integrității acesteia.

Valorile extreme, ca valori instantanee, pentru tensiune și curent, ce pot fi măsurate sunt de **830V**, respectiv **8,216A**. Se menționează că valoarea maximă a curentului corespunde conectării traductoarelor de curent în montaj de 5A, domeniul putând fi extins la **12,32A** sau **24,65A** în cazul conexiunii primarului în montaj de 7,5A și respectiv 15A.

În Figura 2 se prezintă realizarea practică a modului de achiziție și transfer: blocurile *Controler* (a), respectiv *Surse* și blocul *Măsură* (b).



a)



b)

Figura 2 Detalierea blocurilor *Controler* (a) și *Măsură* (b)

Pentru a răspunde cât mai rapid și eficient funcțiilor solicitate de utilizator, modulul de achiziție și transfer a fost **programat în limbaj de asamblare**, folosind **sistemul de întreruperi**.

Datorită limitărilor impuse de dimensiunea memoriei RAM internă a controlerului, s-a ales ca achiziția să se realizeze pe perioade de **20ms**, totdeauna fiind achiziționate **120 de eșantioane**. În funcție de opțiunea utilizatorului, se pot eșantiona și achiziționa următoarele semnale: un canal cu perioada de eșantionare de 175μs; două canale cu perioada de eșantionare de 350μs; trei canale cu rata de eșantionare de 500μs; șase canale cu perioada de eșantionare de 1000μs. Asigurarea echidistanței între pachete se realizează prin programarea adecvată a Timer-ului controlerului, ce va determina apariția unei întreruperi la intervalele specificate. Imediat după achiziția primului punct este lansată rutina de transmisie a datelor.

Structura software a modului de achiziție și transfer este organizată în programul principal numit *init1* și următoarele rutine:

- *i_rec*, rutina ce tratează întreruperile de recepție și transmisie ale portului serial;
- *acq*, rutina ce lansează achiziția eșantioanelor cât și formatarea și salvarea eșantionului curent, la fiecare întrerupere de EOC;
- *send*, rutina ce transmite pe portul serial cele 120 de eșantioane;
- *iext*, rutină activată de întreruperile externe, ce incrementează numărul de conectări, respectiv de deconectări ale instalației, salvându-le în memoria serială nevolatilă;

- *calibru*, rutină ce măsoară și salvează în memoria serială nevolatilă, zerourile tuturor celor șase canale și resetează numărul de manevre ale instalației;
- *rw_rams*, rutină ce citește sau scrie un octet în memoria serială, la adresa generică de apelare;
- *delay*, rutină generală ce realizează diferite întârzieri utilizate de program.

Interfața utilizator are rolul de a stabili o legătură „on-line” între modulul de achiziție și transfer și utilizator. Ea trebuie să realizeze generarea și transmiterea comenzilor către modul cât și recepționarea, prelucrarea și afișarea datelor solicitate. S-a urmărit realizarea unei maniere de lucru ergonomice și ușor de interpretat. Ca mediu de dezvoltare pentru interfața utilizator s-a ales *Graphic User Interface (GUI)* din componența pachetului Matlab®.

Interfața realizată a fost concepută astfel încât să fie intuitivă și ușor de utilizat. În același timp au fost realizate interblocaje care elimină posibilitatea emiterii unor comenzi eronate, păstrând versatilitatea programării modului.

Lansarea interfeței utilizator se realizează în mediul Matlab, prin apelarea comenzii *inter*. Ca urmare, este lansată aplicația (Anexa 9), ce va deschide fereastra din Figura 3.

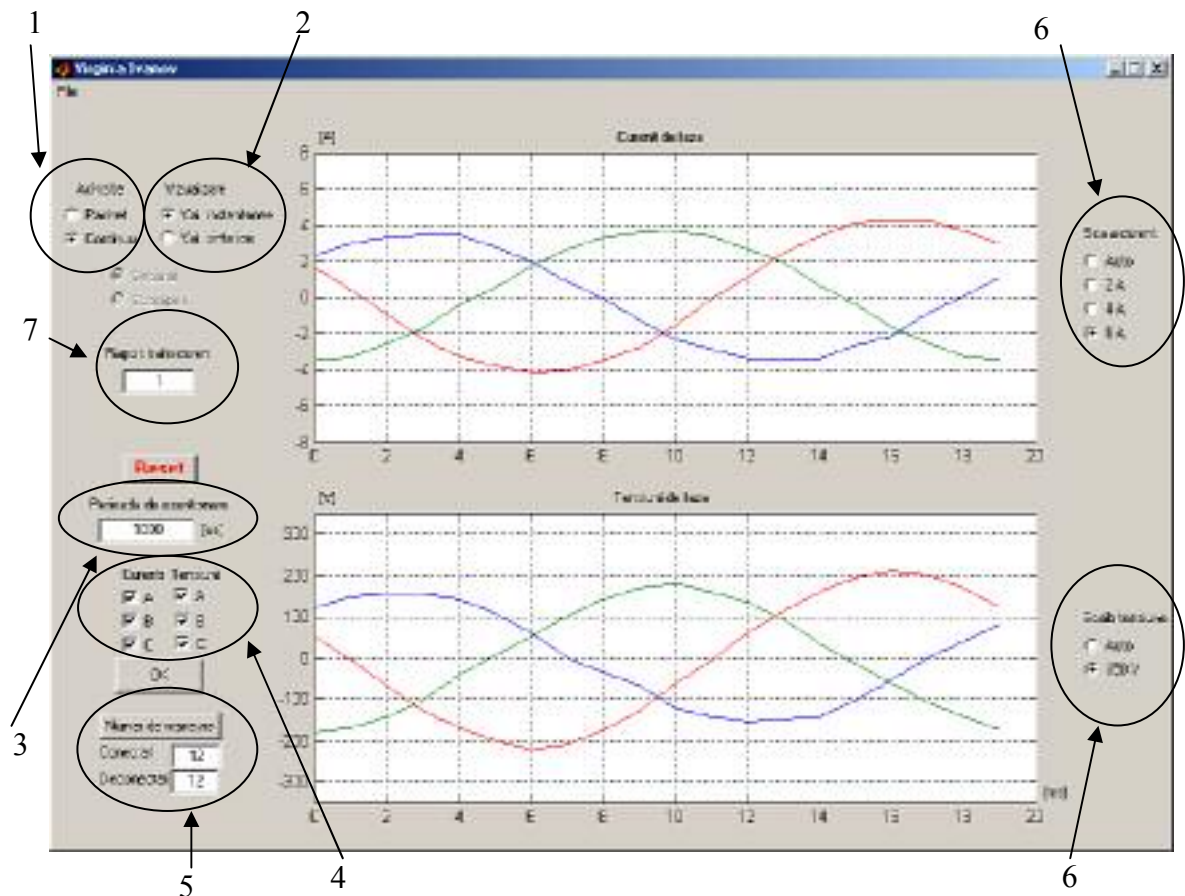


Figura 3 Fereastra interfața utilizator

Ținând cont de faptul că transductoarele de curent utilizate au curentul nominal primar de 5A, în cazul monitorizării unei instalații cu curent nominal I_N mult superior, este necesară utilizarea unor transformatoare de curent externe cu raport de transformare egal cu $I_N/5$. Interfața utilizator are posibilitatea specificării raportului de transformare respectiv și ține cont apoi de valoarea acestuia în scalarea axelor.

Pentru vizualizarea corectă a valorilor, la începutul rulării aplicației trebuie specificată valoarea raportului de transformare al eventualelor transformatoare de curent externe (zona 7). Valoarea implicită a raportului de transformare este 1 (fără transformatoare externe).

Se selectează apoi tipul de vizualizare dorit, din zona butoanelor „Vizualizare”: valori instantanee sau valori sintetice (zona 2).

Dacă se dorește achiziționarea continuă, din zona butoanelor „Achiziție” se modifică selecția implicită de tip „Pachet”, ce corespunde achiziției pe o perioadă (zona 1).

Se selectează apoi canalele ce vor fi achiziționate și vizualizate. Totodată, se actualizează automat valoarea perioadei de eșantionare corespunzătoare numărului de canale selectate (zona 3).

În funcție de dorința utilizatorului, se pot vizualiza valorile instantanee ale mărimilor (curenți sau tensiuni) de pe unul, două, trei sau toate cele șase canale sau valori sintetice ale acestora (valori eficace, defazaje, puteri) pe o anumită fază sau pe toate trei (zona 4).

Interfața afișează, la cerere, numărul de manevre ale instalației, memorate în memoria serială nevolatilă a modului de achiziție și transfer (zona 5).

În cazul selectării a două canale, în modul de vizualizare valori instantanee, devin active butoanele din care se poate selecta vizualizarea în sisteme de axe separate sau în același sistem de axe. Pentru reprezentarea în sisteme de axe diferite devin active butoanele de selectare a scalelor celor două sisteme (zona 6).

Verificarea corectitudinii algoritmilor de achiziție cât și a celor de calcul a valorilor sintetice pe baza mărimilor achiziționate prin intermediul micro-sistemului experimental, își găsesc confirmarea în Capitolul 5. Rezultatele obținute prin intermediul micro-sistemului experimental sunt comparate cu cele furnizate de un echipament de măsură industrial, osciloscopul Fluke 196, pentru două tipuri de sarcini, o sarcină rezistivă și o sarcină rezistiv – inductivă. Ansamblul rezultatelor experimentale au demonstrat fidelitatea reproducerii semnalelor monitorizate cât și acuratețea valorilor sintetice calculate pe baza eșantioanelor obținute cu micro sistemul realizat.

În Figura 4 se prezintă rezultatele obținute prin achiziționarea semnalelor cu micro sistemul experimental, pentru sarcina rezistiv-inductivă. Comparativ, oscilogramele pentru tensiune și curent, cât și valorile sintetice folosind osciloscopul, sunt prezentate în Figura 5.

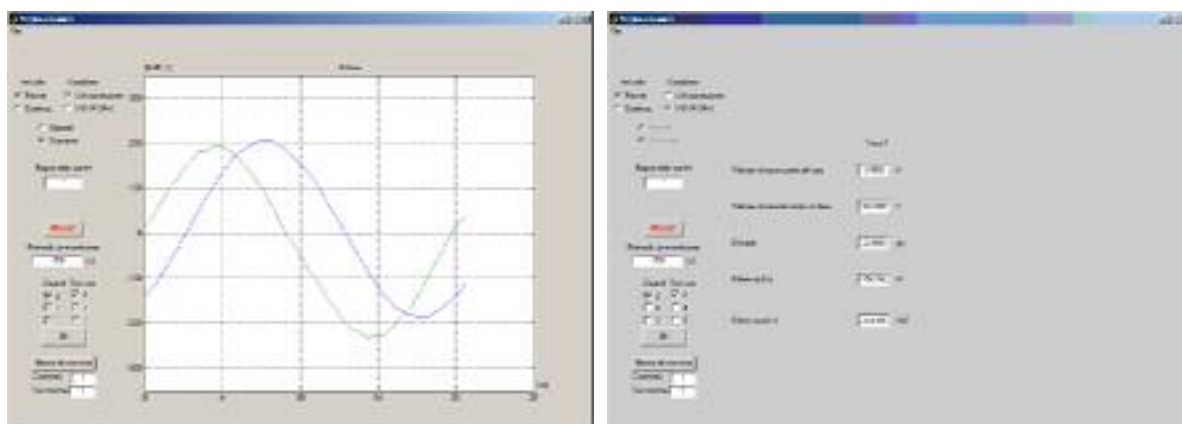


Figura 4 Rezultate obținute cu micro sistemul experimental

Capitolul 6, intitulat „Concluzii și contribuții” subliniază că realizările descrise în lucrare reprezintă o dezvoltare a domeniului studiat. Teza, a realizat o analiză sistematică a sistemelor de monitorizare a echipamentelor electrice, prezentând apoi un micro-sistem

experimental, realizat și testat în totalitate de autoare, ale cărui principale argumente favorabile sunt versatilitatea, precizia, interfața utilizator prietenoasă și nu în ultimul rând, prețul de cost.

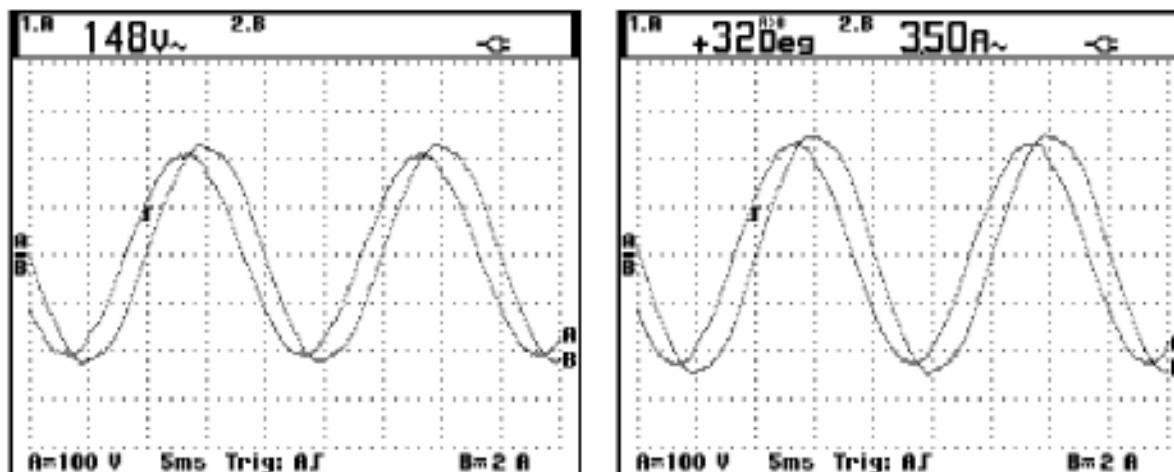


Figura 5 Rezultate experimentale obținute cu osciloscopul Fluke 196

Dintre contribuțiile originale se pot menționa următoarele, ca fiind cele mai importante:

- ◆ conceperea, realizarea și testarea unui modul economic și versatil de achiziție și transfer, pentru monitorizarea celor șase mărimi instantanee specifice unui sistem electric trifazat și pentru memorarea istoriei funcționării instalației;
- ◆ elaborarea algoritmului de funcționare a modului de achiziție și transfer, cu evidențierea posibilității alegerii variantei de lucru, în funcție de opțiunea utilizatorului;
- ◆ conceperea structurii software a modului de achiziție și transfer, prin programare în limbaj de asamblare, folosind sistemul de întreruperi al controlerului;
- ◆ toate componentele software reprezintă realizări originale ale autoarei, concepute și testate pe baza unor algoritmi specifici controlerelor de 8 biți;
- ◆ conceperea, realizarea și testarea interfeței utilizator, care realizează comunicarea on-line cu modulul de achiziție și transfer, într-o manieră ergonomică și ușor de interpretat;
- ◆ elaborarea și testarea programelor de calcul a valorilor sintetice (valori eficace, defazaj, putere activă, putere reactivă), pentru mărimile achiziționate, utilizând algoritmi numerici cunoscuți din literatura de specialitate;
- ◆ testarea micro-sistemului realizat pentru diferite tipuri de sarcini ale instalației monitorizate;
- ◆ evaluarea comparativă a rezultatelor experimentale obținute prin intermediul micro-sistemului realizat în lucrare, cu cele furnizate de un sistem de măsură, numeric, performant.

Lucrarea deschide noi orizonturi de cercetare în vederea perfecționării tehnologice a sistemelor de monitorizare, justificată prin creșterea complexității acestora, combinată cu necesitatea de obținere a unei eficiențe sporite, siguranță maximă în funcționare, fără creșterea semnificativă a prețului echipamentului.

CURRICULUM VITAE

Nume: IVANOV
Prenume: Virginia
Locul de muncă: Universitatea din Craiova,
Facultatea de Electrotehnică,
Catedra Aparate și Tehnologii electrice
Functia: Șef lucrări titular
Adresa: B^{dul} 1 Mai, Bl. 21, Sc. 1, Ap. 7, Craiova, România
Tel.: 0251 418 379 (personal), 0251 436 447 (facultate)
Fax: 0251 436 447
E-mail: vivanov@elth.ucv.ro
Data de naștere: 21 februarie 1963
Starea civilă: căsătorită, 1 copil
Naționalitatea: Română

Pregătirea:

Inginer, Universitatea din Craiova, Facultatea de Electrotehnică, 1986

Limbi străine:

Franceza - citit, scris

Engleza - noțiuni, traducere tehnică

Experiență profesională

- 1986-1998: inginer cercetător la I.C.M.E.T. Craiova
- 01.10.1998-28.02.1999: Asistent universitar suplinitor la Catedra de Aparate Electrice
- 01.03.1999-28.02.2001: Asistent universitar titular la Catedra de Aparate Electrice
- 01.03.2001 – prezent: Șef lucrări titular la Catedra de Aparate Electrice

Experiență științifică

- 2 cărți;
- 22 lucrări științifice;
- 17 contracte de cercetare științifică;

Discipline predate

- Diagnoza echipamentelor electrice
- Probleme speciale de aparate electrice
- Aplicații în Mathcad și Matlab
- Aplicații la disciplinele: Echipamente electrice, Aparate electrice, Tehnologia de fabricație a mașinilor și aparatelor electrice, Electrotehнологii

Semnătura,