



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ INGINERIE ELECTRICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND MONITORIZAREA ȘI
OPTIMIZAREA CONSUMULUI DE ENERGIE
ELECTRICĂ LA MICII CONSUMATORI INDUSTRIALI**

ing. Gândescu Costin

Conducător de doctorat: Prof. univ. emerit dr. ing. Costin CEPIȘCĂ

REZUMAT

BUCUREȘTI
2023

Cuvânt de mulțumire

Elaborarea și realizarea unei teze de doctorat se poate realiza numai cu condiția unei îndrumări științifice de calitate și într-o echipă de cercetători dedicați.

Pe această cale doresc să adresez deosebite mulțumiri domnului prof. univ. emerit dr. ing. Costin Cepișcă pentru încrederea acordată, pentru sfaturile și încurajările primite care m-au ajutat să duc la bun sfârșit această teză.

Doresc să mulțumesc cadrelor universitare din cadrul UNIVERSITĂȚII POLITEHNICA din BUCUREȘTI, domnului profesor George Seritan și domnului conferențiar Bogdan Enache pentru sprijinul acordat în desfășurarea activităților realizate în cadrul acestei teze de doctorat.

De asemenea, mulțumesc colegilor din cadrul societății SC WING COMPUTER GROUP SRL pentru colaborarea și schimbul util de opinii și, în special, domnului conf. dr. ing. Cosmin Karl Bănică pentru tot sprijinul acordat.

Nu în ultimul rând doresc să mulțumesc în mod special familiei pentru sprijinul, încurajările și înțelegerea oferite permanent.

Autorul

CUPRINS

Listă de abrevieri	5
Listă de figuri.....	5
Listă de tabele.....	7
INTRODUCERE	8
SISTEME DE MONITORIZARE ȘI OPTIMIZARE A CONSUMURILOR ÎN REȚELE INTELIGENTE	9
1.1. CARACTERISTICI ALE REȚELOR ELECTRICE SMART GRID	9
1.2. SOLUȚII ACTUALE PENTRU SISTEMELE DE MONITORIZARE ȘI OPTIMIZARE ENERGETICĂ.....	10
1.3. SOLUȚII INTELIGENTE PENTRU SISTEMELE DE MONITORIZARE ȘI CONTROL ENERGETIC.....	10
1.4. METODE DE MONITORIZARE A CONSUMURILOR ENERGETICE APLICABILE MINI-REȚELOR INTELIGENTE	11
1.4.1. Metode invazive de detecție a consumatorilor	11
1.4.2. Metode neinvazive de detecție a consumatorilor	11
1.5. ELEMENTE DE OPTIMIZARE A CONSUMURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI A CALITĂȚII ACESTEIA	12
1.5.1. Compensarea factorului de putere	12
1.5.2. Sisteme de reducere a armonicilor.....	12
ELEMENTE PRIVIND CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎN REȚELE DE TIPUL SMART GRID	12
2.1 CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎN REȚEAUA ELECTRICĂ.....	12
2.2. CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎNTR-O REȚEA INTELIGENTĂ.....	13
2.3. REGLEMENTĂRI PRIVIND CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE	13
CONCEPEREA UNEI INSTALAȚII PENTRU MONITORIZAREA ȘI OPTIMIZAREA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ LA MICI CONSUMATORI INDUSTRIALI	14
3.1. PROIECTAREA STRUCTURII GENERALE A INSTALAȚIEI	14
3.2. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCTIVE NR. 1	16
3.3. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCTIVE NR.2	18
3.4. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCTIVE NR.3	19
PROIECTAREA ȘI REALIZAREA BAZEI DE DATE PENTRU ÎNREGISTRAREA VALORILOR MĂSURATE	23
4.1. ALEGEREA TIPULUI DE BAZE DE DATE	24
4.2. PROIECTAREA BAZEI DE DATE.....	24
4.3. OPTIMIZAREA BAZEI DE DATE	25
4.3.1 Optimizări la nivelul bazei de date	25
4.3.2 Optimizări la nivel de cod	25

4.4. TESTAREA BAZEI DE DATE.....	25
COMPONENTA SOFTWARE A INSTALAȚIEI PENTRU MONITORIZAREA ȘI OPTIMIZAREA CONSUMURILOR DE ENERGIE LA MICII CONSUMATORI INDUSTRIALI.....	27
5.1. CONFIGURAȚIA FLUXULUI DE DATE.....	27
5.2. CONFIGURAȚIE SOFTWARE PENTRU CONTROLERUL WP-5441.....	28
5.3. CONFIGURAȚIE SOFTWARE PENTRU PUNCTUL DE COMUNICAȚIE	28
5.4. CONFIGURAȚIA PROTOCOALELOR DE COMUNICAȚIE	28
5.4.1 ModBus RTU	28
5.4.2 TCP/IP	29
5.5. ARHITECTURA APLICAȚIILOR SOFTWARE DEZVOLTATE	29
5.5.1. Aplicația software pentru punctul local de monitorizare și control.....	29
5.5.2. Aplicația software pentru dispecer	30
5.5.3. Aplicația software pentru baza de date.....	30
5.5.4. Aplicație software pentru procesarea valorilor offline.....	30
DETERMINĂRI EXPERIMENTALE.....	33
6.1. TESTAREA COMPONENTELOR HARDWARE.....	33
6.2. TESTAREA COMPONENTELOR SOFTWARE	36
6.2.1. Teste transfer de date.....	36
6.2.2. Testarea aplicației offline	36
6.2.3. Testarea funcționării ansamblului instalației realizate	41
CONCLUZII	42
Concluzii generale	42
Contribuții personale	43
Direcții viitoare de cercetare.....	44
BIBLIOGRAFIE.....	44
ANEXA 1 – Scheme electrice instalație pilot.....	46
ANEXA 2 – Raport testare baza de date	46
Lista de lucrări	Error! Bookmark not defined.

Listă de abrevieri

API	Application Program Interface (Interfața aplicației)
CMS	Content Management System (Sistem de gestionare a conținutului)
CCO	Controlul Concurenței Optimist
CRUD	Create, Read, Update, Delete (Creează, citește, actualizează, șterge)
CSV	Comma Separated Values (Valori separate prin virgule)
DBMS	DataBase Management System (Sistem de gestiune a bazelor de date)
DLR	– Dynamic Line Rating
FN1	Forma Normala 1
GC	Garbage Collector-ul (Colectarea spațiului disponibil)
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	HyperText Transfer Protocol/Secure
JSON	JavaScript Object Notation
MVCC	Multiversion Concurrency Control
NIST	– National Institute of Standards and Technology
NoSQL	Non SQL(Structured Query Language)
PNR	– Planului Național de Reformă
PMU	– Phasor Measurement Units
RDBMS	Relational DataBase Management System
REST	Representational State Transfer (Protocol de comunicații stateless, client-server, cacheable)
SPoF	Single Point of Failure
SQL	Structured Query Language
WASA	– Wide Area Situational Awareness
XML	Extensible Markup Language

Listă de figuri

Fig. 1.1. Rețea inteligentă - Concept de funcționare.	9
Fig. 1.2. Sistem introdus la grup de cogenerare (Energobit) [9].....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.3. Poziționarea sistemelor de monitorizare energetică [10]	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.4. Arhitectura sistemelor inteligente [10].....	10
Fig. 1.5. Arhitectură specializată pentru sistem distribuție energie electrică [10]	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.6. Sistem de monitorizare și control centralizat convențional în timp real [10] ...	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.7. Infrastructură AMI [11].....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.8. Contor consum general [14].....	11

Fig. 1.9. Sistem cu mai multe contoare inteligente [14].....	12
Fig. 1.10. Schema de principiu de racordare	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.11. Compensare parțială.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 1.12. Compensare individuală.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 2.1 Perturbații într-o rețea electrică.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 2.2. Asocierea conceptelor de calitate a energiei și rețele inteligente	13
Fig.2.3. Schema bloc filtru activ de putere [23]	Error! Bookmark not defined.
Fig.3.1. Schema bloc a instalației modulare	14
Fig. 3.2. Soluția constructivă nr.1	15
Fig. 3.3 Soluția constructivă nr.2.....	16
Fig. 3.4 Soluția constructivă nr.3.....	16
Fig.3.5. Blocuri funcționale soluție constructivă nr.1	17
Fig.3.6. Schema electrică pentru soluția constructivă nr. 1	18
Fig.3.7. Tablou TLMC-1 cu transformatoare de măsurare de curent.....	18
Fig. 3.8. Conectare montaj indirect contor inteligent Janitza UMG 104.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 3.9. Conectarea instalației de compensare.....	19
Fig. 3.10. Tablou electric soluție constructivă nr.2	19
Fig.3.11. Soluție insularizată pentru energiile regenerabile	19
Fig. 3.12. Schema electrică modul soluție constructivă nr.3	20
Fig. 3.13.Realizare practică soluție constructivă nr.3.....	20
Fig. 3.14. Fluxul de date în modurile de afișare continuă: durată scurtă, istoric consum	22
Fig.3.15. Detaliu de selecție a modului de afișare.....	22
Fig.3.16. Exemplu de mărimi instantanee afișate în mod continuu.....	23
Fig.3.17. Selecție nod	Error! Bookmark not defined.
Fig.3.18. Selecția modului de afișare istoric și a mărimilor dorite.....	Error! Bookmark not defined.
Fig.3.19.Cursoare (x,y) pentru aflarea valorilor și momentelor/intervalelor de timp	23
Fig. 4.1. Structura multi-tabelară a bazei de date	25
Fig. 4.2. Baza de date de test	26
Fig. 4.3. Testarea hardware a bazei de date de test.....	27
Fig. 4.4. Reprezentare vizuală a traficului, numărului de interogări,	Error! Bookmark not defined.
Fig. 4.5. Testarea performanțelor bazei de date de test	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.1. Fluxul de date	28
Fig. 5.2. Arhitectură aplicație de monitorizare și control	29
Fig. 5.3. Arhitectură aplicație dispecer	30
Fig. 5.4. Arhitectură baze de date	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.5. Arhitectură software completă a sistemului	31
Fig. 5.6. Organigramă pentru crearea listei de mărimi măsurate.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.7. Organigramă pentru conectare la sistemul țintă.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.8. Organigramă pentru inițializare buffere pentru ferestrele afișate ..	Error! Bookmark not defined.

Fig. 5.9. Organigramă pentru citire etichete de timp și valori.	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.10. Organigramă pentru interogare bază de date pentru mărimi măsurate	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.11. Organigramă pentru interogare bază de date pentru istoricul mărimilor	32
Fig. 5.12. Organigramă pentru conversia orei și date în formatul bazei de date.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.13. Organigramă pentru selecție punct de vizualizare măsurat....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.14. Organigramă pentru selecție vector mărimi specifice.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 5.15. Organigramă pentru alcătuire colecție de date pentru afișare	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.1. Instalația de testare	33
Fig. 6.2. Tablou conectare	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.3. Consumator trifazat pentru experimentare	Error! Bookmark not defined.
Fig.6.6. Schema electrică de testare.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.9. Conectarea contorului trifazat în instalație.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.4. Schema testare soluție constructivă nr. 3	35
Fig. 6.5. Testare componentelor hardware	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.7. Contor pentru testarea soluției constructive nr. 3.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.8. Testarea transferului de date.....	36
Fig. 6.9. Citirea mărimilor de test pentru U, I și factor de putere, scalarea acestora, determinarea mărimilor derivate (puteri, energii) și pregătirea pentru afișare	39
Fig. 6.10. Subrutina integrator Puteri	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.11. Subrutina integrator_P.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.12. Codul citire/afișare date.....	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.13. Mărimi instantanee	40
Fig. 6.14. Energia măsurată într-o zi	41
Fig. 6.15. Variația puterilor electrice într-o zi	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.16. Variația tensiunii electrice într-o zi	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.17. Variația intensității curentului într-o zi	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.18. Factor de putere – variație pe o zi	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.19. Panou utilizator soluție constructivă nr.3	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.20. Energie pe o zi de la sursele regenerabile	Error! Bookmark not defined.
Fig. 6.21. Testarea prin termoviziune a soluției constructive nr.1	42
Fig. 6.22. Testarea prin termoviziune a soluției constructive nr.2	Error! Bookmark not defined.

Listă de tabele

Tabel 3.1 Caracteristici electrice contor Janitza UMG 104 [28].....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.2 Caracteristicile electrice TEI WP5141 [29]	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1. Comparație baze de date	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Raport testare baza de date folosind DataBaseTest	Error! Bookmark not defined.

Tabel 6.1 Rezultate test 1 DB_connectToDb.....	36
Tabel 6.2 Rezultate test 2 init_instDisplays	Error! Bookmark not defined.
Tabel 6.3 Rezultate test 3 DB_readCellTimeAndQuantities ..	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCERE

În ultimii ani se observă o modificare fundamentală a principiilor tehnice ce guvernează realizarea, funcționarea și exploatarea rețelelor electrice la nivel de transport, distribuție și utilizare a energiei electrice. Rețelele electrice actuale capătă un caracter inteligent prin introducerea tehnicii de calcul și de comunicație alături de soluțiile energetice clasice.

Cercetarea efectuată în cadrul acestei lucrări de doctorat își propune realizarea conceptului de optimizare a consumului de energie electrică la micii consumatori industriali, prin realizarea unui echipament modular cu soluții Smart Grid și care, din punct de vedere al costului, poate fi avantajos acestor consumatori.

Capitolul 1 cuprinde o analiză a principalelor concepte și tehnologii de măsurare, achiziție de date și de optimizare a consumurilor de energie întâlnite în cadrul rețelelor electrice inteligente.

Capitolul 2 analizează conceptele de calitate a energiei electrice și influența surselor regenerabile asupra rețelelor inteligente.

Capitolul 3 prezintă realizarea unei instalații aplicabile la micii consumatori industriali, în trei variante constructive, ce asigură monitorizarea consumurilor de energie electrică, compensare factor putere și micșorarea efectelor introduse de armonici precum și posibilitatea de integrare a surselor de energie regenerabilă de tip fotovoltaic și eolian.

Capitolul 4 conține elementele de proiectare ale bazei de date destinată stocării valorilor măsurate în cadrul instalației.

Capitolul 5 cuprinde dezvoltarea aplicațiilor software care integrează instalațiile proiectate cu baza de date dezvoltată.

Capitolul 6 prezintă rezultatele experimentale obținute în urma testelor efectuate asupra elementelor hardware și a celor software implementate în cadrul modulelor noii instalații.

În ultima parte a tezei sunt prezentate concluziile generale, contribuțiile personale și posibile dezvoltări ale temei.

Bibliografia cuprinde un număr de 51 lucrări, iar anexa prezintă scheme electrice și date experimentale în extenso.

CAPITOLUL 1

SISTEME DE MONITORIZARE ȘI OPTIMIZARE A CONSUMURILOR ÎN REȚELE INTELIGENTE

1.1. CARACTERISTICI ALE REȚELOR ELECTRICE SMART GRID

În ultimii ani se observă o modificare fundamentală a principiilor tehnice ce guvernează realizarea, funcționarea și exploatarea rețelilor electrice, atât la nivel de transport cât, mai ales, la nivel de distribuție a energiei electrice. Implementarea tehnologiei informațiilor și a comunicațiilor conduce la noua idee de rețea inteligentă. În Fig. 1.1 este prezentat conceptul de funcționare a rețelei inteligente:

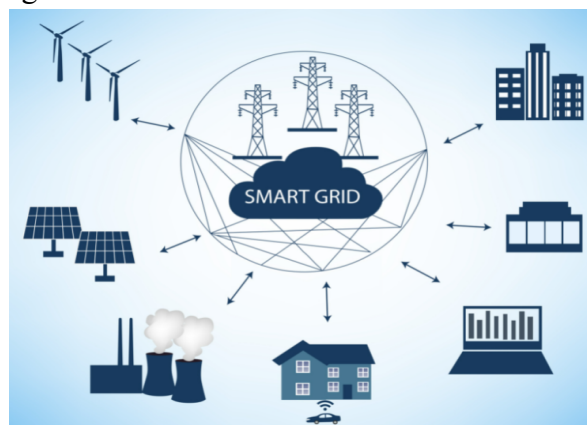


Fig. 1.1. Rețea inteligentă - Concept de funcționare.

Analiza realizată în cadrul acestei teze de doctorat a condus la punerea în evidență a caracteristicilor rețelelor inteligente.

1.2 SOLUȚII ACTUALE PENTRU SISTEMELE DE MONITORIZARE ȘI OPTIMIZARE ENERGETICĂ

În prezent, majoritatea echipamentelor destinate zonei de rețea inteligentă sunt dirijate către zona de producere și transport a energiei electrice și mai puțin în domeniul optimizării consumului în instalațiile industriale ale beneficiarilor. În zona rețelelor interne ale consumatorilor industriali, fie ei mici, medii sau mari, echipamentele folosite nu sunt în totalitate din categoria sistemelor inteligente specifice Smart Grid, ele conținând elemente primare de achiziție date și studiul unor posibile comenzi date prin operator.

Implementările recente indică mondializarea problemei și resursele din ce în ce mai importante ce sunt alocate: Enel SpA Italia peste 27 milioane contoare inteligente în Italia, 8 milioane contoare inteligente în Europa de Nord numai în anul 2012, CPFL Energia Brazilia investește 124 milioane \$ în 2012-2013 în rețele inteligente etc.[6].

1.3. SOLUȚII INTELIGENTE PENTRU SISTEMELE DE MONITORIZARE ȘI CONTROL ENERGETIC

În Fig.1.3 se prezintă unele sisteme de monitorizare și control de tip centralizat bazate pe SCADA.

Arhitectura bazată pe sisteme inteligente – Fig.1.4, a apărut relativ recent datorită tehnologiilor WEB și poate fi poziționată ca punct de intrare în sistemele de monitorizare. Se profită astfel de serviciile și protocoalele de comunicație standard și de pachetele software fără licență.

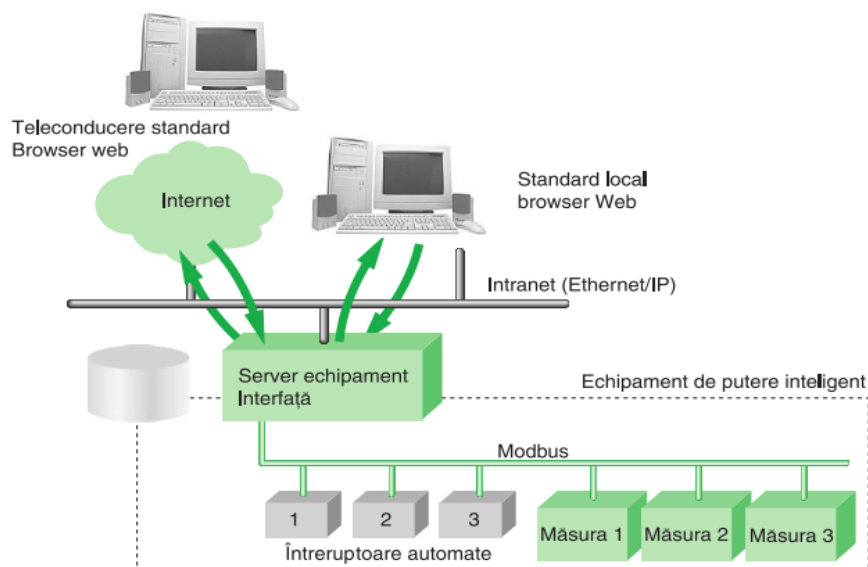


Fig. 1.4. Arhitectura sistemelor inteligente [10]

Sistemele de automatizare în domeniul distribuției energiei electrice trebuie să conțină elemente specifice, precum:

- * post de control unde operatorul poate vizualiza baza de date și asigura managementul;
- * automatizarea distribuției, care include dispozitivele implicate în telecomenzi la nivelul stațiilor și fiderilor;
- * componente ce se pot interconecta și cu protecții flexibile;
- * infrastructură de măsurare (AMI). [11].

1.4. METODE DE MONITORIZARE A CONSUMURILOR ENERGETICE APLICABILE MINI-REȚELELOR INTELIGENTE

1.4.1. Metode invazive de detecție a consumatorilor

Metode invazive de detecție a consumatorilor presupun un anumit grad de intruziune în cadrul încăperilor ale căror consumatori sunt monitorizați. În funcție de natura intruziunii, metodele invazive pot fi clasificate la rândul lor în:

Metode invazive fizic

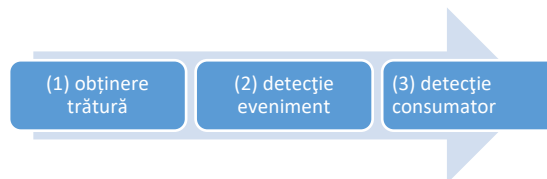
Aceste metode constau în utilizarea unor dispozitive auxiliare de măsurare a consumului de energie, montate în paralel cu rețeaua de alimentare, la interfața aparat electric – rețea.

Metode invazive electric

Constau în injectarea unui semnal, precum o armonică a curentului sau un semnal tranzitoriu, în rețeaua de alimentare. Prin analiza modificărilor în forma de undă reflectată, pot fi obținute informații referitoare la dispozitivele active în sarcina totală la momentul respectiv.

1.4.2. Metode neinvazive de detecție a consumatorilor

Utilizează un sistem hardware minimal împreună cu un algoritm complex de analiză a semnalelor. Cei trei pași specifici aplicării metodei neinvazive sunt indicați în continuare:



Variantele de utilizare sunt:

→ Utilizarea unui singur contor inteligent (SM) - Fig.1.8, ce măsoară energia totală ($E=E_1+ \dots+E_N$) din rețea, fără referire la diferenții consumatori din zonă.

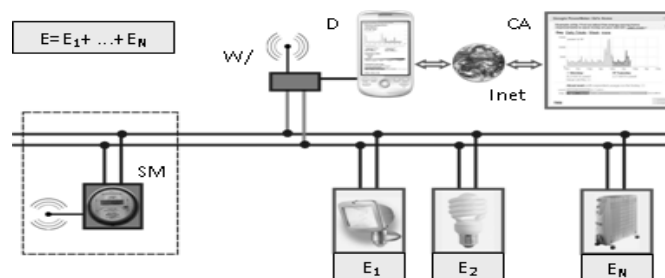


Fig. 1.8. Contor consum general [14]

→ Utilizarea mai multor contoare inteligente – Fig.1.9, asigură măsurarea parametrilor electrici la fiecare instalație (SM₁, SM₂...). a consumatorului.

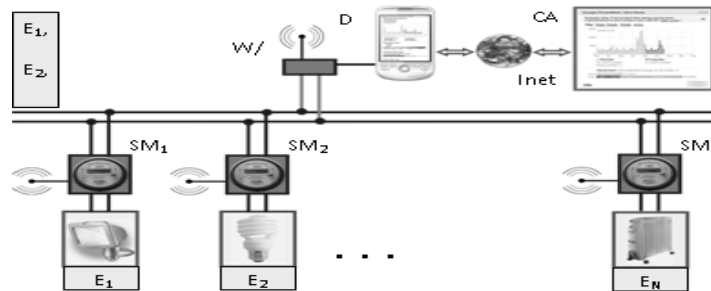


Fig. 1.9. Sistem cu mai multe contoare inteligente [14]

Instalația inteligentă de tip „micro smart grid” pe care propun în teza de doctorat, destinată unui consumator industrial de talie mică, se bazează pe folosirea mai multor contoare inteligente. Acestea permit achiziția informațiilor amănunțite despre consumurile individuale, prelucrarea datelor și posibile comenzi de optimizare.

1.5 ELEMENTE DE OPTIMIZARE A CONSUMURILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI A CALITĂȚII ACESTEIA

Optimizarea consumurilor de energie electrică și păstrarea calității energiei electrice vizează, în principal, două elemente:

1.5.1. Compensarea factorului de putere

Sistemele de compensare a valorii factorului de putere din rețea conduc la micșorarea energiei reactive absorbite și contribuie astfel la reducerea costurilor de alimentare.

1.5.2. Sisteme de reducere a armonicilor

Eliminarea unor armonici se realizează prin folosirea unor filtre active sau pasive.

CAPITOLUL 2

ELEMENTE PRIVIND CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎN REȚELE DE TIPUL SMART GRID

2.1 CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎN REȚEAUA ELECTRICĂ

Orice deviație periodică a formei de undă pur sinusoidală a tensiunii, poate fi prezentată cu o sumă de unde sinusoidale și multiplii săi întregi. Expresia unei unde deformate este:

$$u(t) = c_{U0} + \sum_{k=0}^{\infty} c_{Uk} \cdot \sin(k \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t + \phi_{Uk}) \quad (2.1)$$

c_{U0} – componenta de curent continuu a formei de undă de tensiune;

c_{Uk} – amplitudinea armonicii k de tensiune;

ϕ_{Uk} – defazajul armonicii de ordinul k de tensiune;

f_1 – frecvența fundamentală.

Aprecierea deformării unde de tensiune se realizează cu ajutorul coeficientului de distorsiune THDU definit ca:

$$THDU = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} U_k^2}{U_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} c_{Uk}^2}{c_{U1}^2}} \quad (2.2)$$

unde:

$$U_k = \frac{c_{Uk}}{\sqrt{2}} \quad \text{– valoarea efectivă a armonicilor de tensiune de ordinul } k;$$

$$u_k = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100\% \quad \text{– valoare procentuală a armonicilor de tensiune de ordinul } k.$$

Tot ce s-a prezentat pentru armonicile de tensiune rămâne valabil și pentru armonicile de curent și THDI.

2.2. CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎNTR-O REȚEA INTELIGENTĂ

În Fig. 2.2 este reprezentată asocierea a trei concepte: rețeaua inteligentă, sursa regenerabilă și condițiile de calitate a energiei.

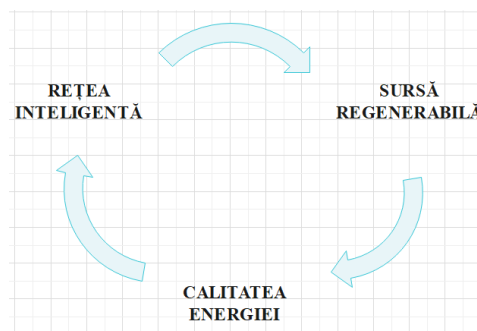


Fig. 2.2. Asocierea conceptelor de calitate a energiei și rețele inteligente

2.3. REGLEMENTĂRI PRIVIND CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE

În prezent, în România există o preocupare importantă pentru implementarea reglementărilor legate de calitatea energiei electrice (norme, standarde naționale și europene). [24]

Standardul EN 50160 conține specificațiile impuse pentru principalii parametri ai tensiunii. Toate prevederile standardului EN 50160 legate de tensiunea de alimentare și armonicile din sistem vor constitui datele de intrare pentru conceperea noii instalații. [26].

CAPITOLUL 3

CONCEPEREA UNEI INSTALAȚII PENTRU MONITORIZAREA ȘI OPTIMIZAREA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ LA MICI CONSUMATORI INDUSTRIALI

Obiectivul tezei de doctorat este reprezentat de realizarea unei instalații cu inteligență încorporată care să asigure alimentarea optimă prin monitorizarea în timp real a consumatorilor industriali mici în privința consumurilor de energie electrică, cu soluții de cost scăzut dar performante tehnic.

3.1. PROIECTAREA STRUCTURII GENERALE A INSTALAȚIEI

Prevăzut a avea un caracter modular, sistemul permite alimentarea optimă prin monitorizare în timp real a consumurilor, parametrii în limite admisibile pentru calitatea energiei electrice în rețeaua locală a consumatorului și posibilitatea de a introduce energie electrică provenită de la sursele regenerabile cu care este dotat consumator respectiv

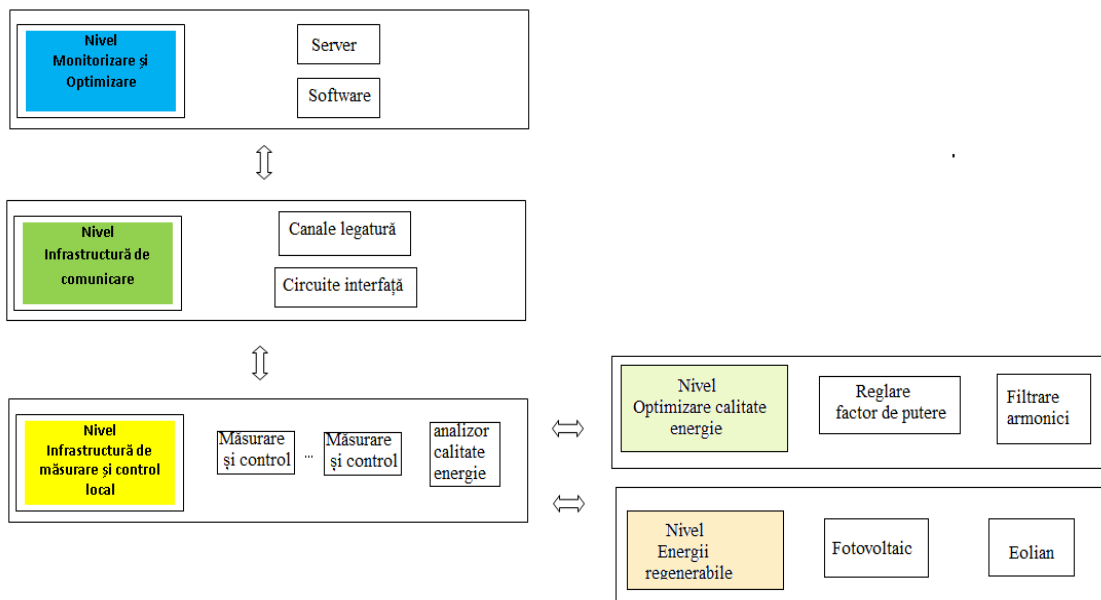


Fig.3.1. Schema bloc a instalației modulare

Instalația este gândită a fi realizată în trei soluții constructive:

- Soluția nr.1 - Funcții de măsurare a parametrilor energiei electrice consumate de un mic consumator de tip industrial, cu folosirea unui contor inteligent trifazat. Se asigură posibile comenzi locale către echipamentele din lanțul tehnologic, transmisie de date către punctul de dispecer care asigură gestiunea datelor și optimizarea consumurilor în timp real;
- Soluția nr.2 – cuprinde echipamentele specifice soluției nr.1 la care se atașează un modul ce asigură îndeplinirea parametrilor de calitate a energiei electrice privitor la factor de putere și eliminarea armonicilor din formele de undă ale curenților și tensiunilor electrice;

- Soluția nr.3 – cuprinde echipamentele specifice soluției constructive nr.2 împreună cu echipamente ce asigură introducerea la cerere, în urma procesului de optimizare, a energiei provenite din sursele regenerabile ale consumatorului respectiv.

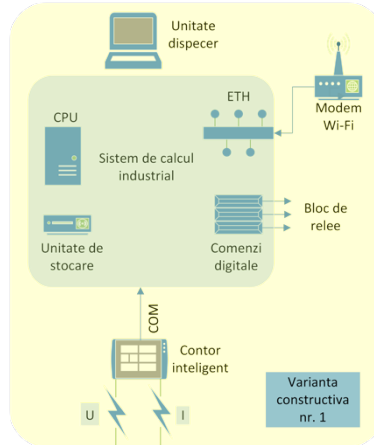


Fig. 3.2. Soluția constructivă nr.1

Datele obținute de la contorul inteligent numeric sunt transferate către sistemul de calcul industrial care asigură:

- prelucrarea datelor conform relațiilor de definiție a mărimilor ce trebuie determinate;
- calculul curbelor de sarcină;
- consumul de energie;
- comparația cu limitele impuse pentru diferitele mărimi energetice supravegheate prin sistemul respectiv;
- afișarea locală a unora din mărimi;
- posibilitatea de reglare locală a limitelor;
- realizarea de comenzi pentru controlul instalațiilor electrice supravegheate;
- transmiterea datelor, la anumite intervale de timp definite de utilizator, la punctul de dispecer.

Soluția constructivă nr.2 – Fig. 3.3, încorporează subansamblurile specifice variantei constructive 1 și aduce suplimentar funcții de păstrare a calității energiei electrice în rețeaua monitorizată:

- Supravegherea continuă și reglarea factorului de putere prin introducerea unei instalații de îmbunătățire a factorului de putere
- Supravegherea continuă a apariției armonicilor și introducerea unui filtru de eliminare a armonicilor din curba curentului
- Supravegherea continuă și semnalarea unor abateri de la prevederile normelor de calitate a energiei electrice.

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali

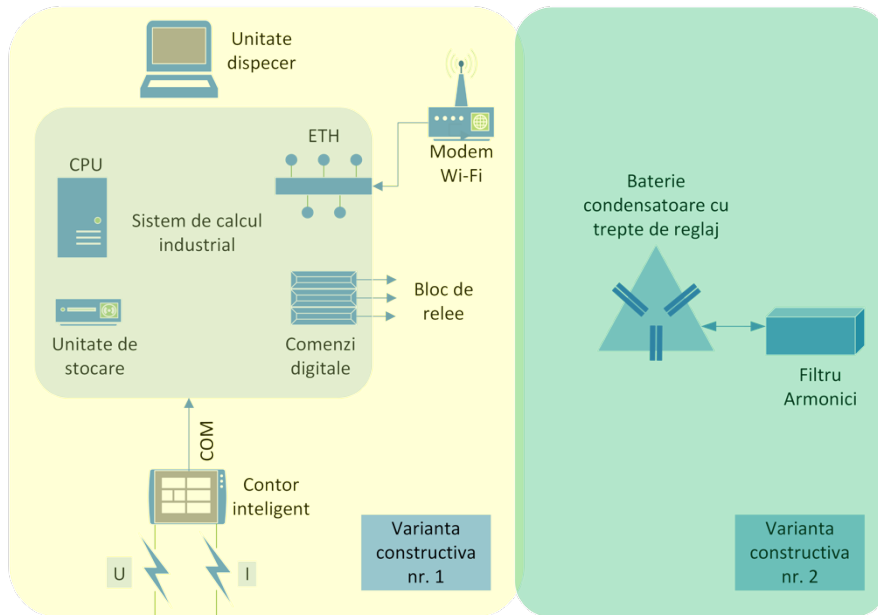


Fig. 3.3 Soluția constructivă nr.2

Soluția constructivă nr.3 indicată în Fig.3.4 conține suplimentar modulul de introducere a energiei realizată din surse de tip solar /eolian. Producerea energiei pe bază solară se realizează cu panouri fotovoltaice conectate la reglatoarele. Aceste reglatoare alimentează bateria de acumulatori. Producerea energiei electrice pe baza energiei eoliene se realizează cu un generator eolian ce asigură la ieșire o tensiune continuă care alimentează aceleași baterii de acumulatori.

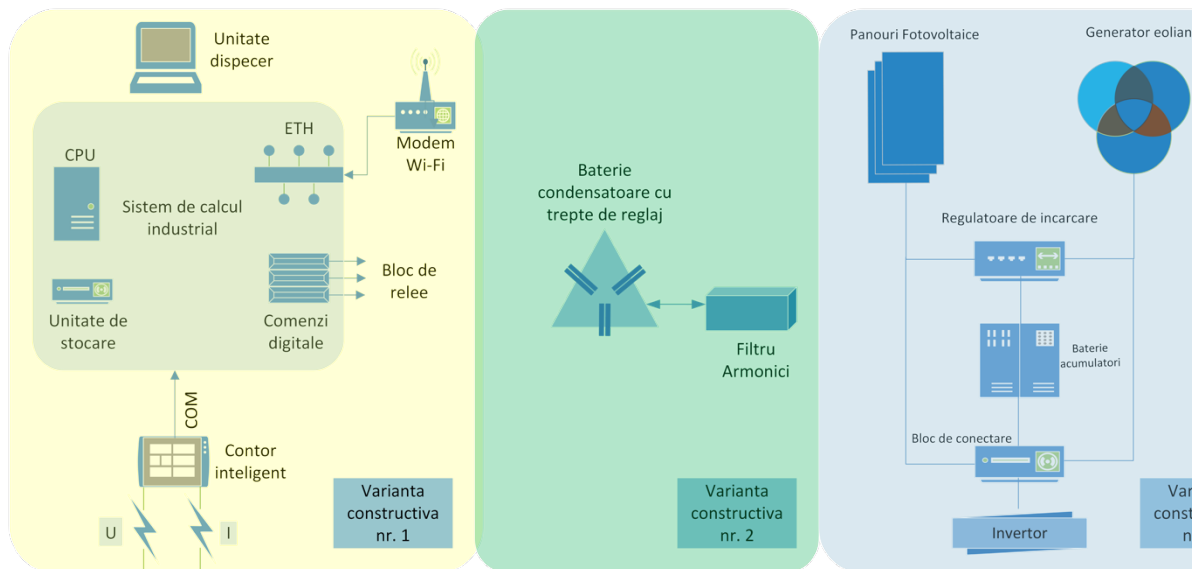


Fig. 3.4 Soluția constructivă nr.3

3.2. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCTIVE NR. 1

Sistemul inteligent propus pentru această soluție constructivă a instalației inteligente asigură funcția de achiziție în timp real a informațiilor amănunțite de consumuri de la utilajele instalate în fluxul tehnologic și prelucrare locală în vederea extragerii de informații utile

pentru eficientizarea acestora. Blocurile sale funcționale, realizate în urma proiectării, sunt prezentate în Fig.3.5.

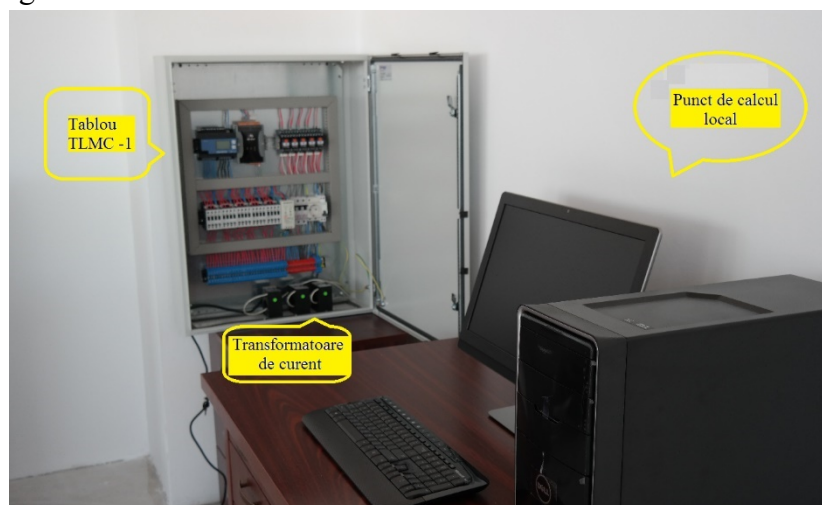


Fig.3.5. Blocuri funcționale soluție constructivă nr.1

Schema electrică a acestei soluții constructive – Fig.3.6, este realizată fizic în cadrul tabloului de monitorizare și comenzi locale – Fig.3.7, care cuprinde: echipamente de conectare a consumatorilor, echipamente protecție, bloc relee pentru comenzi, calculator industrial ce asigură optimizări locale, cutii de extensii, șiruri de cleme.

Scheme electrice de realizare pentru toate soluțiile constructive sunt atașate în Anexa 1.

Achiziția datelor se realizează cu ajutorul contoarelor trifazate inteligente tip Janitza UMG 104 ce măsoară, stochează și prelucrează informații privitoare la toate mărimile de interes din rețeaua trifazată supravegheată: mărimi de instrumentație globale și pe faze, date de facturare, curbe de sarcină, parametrii de configurare, informații de stare, informații privind calitatea energiei.

Partea legată de Smart Grid este preluată de un Terminal Energetic Inteligent (TEI), care este un echipament distinct, plasat fizic lângă contor. Acesta este reprezentat de sistemul de calcul industrial WP 5141.

Datele se transmit la un calculator situat în punctul de dispecer, loc în care se desfășoară toate activitățile de prelucrare de date, analize pentru optimizare, stabilirea optimă a regimurilor de lucru, controlul funcționării automate a echipamentelor ce asigură optimizarea la fiecare loc de alimentare a unor echipamente importante.

Proiectarea elementelor software include părți specifice pentru punctul local, cel de la dispecer și pentru posibilitățile de transmise date în interiorul instalației.

S-a utilizat mediul de programare grafică LabVIEW, cu drivere dezvoltate special pentru funcțiile acestei instalații.

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali

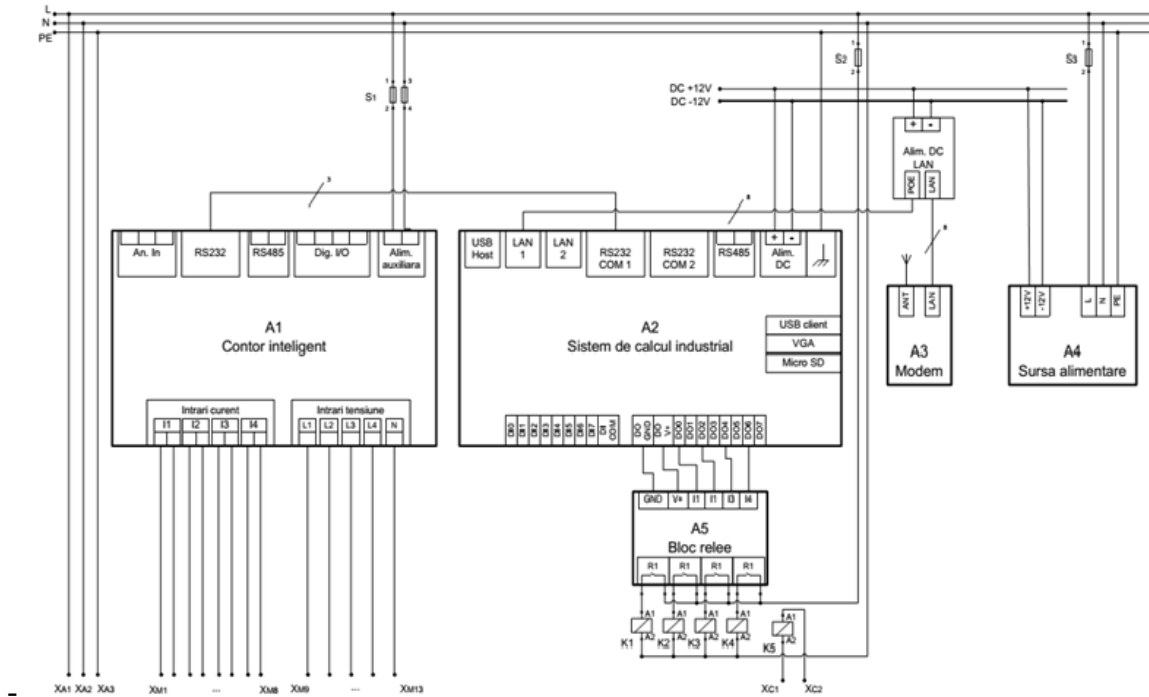


Fig.3.6. Schema electrică pentru soluția constructivă nr. 1



Fig.3.7. Tablou TLMC-1 cu transformatoare de măsurare de curent

3.3. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCȚIVE NR.2

Această soluție constructivă adaugă suplimentar la soluția constructivă nr.1 un subsansamblu destinat păstrării calității energiei electrice.

Pentru sistemul realizat în soluția nr. 2 se folosește o baterie de condensatoare automată formată din trei condensatoare electrolitice conectate în triunghi $3 \times 22 \mu\text{F}$. Pentru amortizarea armonicilor este prevăzut un filtru pasiv LC format din cele 3 condensatoare și trei inductivități.

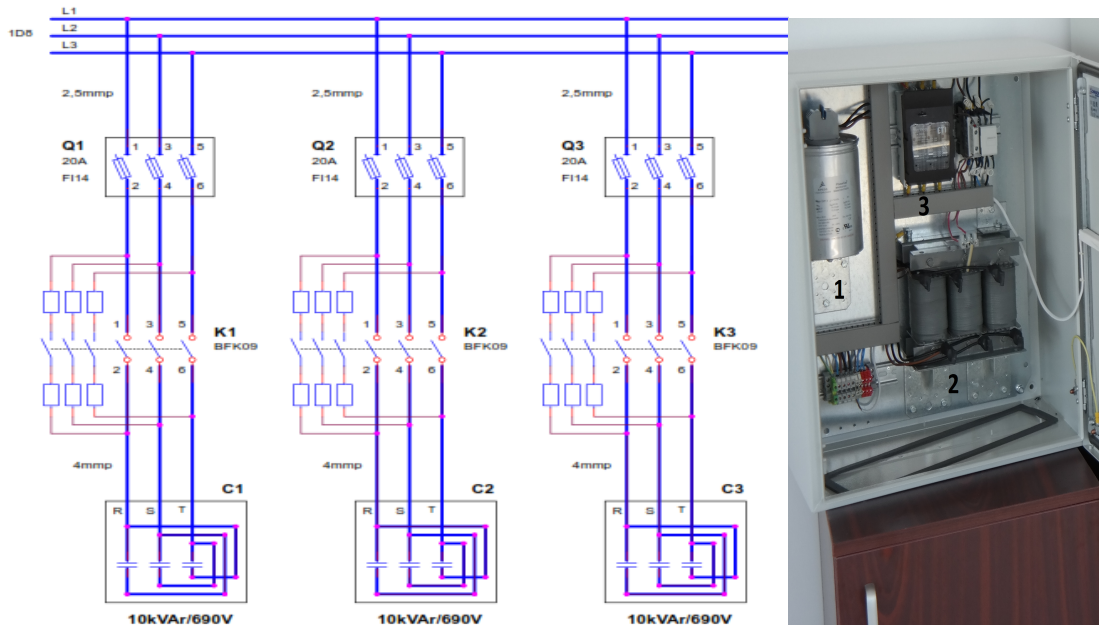


Fig. 3.9. Conectarea instalației de compensare Fig. 3.10. Tablou electric soluție constructivă nr.2

3.4. ELABORAREA SOLUȚIEI CONSTRUCTIVE NR.3

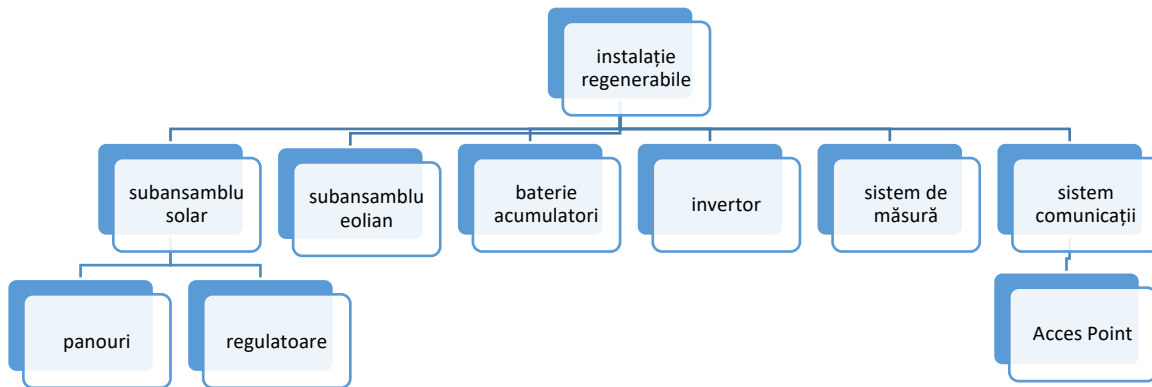


Fig.3.11. Soluție insularizată pentru energiile regenerabile

Producerea energiei pe bază solară este realizată cu 4 panouri fotovoltaice montate câte două în serie și conectate la câte un regulator. Cele două reglatoare alimentează bateria de acumulatori. Aceasta este formată din 4 baterii independente de 12 V, conectate câte două în serie pentru a obține tensiunea continuă de 24V care alimentează invertorul.

Schema electrică soluției constructive nr.3 este prezentată în Fig. 3.12 și alăturat, în Fig. 3.13, se poate observa realizarea efectivă.

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali

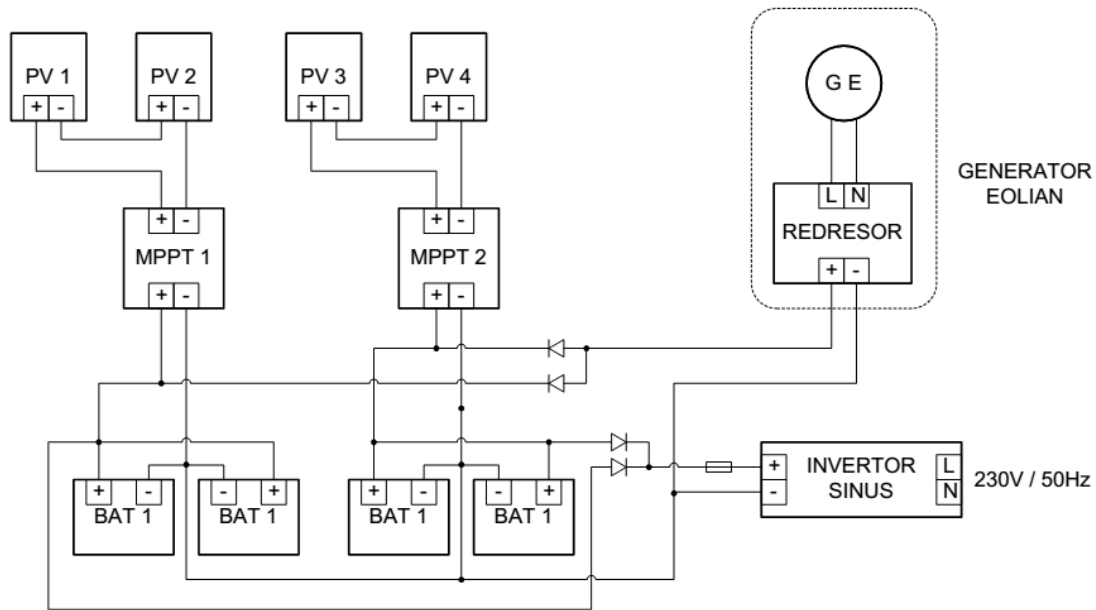


Fig. 3.12. Schema electrică modul soluție constructivă nr.3

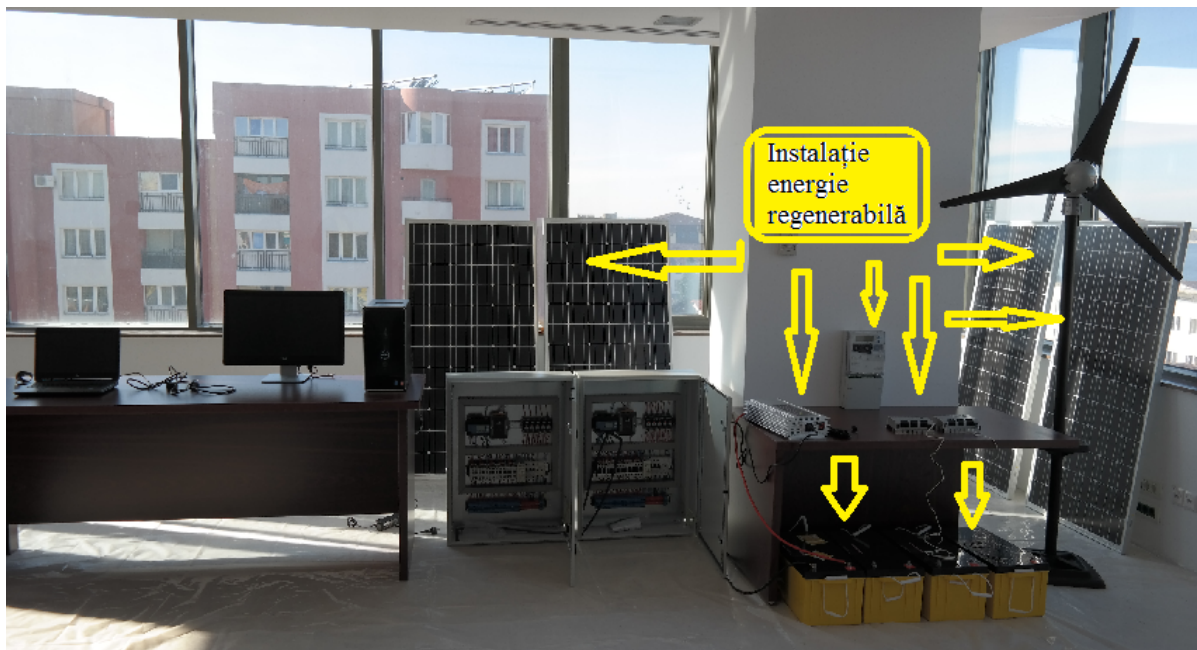


Fig. 3.13. Realizare practică soluție constructivă nr.3

3.5. SPECIFICAȚII PENTRU INFRASTRUCTURA DE COMUNICAȚII ȘI STRUCTURĂ PUNCT CENTRAL MONITORIZARE ȘI OPTIMIZARE

Punctul central de dispecer conține un server PowerEdge R620 dedicat și un sistem de calcul care asigură preluarea informațiilor de la punctele de calcul locale.

Analiza consumului se bazează pe monitorizarea următorilor parametri:

- tensiune;
- curent;
- putere activă;
- energie activă;

- putere reactivă;
- energie reactivă;
- factor de putere;
- calitatea energiei (armonici, distorsiuni, dezechilibru).

Puncte locale de monitorizare și control, asociate consumatorilor/grupelor de consumatori, sunt conectate printr-o rețea de comunicație WiFi la punctul central de dispecerat. Fiecare punct local conține:

- echipament de măsurare UMG-104;
- controller programabil WP-5441;
- echipament de comunicație WiFi IGAP-420 în configurație "CLIENT"

S-a realizat configurarea și software dedicat pentru controlerul WP-5441 în ceea ce privește rețeaua de comunicație și suportul pentru "debug". De asemenea, pentru a asigura comunicația punctelor locale de monitorizare cu aplicația dispecerat, a fost necesar ca echipamentele de comunicație WiFi existente la punctele locale de măsurare și monitorizare să fie configurate în mod "CLIENT" iar la dispecerat în mod "ACCES POINT".

Punctul central tip dispecer, către care punctul local trimite informațiile măsurate, este echipat cu calculator având configurat un sistem de baze de date - SQL Server 2012 Express. El este dotat cu o aplicație software care îndeplinește următoarele funcții:

- citirea parametrilor monitorizați de la echipamentul de măsurare;
- transferul parametrilor către aplicația dispecerat;
- stocarea parametrilor mășurați pe timpul cât nu există conexiune cu aplicația dispecerat (max. 48 ore);
- controlul consumatorilor conform comenzilor date prin reguli impuse.

Aplicația dispecerat are rolul de a permite configurarea punctelor locale de monitorizare și de a centraliza informațiile primite de la acestea într-o bază de date care să permită analiza ulterioară a acestora în vederea elaborării strategiilor de optimizare a consumului de energie electrică. Aplicația a fost realizată în concordanță cu cele trei variante constructive ale sistemului.

Pentru varianta constructivă 1 (monitorizarea parametrilor rețelei, în diferite noduri) și varianta constructivă 2 (varianta 1 plus echipament de compensare a energiei reactive și eliminare armonici), aplicația oferă utilizatorului o privire generală și de detaliu asupra puterii și energiei consumate, precum și a altor parametri de interes.

Pentru varianta constructivă 3 (varianta 2 plus surse de energie regenerabilă), aplicația oferă posibilitatea de vizualizare a parametrilor corespunzători fiecărui generator, într-un mod în care se poate observa cu ușurință ponderea energiei generate.

Parametrii monitorizați proveniți de la punctul local sunt transmiși către un server central ce conține baza de date. De aici sunt preluați de către această aplicație, care poate rula pe orice PC conectat în rețeaua serverului.

Pentru o bună vizualizare a parametrilor (mărimilor electrice), aceștia sunt grupați și afișați după cum urmează:

- mărimi instantanee la punctele locale pentru toți parametrii obținuți în urma monitorizării;
- selecții realizate de utilizator pentru istoricul unor parametri;
- evaluare, prin comparație, a tuturor tipurilor de energii și puteri măsurate;

- energia de tip regenerabil introdusă în rețea în urma procesului de optimizare;

Aplicația software a fost realizată în mediul de instrumentație virtuală LabVIEW și poate rula sub formă de executabil pe calculatorul utilizatorului, fără a necesita licență.

Pentru a-și îndeplini funcționalitatea, aplicația rulează simultan în două moduri principale de lucru, date de modul de afișare a datelor. Fluxul de date este ilustrat în diagrama de mai jos.

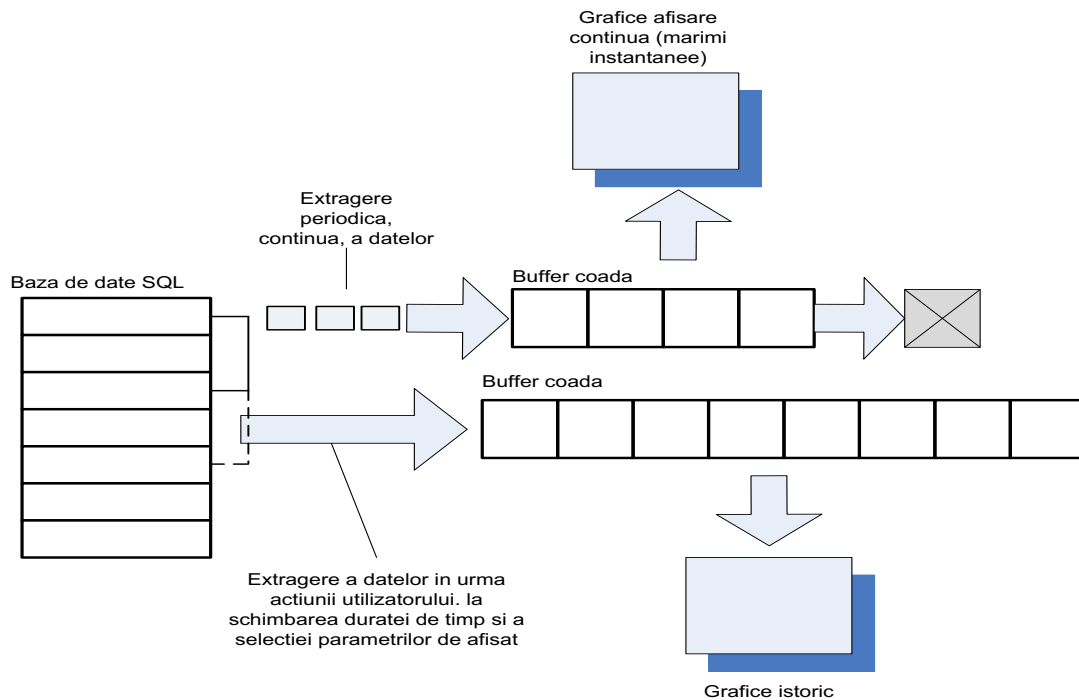


Fig. 3.14. Fluxul de date în modurile de afișare continuă: durată scurtă, istoric consum

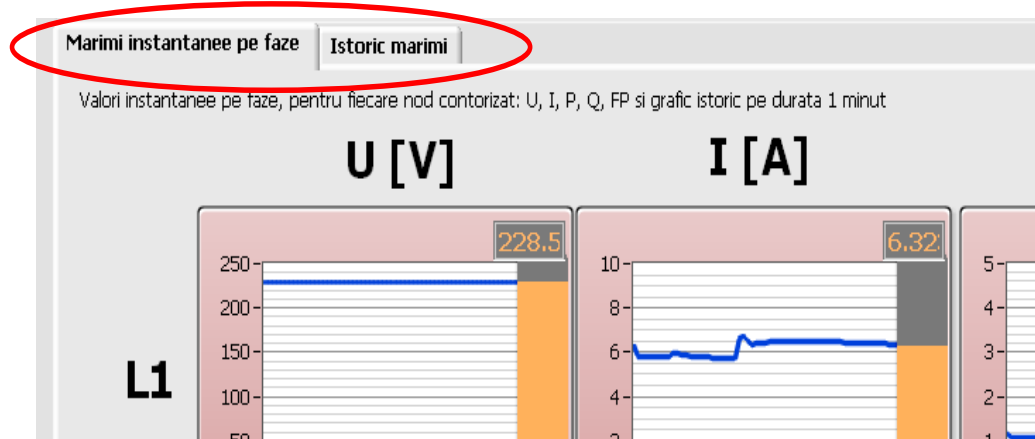


Fig.3.15. Detaliu de selecție a modului de afișare

În acest mod sunt afișate cursiv diferite mărimi, enumerate în prezentarea generală, sub forma de variații în timp pe grafic și sub formă de afișaj bar și valoare numerică după cum este detaliat în figura următoare. Mărimile sunt afișate pentru un punct local selectat și reprezintă

mărimi de fază. Este afișată grafic variația lor în timp, pe o durată de 1 minut, cuprinzând cele mai recente valori extrase din baza de date.

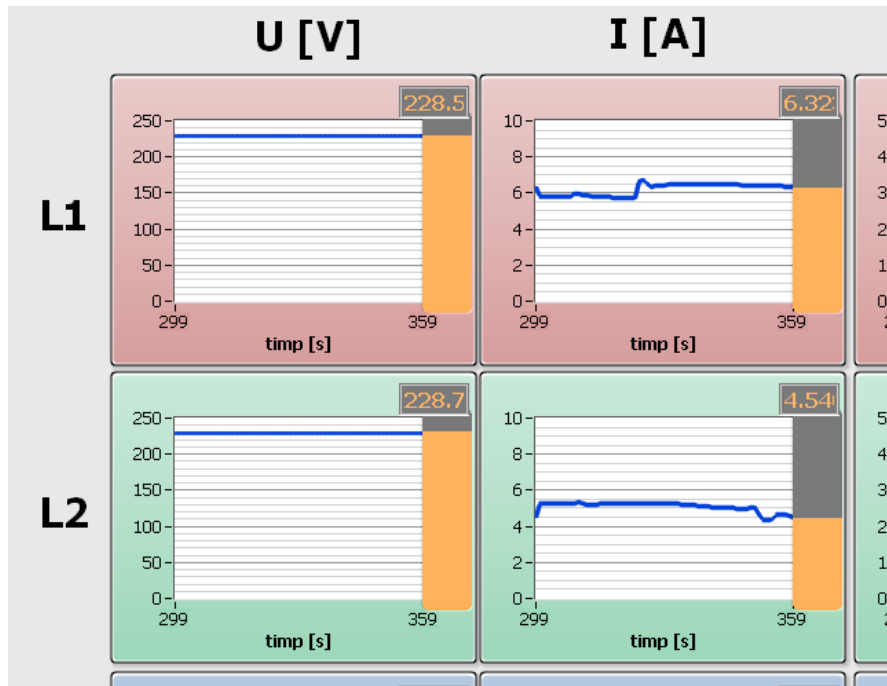


Fig.3.16. Exemplu de mărimi instantanee afișate în mod continuu

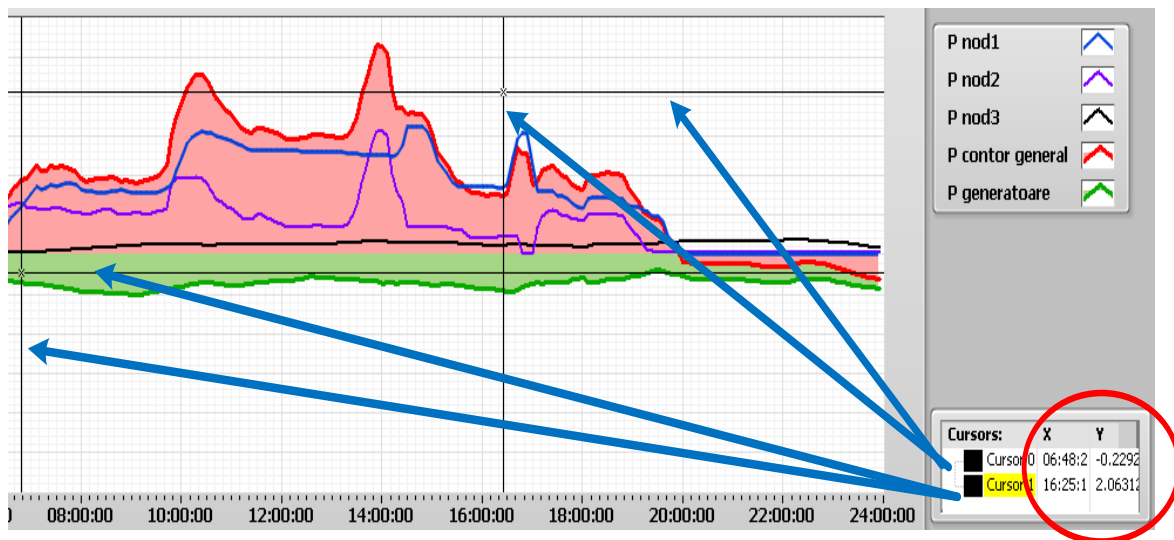
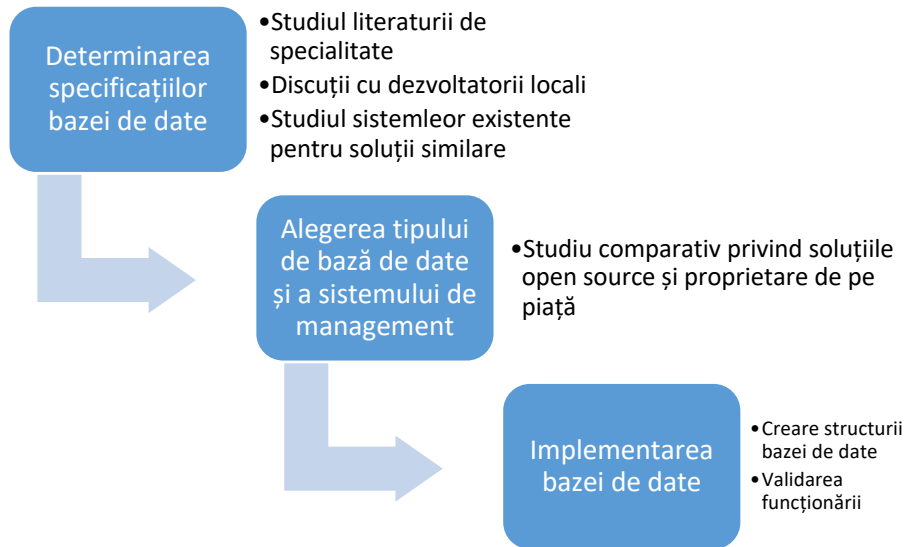


Fig.3.19. Cursoare (x,y) pentru aflarea valorilor și momentelor/intervalelor de timp

CAPITOLUL 4

PROIECTAREA ȘI REALIZAREA BAZEI DE DATE PENTRU ÎNREGISTRAREA VALORILOR MĂSURATE

În cadrul prezentului proiect de cercetare doctorală, proiectarea și realizarea bazei de date reprezintă un punct vital pentru întreaga funcționare a sistemului previzionat. Pentru aceasta s-a dezvoltat următoarea metodologie de realizare:



4.1. ALEGEREA TIPULUI DE BAZE DE DATE

Pentru alegerea bazei de date și a sistemului de management optim s-a realizat un studiu comparativ care tratează toate produsele ca un set [30] – [51]. În urma analizei s-a ales o bază de date relațională MySQL.

Pentru componenta de programare, s-a ales limbajul PHP care pune la dispoziție o interfață de administrare a bazei de date în mediu vizual, reprezentată de interfața de administrare numită phpMyAdmin.

4.2. PROIECTAREA BAZEI DE DATE

Instalația înglobează date care pot fi împărțite în diverse categorii, în funcție de setul de facilități pe care trebuie să le suporte. În acest scop, se remarcă următoarele categorii de informații vehiculate:

A. Date experimentale pentru cei n consumatori individuali.

Fiecare consumator $k = 1 \dots n$ are ca date de stocat:

- Nume consumator
- Pentru cele trei linii ale sistemului electric L1, L2, L3 se stochează:
 - Tensiunea electrică
 - Intensitățile curenților trifazați pe fiecare fază
 - Puterea activă
 - Puterea reactivă
 - Factor de putere
 - Factor distorsiune tensiune $k_{du1}, k_{du2}, k_{du3}$
 - Armonici (amplitudini) $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{100}$
 - Factor distorsiune curent $k_{di1}, k_{di2}, k_{di3}$

B. Datele măsurate din rețea la un moment dat

Proiectarea bazei de date multitabelară începe cu modul de interacțiune între tabele –

Fig. 4.1.

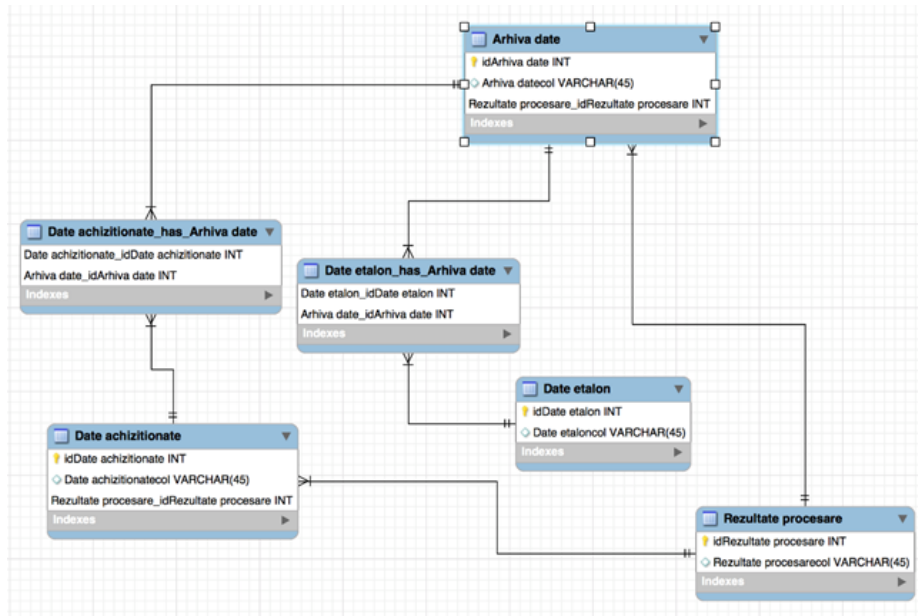


Fig. 4.1. Structura multi-tabelară a bazei de date

4.3. OPTIMIZAREA BAZEI DE DATE

4.3.1 Optimizări la nivelul bazei de date

Cel mai important factor în a face o aplicație de baze de date rapidă este design-ul său:

- alegerea unui motor de stocare tranzacțional – InnoDB
- tabelele comprimate care utilizează mai puțin spațiu pe disc și deci necesită mai puține operații I / O pentru a citi și a scrie datele. Compresia datelor este disponibilă pentru toate tipurile de sarcini de lucru cu tabele InnoDB.
- managementul priorităților
- zonele de memorie pentru cache sunt dimensionate corect.

4.3.2 Optimizări la nivel de cod

Cele mai importante aspecte implementare au fost:

Optimizările clauzelor WHERE

Extinderea Indexului (en. Index Extension)

Optimizarea „IS NULL”

Viteza declarațiilor de tip UPDATE

4.4. TESTAREA BAZEI DE DATE

S-a realizat:

Test stres

Test performanță

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali

Baza de date pentru testare este identică din punctul de vedere al structurii cu baza folosită în cadrul sistemului dezvoltat, dar popularea acesteia se va face cu date de test care sunt generate într-un mod control pentru a evalua performanțele sistemului de stocare.

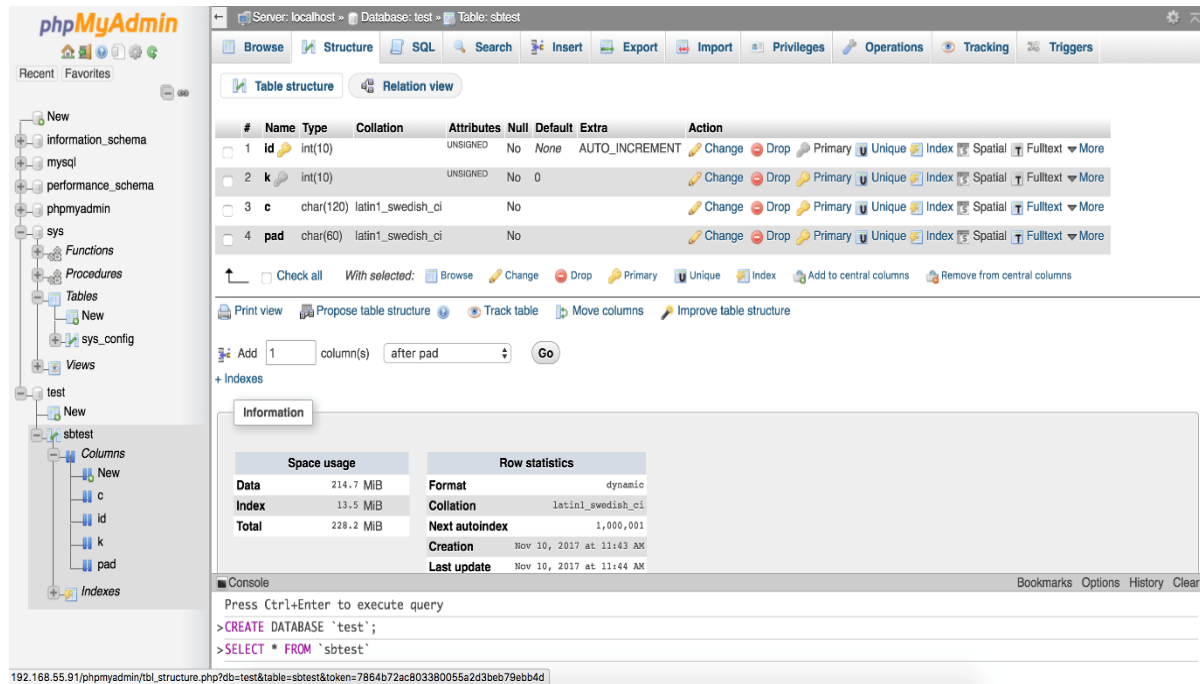
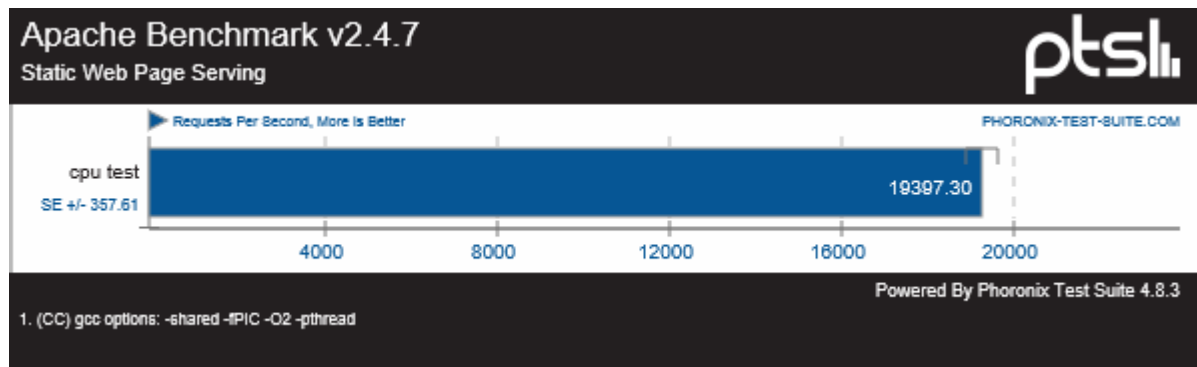
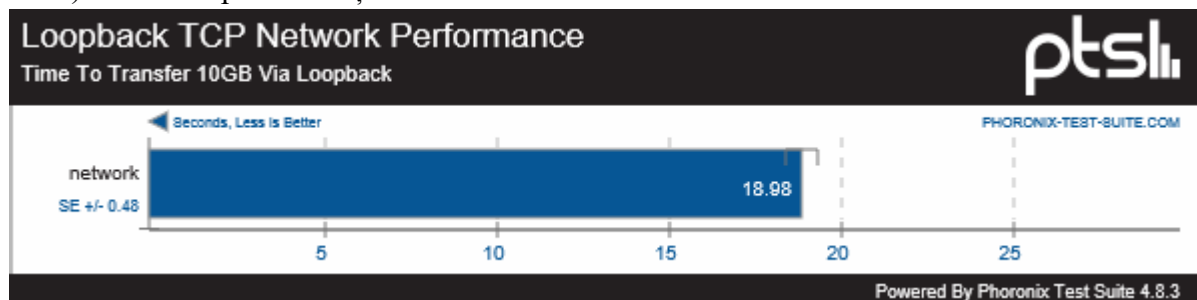


Fig. 4.2. Baza de date de test

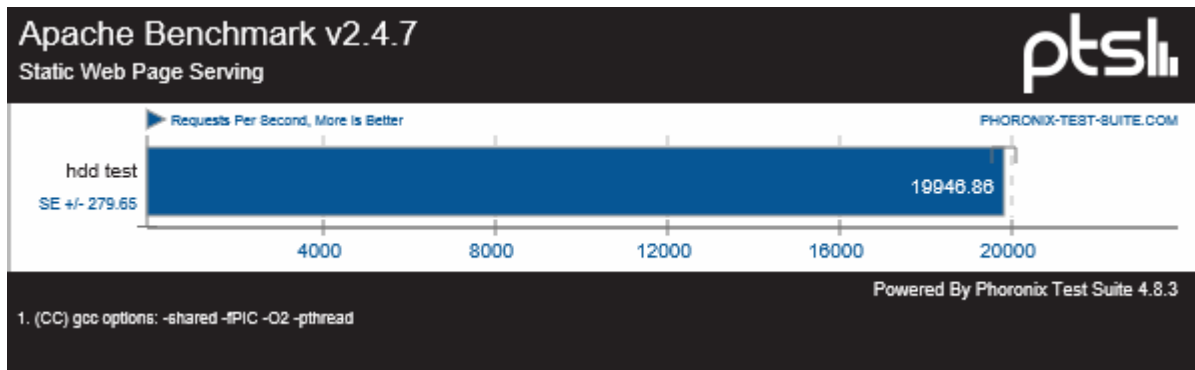
După popularea bazei de date s-a utilizat utilitarul Apache Benchmark pentru stabilirea performanțelor hardware ale sistemului de stocare dezvoltat.



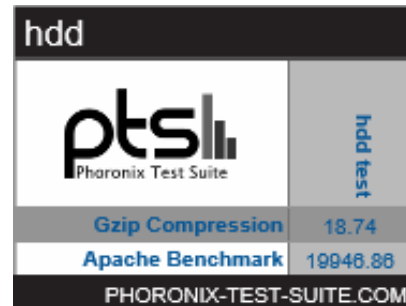
a) Testarea performanțelor CPU



b) Testarea interfeței de comunicație



c) Testarea performanțelor HDD



d) Rezultatele testării efectuate

Fig. 4.3. Testarea hardware a bazei de date de test

CAPITOLUL 5

COMPONENTA SOFTWARE A INSTALAȚIEI PENTRU MONITORIZAREA ȘI OPTIMIZAREA CONSUMURILOR DE ENERGIE LA MICII CONSUMATORI INDUSTRIALI

5.1. CONFIGURAȚIA FLUXULUI DE DATE

Instalația se compune dintr-un punct local/mai multe puncte locale de monitorizare și control al consumului, asociate consumatorilor sau grupelor de consumatori, conectate printr-o rețea de comunicație WiFi la un punct central de dispecerat.

Fiecare punct local conține:

- echipament de măsurare UMG-104;
- controller programabil WP-5441 ce rulează aplicația de achiziție date cu sistem de operare Win CE 5.0;
- echipament de comunicație WiFi IGAP-420 în configurație "CLIENT"

Punctul central tip Dispecer, către care punctul local trimite informațiile măsurate, este echipat cu:

- calculator PC având configurate Sistem de baze de date - SQL Server 2012 Express și echipament de comunicație WiFi IGAP-420 în configurație "ACCESS POINT".

Schema fluxului de date proiectat se poate observa în cadrul Fig. 5.1.

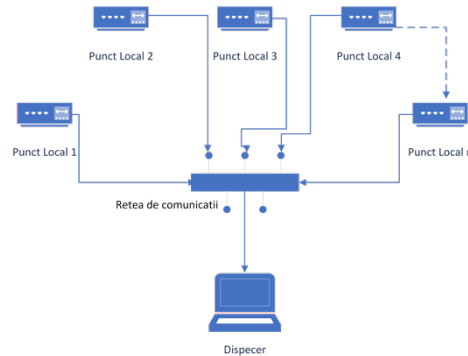


Fig. 5.1. Fluxul de date

5.2. CONFIGURAȚIE SOFTWARE PENTRU CONTROLERUL WP-5441

În vederea utilizării controlerului WP-5411 acesta a fost configurat în ceea ce privește rețeaua de comunicație și suportul pentru "debug".

5.3. CONFIGURAȚIE SOFTWARE PENTRU PUNCTUL DE COMUNICAȚIE

Pentru a asigura comunicația punctelor locale de monitorizare cu aplicația dispecerat, este necesar ca echipamentele de comunicație WiFi de la punctele locale de monitorizare să fie configurate în modul "CLIENT" iar cel de la dispecerat în modul "ACCES POINT".

5.4. CONFIGURAȚIA PROTOCOALELOR DE COMUNICAȚIE

5.4.1 ModBus RT.U Exemplu:

Structura unui mesaj este de forma:

<ADR><FCT><DATA><CRC>

<ADR> - adresa echipamentului slave (UMG-104);

<FCT> - codul comenzii, 1 octet având următoarele valori posibile:
0x03 - citire regiștrii;
0x04 - citire regiștrii de intrare;
0x06 - scriere registru;
0x10 - scriere mai mulși regiștrii;

<CRC> - suma de control CRC16 (2 octeți);

<DATA> - informații privind adresa registruului/regiștrilor, numărul de regiștrii și conținutul regiștrilor.

Formatul depinde de codul comenzii, astfel:

Comanda 0x03:

Cerere: adresa primului registru - 2 octeți
numărul de regiștrii - 2 octeți

5.5.2. Aplicația software pentru dispecer

Aplicația dispecerat rulează în sistemul de operare Windows având următoarea arhitectură:

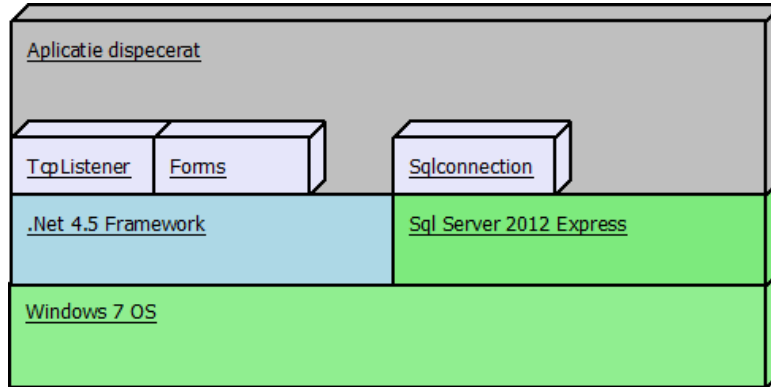


Fig. 5.3. Arhitectură aplicație dispecer

5.5.3. Aplicația software pentru baza de date

Aplicația dispecerat folosește sistemul de baze de date SQL Server 2012 Express pentru a stoca configurațiile celulelor, evenimentele din sistem și valorile măsurate.

5.5.4. Aplicație software pentru procesarea valorilor offline

Aplicația funcționează în mediul de programare grafică LabVIEW și se raportează la întreaga arhitectură software a sistemului astfel:

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali

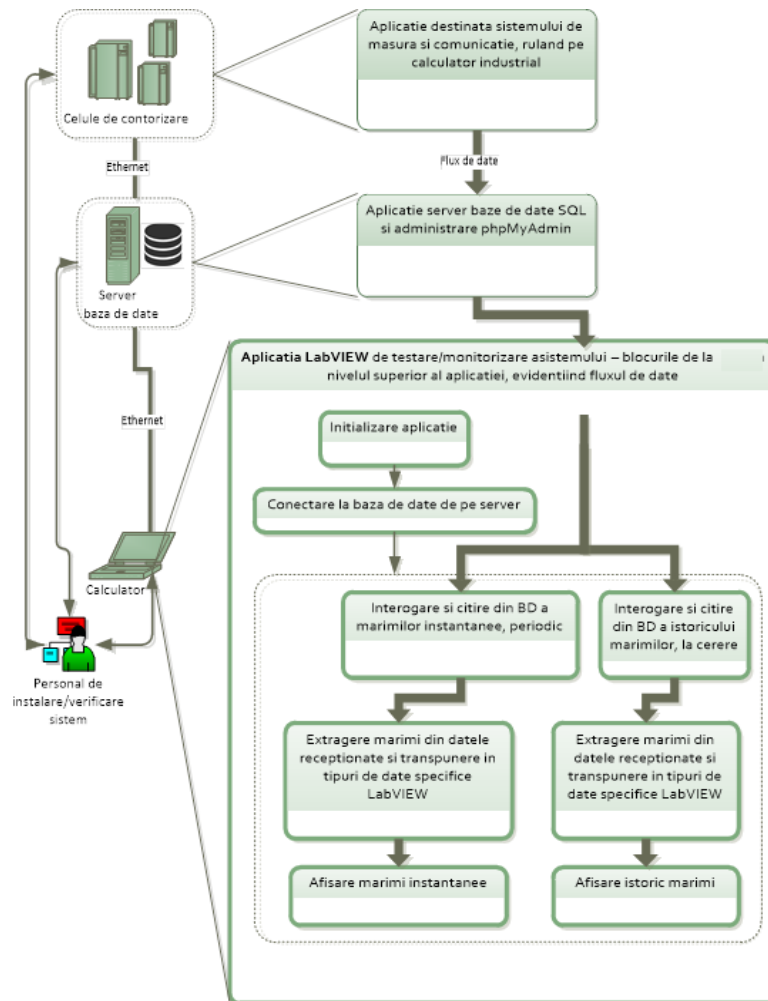


Fig. 5.5. Arhitectură software completă a sistemului

Blocuri componente ale aplicației software LabVIEW de monitorizare și testare

- ▶ Creare listă de mărimi măsurate
- ▶ Conectarea aplicației la baza de date
- ▶ Dimensionarea componentelor tampon aferente ferestrelor afișate
- ▶ Sincronizare funcție de timp și citirea valorilor mărimilor instantanee pentru un punct local
 - ▶ Interogare baza de date pentru etichete de timp, la mărimi instantanee
 - ▶ Interogare baza de date pentru mărimi aferente unui punct local, în cazul istoricului mărimilor

Acest subVI alcătuiește o instrucțiune SQL în vederea citirii din baza de date a valorilor mărimilor corespunzătoare celulei de măsurare având ID-ul specificat. Cererea este făcută pentru cazul istoricului mărimilor, solicitând înregistrările cuprinse într-un interval de timp specificat.

Parametri intrare/ieșire



Loc și conectivitate în aplicația LabVIEW

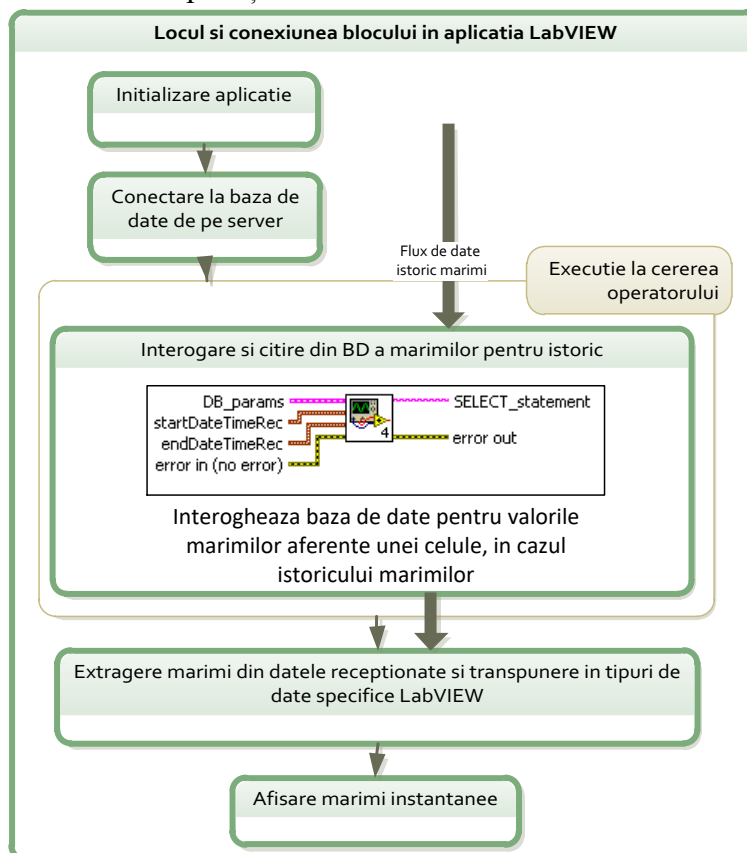


Fig. 5.11. Organigramă pentru interogare bază de date pentru istoricul mărimilor

- ▶ Conversie dată și oră în formatul bazei de date
- ▶ Selecție punct de măsurare vizualizat
- ▶ Selecție vector mărime specificată din matrice coloane citite
- ▶ Alcătuire colecție de date pentru afișarea mărimilor instantanee

CAPITOLUL 6

DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

6.1. TESTAREA COMPONENTELOR HARDWARE

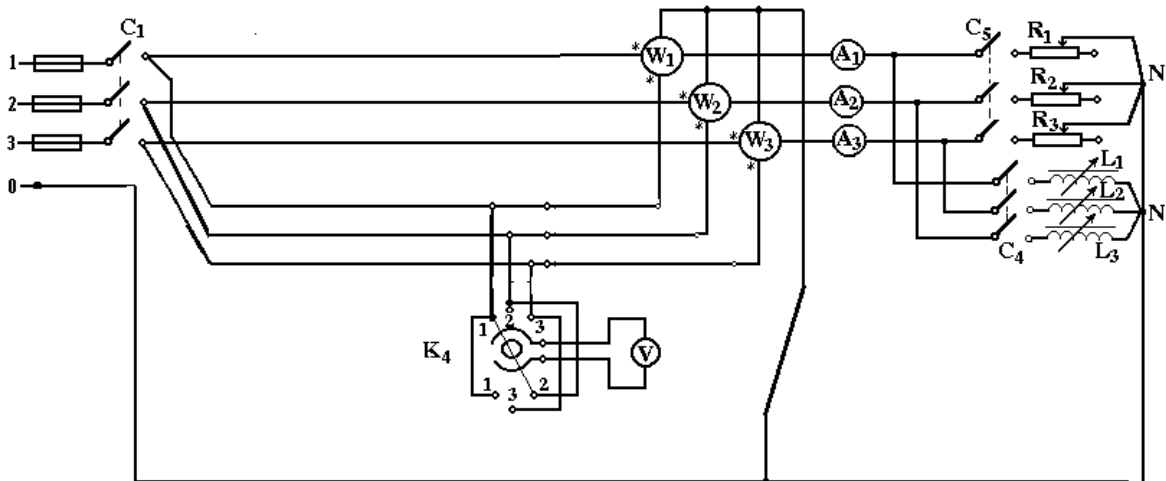


Fig. 6.1. Instalația de testare

Realizarea experimentală a circuitelor de intrare pentru intensitatea curentului și pentru contorul inteligent se poate observa în Fig. 6.7 și Fig.6.8



Fig.6.7 Realizarea experimentală a circuitelor

→ Experimentare funcții măsurare soluție constructivă 1

a) Funcție măsurare tensiune electrică

Rezultatele sunt indicate în figurile următoare.



Măsurare tensiune fază U_{IN} :

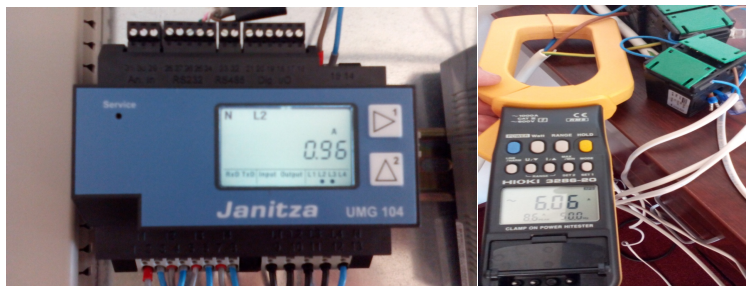
- măsurat $U_{IN} = 211,7$ V; etalon $U_{eIN} = 212,8$ V

b) Funcție măsurare intensitate curent electric

S-au folosit transformatoare de măsurare de curent cu raportul de transformare

$$I_{1n}/I_{2n} = 30A/5A = 6$$

Exemplu: Faza 2



Indicația contorului numeric $I_{2s} = 0,96$ A Curentul I_2 măsurat multimetru = 6,06A

Calculând cu raportul de transformare indicat și ținând cont de clasele aparatelor ca exactitate, rezultatele se înscriu în valori admisibile.

c) Funcție măsurare putere activă

Faza 1



Puterea indicată de wattmetrul $W1$: $P_{1s} = 0,2$ kW → $P_1 = 1,2$ kW

Puterea indicată de etalon $P_1 = 1,293$ kW

d). Experimentare funcție măsurare factor de putere



Indicația contorului numeric și a etalonului

→ Experimentare componente și funcții măsurare soluție constructivă nr. 3

Testarea componentelor hardware pentru varianta 3 s-a făcut după o schemă care cuprinde surse solară (4 panouri fotovoltaice) și eoliană (un minigenerator eolian) – Fig.6.4. Soluția adoptată pentru experimentarea sistemului este de măsurare directă (folosind contorul integrat) a energiei produse.

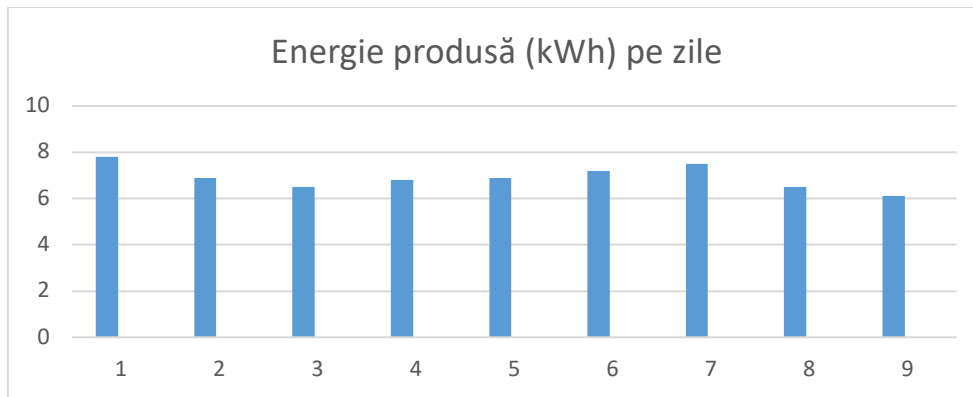


Fig. 6.4. Schema testare soluție constructivă nr. 3

În perioada de experimentare s-a înregistrat următoarea energie produsă:

Ziua	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energie produsă (kWh)	7,8	6,9	6,5	6,8	6,9	7,2	7,5	6,5	6,1
Energie produsă total (kWh)	63,2								

Contribuții privind monitorizarea și optimizarea consumului de energie electrică la micii consumatori industriali



6.2. TESTAREA COMPONENTELOR SOFTWARE

6.2.1. Teste transfer de date

S-a realizat transmiterea date între două echipamente specifice, folosite ca receptor/transmițător.

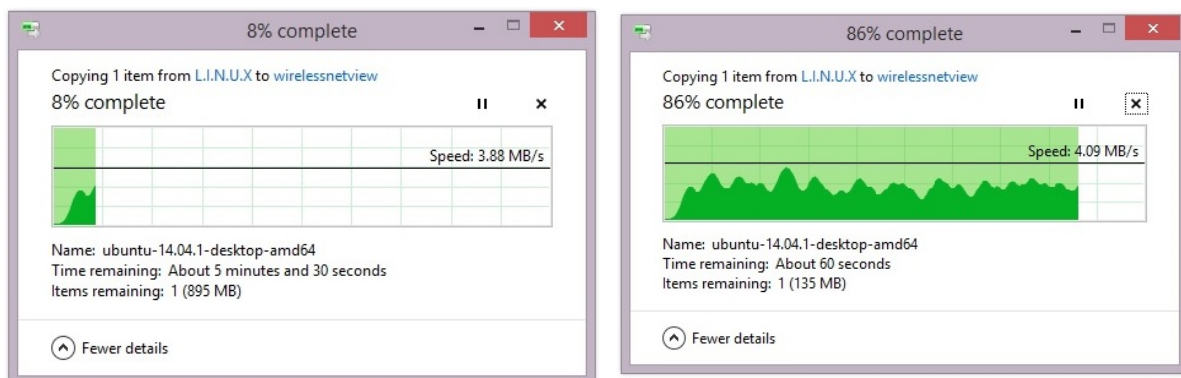




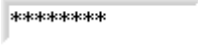
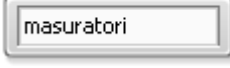
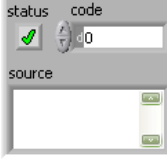
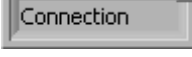
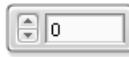


Fig. 6.8. Testarea transferului de date


6.2.2. Testarea aplicației offline

Pentru detectarea erorilor de programare, în cadrul aplicației offline, s-a rulat programul pas cu pas, pentru reglajul gameilor și pentru a corecta punctele de întrerupere. Pentru depanare se folosesc sondele testare ale LabVIEW. Exemplu de rezultate:

Tabel 6.1 Rezultate test 1 DB_connectToDb

Descriere și conexiuni	<p>Conectează aplicația la baza de date, cu informațiile introduse de utilizator și furnizează o referință la conexiune, precum și lista numelor coloanelor tabelului conținând mărimile măsurate</p> <p style="text-align: center;">DB_connectToDb.vi</p>
Parametri intrare	<p>connection information</p> <ul style="list-style-type: none"> MySQL_ENOPT

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: denumirea conexiunii create pe baza driver-ului MySQL; are o valoare predefinită, care nu se va modifica de către utilizator ○ Tip date: șir de caractere <p>userID</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ● ○ Descriere: numele user-ului ○ Tip date: șir de caractere <p>userID</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: numele user-ului ○ Tip date: șir de caractere <p>password</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: parola user-ului ○ Tip date: șir de caractere <p>quantitiesTableName</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: numele tabelii din baza de date, care conține măsurătorile ○ Tip date: șir de caractere <p>error in (no error)</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: statusul erorii la intrare, codul și sursa acesteia, dacă există vreo eroare; Cod 0 înseamnă „nicio eroare” ○ Tip date: cluster (înregistrare)
Parametri ieșire	<p>connection reference out</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: referința la conexiunea nou creată, transmisă spre a fi folosită și de alte subrutine ○ Tip date: referință (handle) <p>columnsList</p> <p> </p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: lista coloanelor din tabela al carei nume este introdus ca parametru ○ Tip date: vector de șir de caractere <p>error out</p> <p></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Descriere: statusul erorii la ieșire, codul și sursa acesteia, dacă există vreo eroare; Cod 0 înseamnă „nicio eroare”

<p>TEST 1: date test intrare</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tip date: cluster (înregistrare) <ul style="list-style-type: none"> • Date aparținând aplicației <p>connection information</p> <pre>MySQL_ENOPT userID root password ***** quantitiesTableName masuratori</pre>																																																																		
<p>TEST 1: date ieșire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Date ieșire subrutină <p>columnsList</p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>CELL_ID</td><td>DATA</td><td>FREQ</td><td>U_L1_N</td><td>U_L2_N</td></tr> <tr><td>5</td><td>U_L3_N</td><td>U_L1_L2</td><td>U_L2_L3</td><td>U_L3_L1</td><td>I_L1</td></tr> <tr><td>10</td><td>I_L2</td><td>I_L3</td><td>I_SUM</td><td>P_L1</td><td>P_L2</td></tr> <tr><td>15</td><td>P_L3</td><td>P_SUM</td><td>S_L1</td><td>S_L2</td><td>S_L3</td></tr> <tr><td>20</td><td>S_SUM</td><td>Q_L1</td><td>Q_L2</td><td>Q_L3</td><td>Q_SUM</td></tr> <tr><td>25</td><td>COS_PHI_L1</td><td>COS_PHI_L2</td><td>COS_PHI_L3</td><td>WHP_L1</td><td>WHP_L2</td></tr> <tr><td>30</td><td>WHP_L3</td><td>WHP_SUM</td><td>WHS_L1</td><td>WHS_L2</td><td>WHS_L3</td></tr> <tr><td>35</td><td>WHS_SUM</td><td>WHP_C_L1</td><td>WHP_C_L2</td><td>WHP_C_L3</td><td>WHP_C_SUM</td></tr> <tr><td>40</td><td>WHP_D_L1</td><td>WHP_D_L2</td><td>WHP_D_L3</td><td>WHP_D_SUM</td><td>QH_L1</td></tr> <tr><td>45</td><td>QH_L2</td><td>QH_L3</td><td>QH_SUM</td><td>IQH_L1</td><td>IQH_L2</td></tr> <tr><td>50</td><td>IQH_L3</td><td>IQH_SUM</td><td>CQH_L1</td><td>CQH_L2</td><td>CQH_L3</td></tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Extras din fereastra aplicației client SQL, așa cum apare la accesarea serverului din browser 	0	CELL_ID	DATA	FREQ	U_L1_N	U_L2_N	5	U_L3_N	U_L1_L2	U_L2_L3	U_L3_L1	I_L1	10	I_L2	I_L3	I_SUM	P_L1	P_L2	15	P_L3	P_SUM	S_L1	S_L2	S_L3	20	S_SUM	Q_L1	Q_L2	Q_L3	Q_SUM	25	COS_PHI_L1	COS_PHI_L2	COS_PHI_L3	WHP_L1	WHP_L2	30	WHP_L3	WHP_SUM	WHS_L1	WHS_L2	WHS_L3	35	WHS_SUM	WHP_C_L1	WHP_C_L2	WHP_C_L3	WHP_C_SUM	40	WHP_D_L1	WHP_D_L2	WHP_D_L3	WHP_D_SUM	QH_L1	45	QH_L2	QH_L3	QH_SUM	IQH_L1	IQH_L2	50	IQH_L3	IQH_SUM	CQH_L1	CQH_L2	CQH_L3
0	CELL_ID	DATA	FREQ	U_L1_N	U_L2_N																																																														
5	U_L3_N	U_L1_L2	U_L2_L3	U_L3_L1	I_L1																																																														
10	I_L2	I_L3	I_SUM	P_L1	P_L2																																																														
15	P_L3	P_SUM	S_L1	S_L2	S_L3																																																														
20	S_SUM	Q_L1	Q_L2	Q_L3	Q_SUM																																																														
25	COS_PHI_L1	COS_PHI_L2	COS_PHI_L3	WHP_L1	WHP_L2																																																														
30	WHP_L3	WHP_SUM	WHS_L1	WHS_L2	WHS_L3																																																														
35	WHS_SUM	WHP_C_L1	WHP_C_L2	WHP_C_L3	WHP_C_SUM																																																														
40	WHP_D_L1	WHP_D_L2	WHP_D_L3	WHP_D_SUM	QH_L1																																																														
45	QH_L2	QH_L3	QH_SUM	IQH_L1	IQH_L2																																																														
50	IQH_L3	IQH_SUM	CQH_L1	CQH_L2	CQH_L3																																																														

TEST 1: rezultat	✓ Test trecut
---------------------	---------------

În continuare sunt prezentate rezultate privitoare la testarea pachetului software împreună cu baza de date.

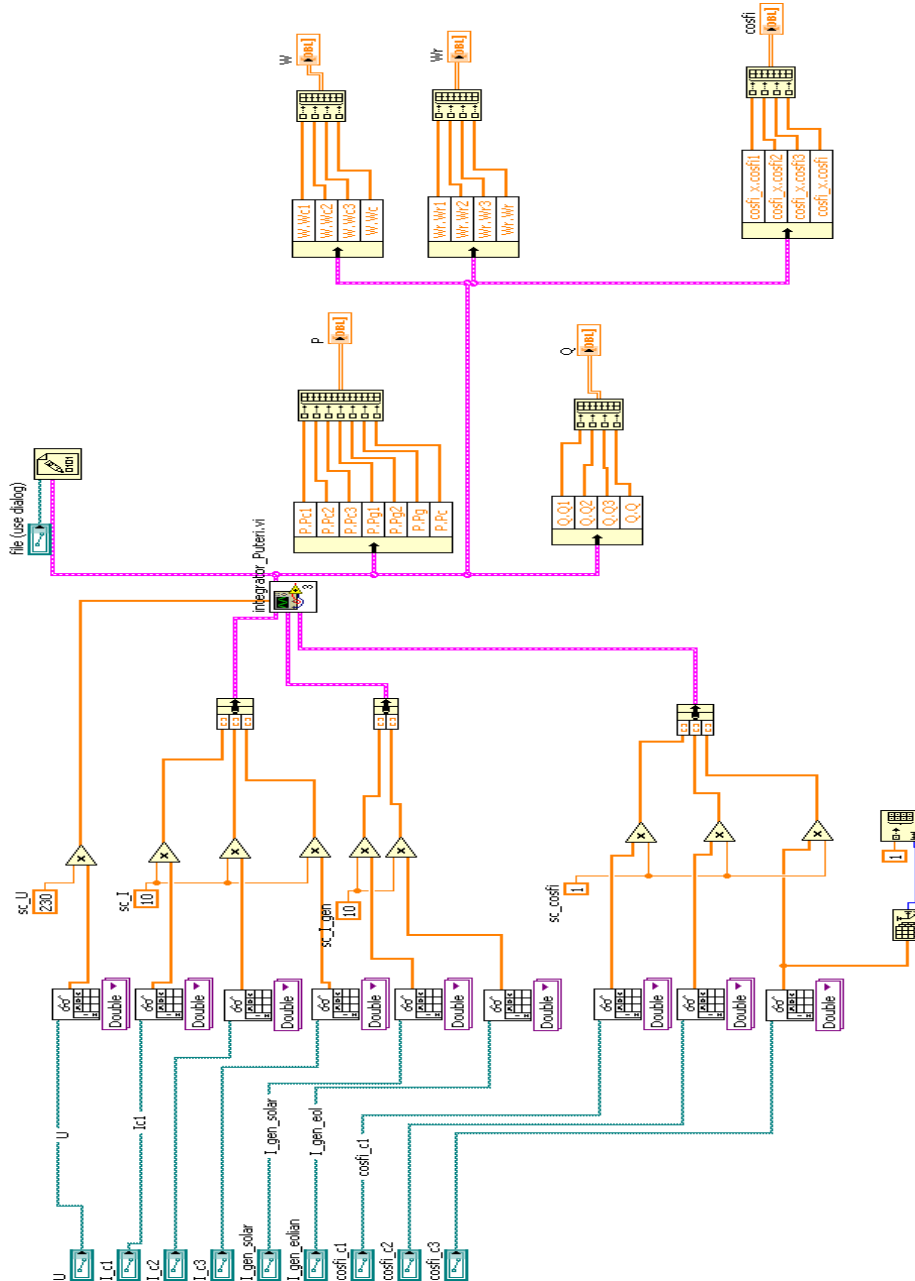


Fig. 6.9. Citirea mărimilor de test pentru U, I și factor de putere, scalarea acestora, determinarea mărimilor derivate (puteri, energii) și pregătirea pentru afișare

Rezultatele testărilor privitoare la software dispecer sunt prezentate în figurile următoare.

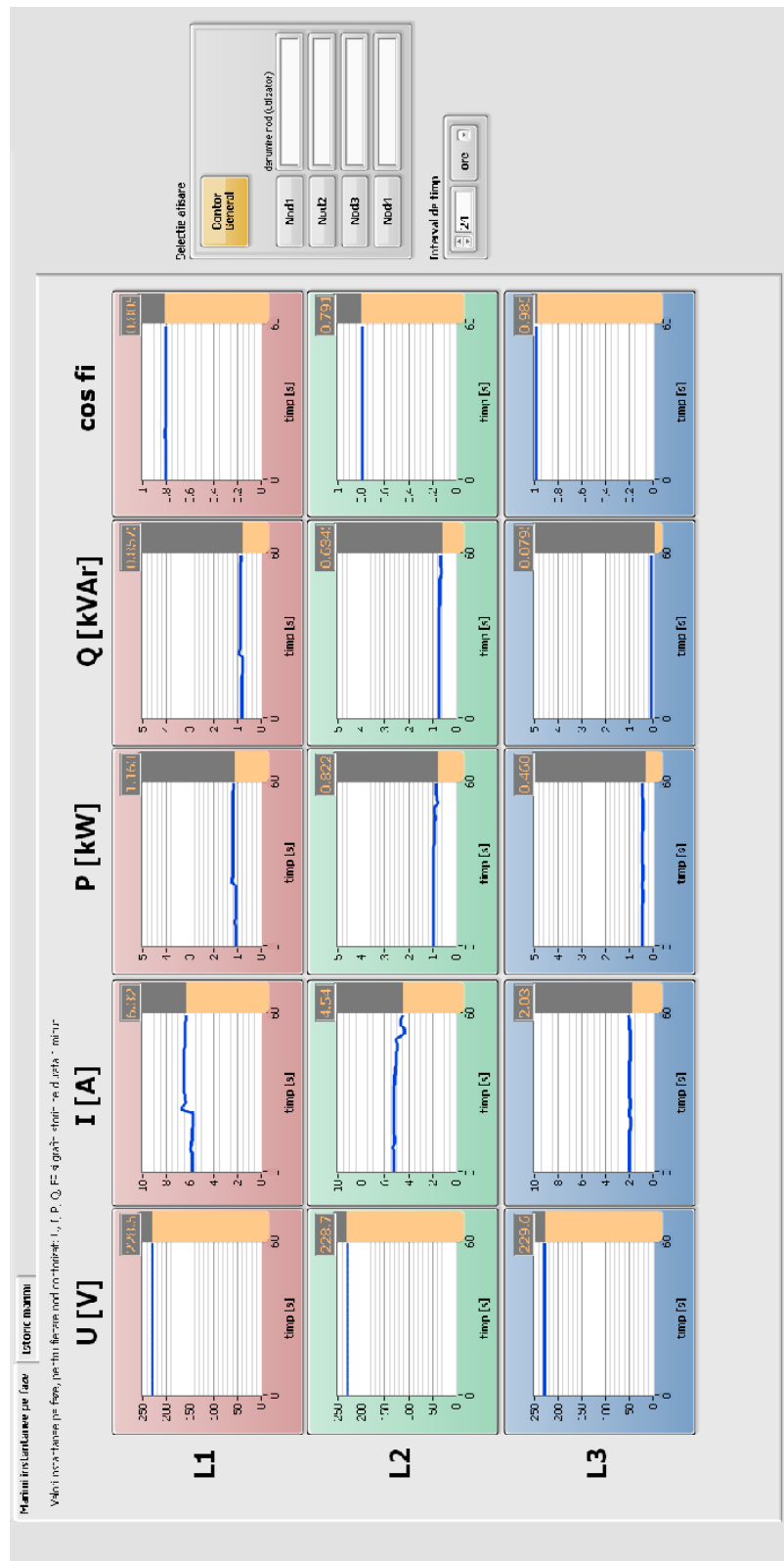


Fig. 6.13. Mărimi instantanee

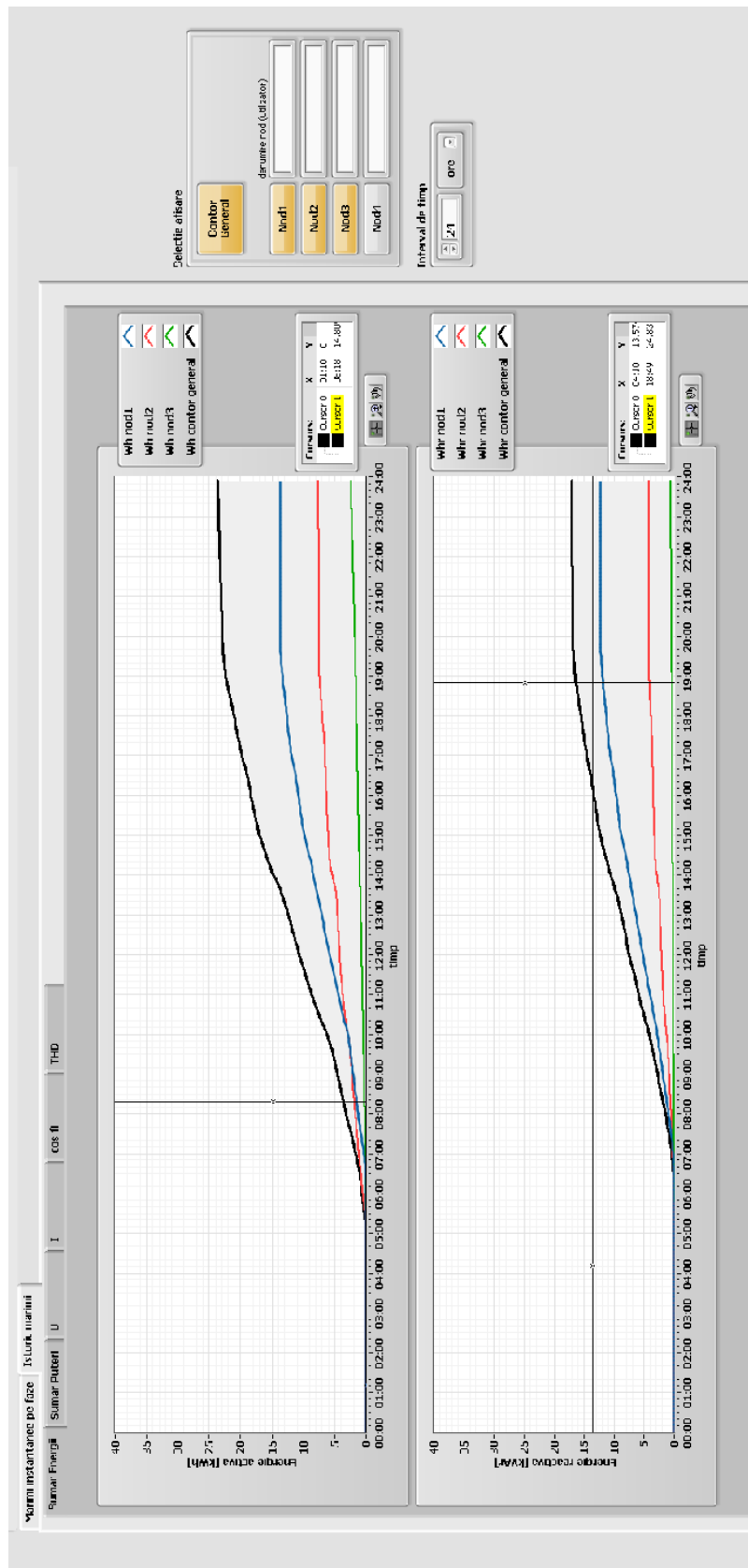


Fig. 6.14. Energia măsurată într-o zi

6.2.3. Testarea funcționării ansamblului instalației realizate

Termografierea s-a făcut cu ajutorul unei camere de termoviziune Fluke TIS60, iar termograma a fost prelucrată pentru indicarea punctelor de defect.

Rezultatele testelor de termoviziune sunt prezentate în Fig.6.21. și Fig.6.22.

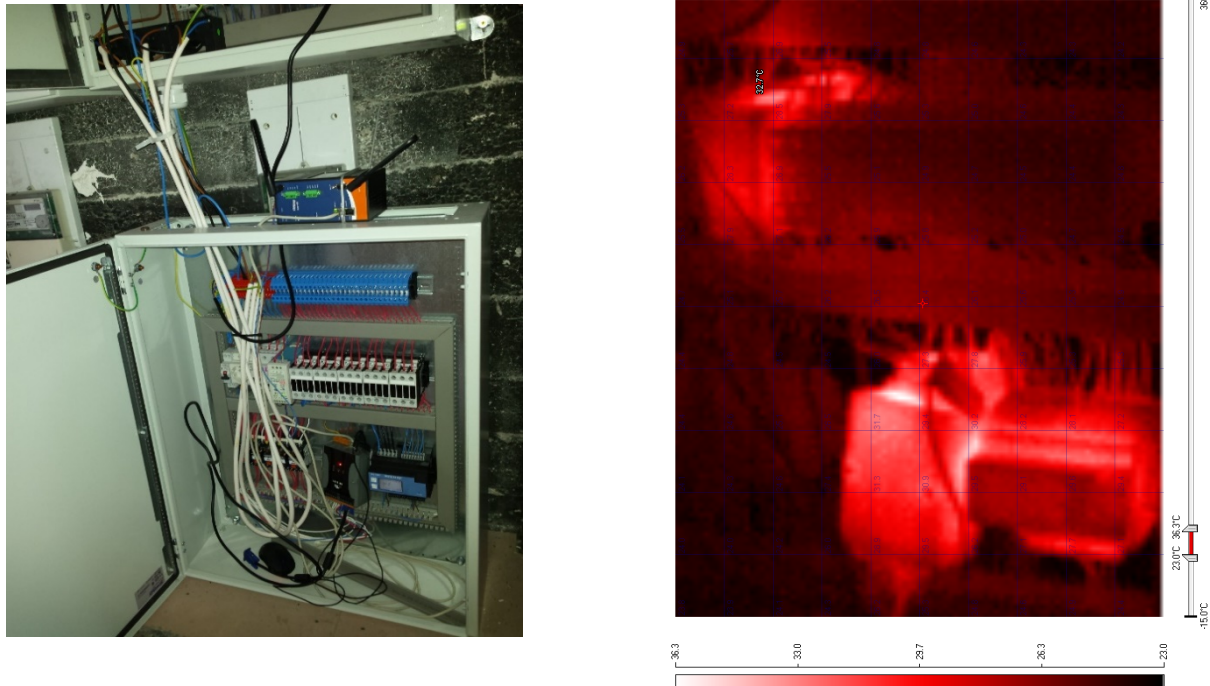


Fig. 6.21. Testarea prin termoviziune a soluției constructive nr.1

CONCLUZII

Concluzii generale

Lucrarea abordează problematica complexă a monitorizării și optimizării consumurilor de energie electrică la un mic consumator industrial.

Sistemul inteligent dezvoltat pornește de la componente ”off the shelf”, dar argumentează gradual fiecare alegere făcută pornind de la constrângerile specifice fiecărui loc de consum și integrează toate aceste elemente pentru a oferi cea mai bună soluție pentru micul consumator industrial. Sunt analizate pe rând sistemele moderne de monitorizare a consumurilor bazate atât pe contoare electronice clasice cât și inteligente pentru ca apoi aceste să fie extinse cu soluții fiabile de compensare a factorului de putere cât și de amortizare a efectelor armonicilor.

Contribuțiile principale ale tezei se află în metodologia de interconectare a elementelor de monitorizare și consum care au condus la realizarea unei instalații în trei soluții constructive:

- Soluția nr.1 - Funcții de măsurare a parametrilor energiei electrice consumate de un mic consumator de tip industrial, cu folosirea unui contor inteligent

trifazat. Se asigură posibile comenzi locale către echipamentele din lanțul tehnologic, transmisie de date către punctul de dispecer care asigură gestiunea datelor și optimizarea consumurilor în timp real;

- Soluția nr.2 – cuprinde echipamentele specifice soluției nr.1 la care se atașează un modul ce asigură îndeplinirea parametrilor de calitate a energiei electrice privitor la factor de putere și eliminarea armonicelor din formele de undă ale curenților și tensiunilor electrice;
- Soluția nr.3 – cuprinde echipamentele specifice soluției constructive nr.2 împreună cu echipamente ce asigură introducerea la cerere, în urma procesului de optimizare, a energiei provenite din sursele regenerabile ale consumatorului respectiv.

Pe lângă soluția hardware dezvoltată, funcționalitatea întregului sistem a fost completată cu dezvoltarea unei baze de date care stochează atât valorile măsurate în timp real cât și valorile procesate offline. Soluția software a fost extinsă cu dezvoltarea unei rețele de comunicații client-server și a unei aplicații LabVIEW de procesare și afișare a datelor înregistrate.

Validarea soluțiilor hardware și a elementelor software realizate s-a realizat prin comparare directă a rezultatelor cu mărimile măsurate într-o secvență de testare care respectă prevederile normei CENELEC - EN 50160. Testele s-au efectuat atât la nivel de subansamblu cât și la nivelul întregului sistem prin termografiere în timpul funcționării.

Contribuții personale

Contribuțiile personale s-au materializat în trei direcții importante:

- **Conceptuale:** studierea principalelor tehnici de monitorizare și optimizare a consumurilor de energie pentru un mic consumator industrial în contextul rețelelor inteligente;
- **Experimentale:** realizarea unei instalații în trei variante constructive cu un larg spectru de aplicabilitate;
- **Tehnologice:** interconectarea mai multor tehnologii diferite și crearea soluției software de armonizare a funcționalității

Au fost urmărite și realizate următoarele deziderate, care sunt totodată și contribuțiile originale în domeniu:

1. Elaborarea unui studiu amplu, pe baza parcurgerii unui important număr de referințe bibliografice actuale, privind tehnologiile actuale ce asigură operațiile de măsurare a parametrilor specifici energiei electrice, urmărirea lor în timp real și optimizarea temporală la consumatori industriali.
2. Elaborarea unui studiu privind principalele tehnici de compensare a factorului de putere și de ameliorare a efectelor armonicelor din formele de undă.
3. Studierea și prezentarea principalelor caracteristici ale bazelor de date relaționale.
4. Proiectarea și realizarea unei instalații inteligente, în trei variante constructive, destinată măsurării și monitorizării mărimilor electrice specifice rețelei

consumatorului precum și optimizării consumurilor și introducerii de energie electrică din resurse regenerabile.

5. Realizarea baze de date relațională pentru stocare mărimilor măsurate și a mărimilor procesare offline.
6. Dezvoltarea soluții software de înregistrare și transmitere a mărimilor măsurate.
7. Dezvoltarea componente software de procesare și afișare a mărimilor măsurate folosind mediul LabVIEW.
8. Dezvoltarea unei arhitecturii de tipul client server pentru măsurarea și transmiterea datelor.
9. Dezvoltarea unei metodologii de testare la nivel de subansamblu pentru fiecare variantă a instalației pilot.
10. Dezvoltarea unei metodologii de testare a întregii instalații.

Direcții viitoare de cercetare

Având în vedere complexitatea sistemului dezvoltat pentru viitor mi-am propus extinderea soluției software de procesare offline cu un modul de prelucrare statistică care să afișeze elemente ce caracterizează valorile măsurate pe parcursul a 24 de ore și îmbunătățirea elementelor de securitate a informației privind transmiterea și recepția datelor.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ilhami Colak, Ramazan Bayindir, Gianluca Fulli, Ibrahim Tekin, Kenan Demirtas, Catalin-Felix Covrig “Smart grid opportunities and applications in Turkey”, 2021;
- [2] Osama Majeed Butt, Muhammad Zulqarnain, Tallal Majeed Butt “Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network”;
- [3] Eugen Marin, Andrei Negoii, ARC Brașov, “Analiza calității energiei”;
- [4] ***Standard de performanță pentru serviciul de distribuție a energiei electrice, Cod ANRE: 28.1.013.0.00.30.08.2007;
- [5] Deepak Amaripadath, Robin Roche, Loïc Auguste, Daniela Istrate, Dominique Fortune, Jean-Pierre Braun, Fei Gao “Power Quality Disturbances on Smart Grids: Overview and Grid Measurement Configurations”, 2020;
- [6] Yahia M. Esmail, Ali H. Kasem Alaboudy2, M. S. Hassan, Gamal M. Dousoky4 “Mitigating power quality disturbances in smart grid using FACTS, 2021”;
- [7] Stefan Gheorghe, Nicolae Golovanov, George-Cristian, Radu Porumb “Lazaroiu Smart Grid, Integration of Renewable Sources and Improvement of Power Quality”;
- [8] *** CEI 60146 : Convertisseurs a semi-conducteurs;
- [9] ***<https://servelect.ro/filtrare-curenti-armonici/>;
- [10] Dayi Li , Tingkang Wang, Wenhao Pan, Xinzhi Ding, Jie Gong “A comprehensive review of improving power quality using active power filters”;
- [11] Ruiting Wang, Wei Feng, Huijie Xue, Daniel Gerber, Yutong Li, Bin Hao, Yibo Wang ”Simulation and power quality analysis of a Loose-Coupled bipolar DC microgrid in an office building”;

- [12] Brian Slocum, SMART TECHNOLOGIES: An Over View of Smart Grid At The Transmission Level, ITC Holdings Corporation;
- [13] *** Wide Area Monitoring, Automation, Communications and Control (WAMACC) for the Bulk Transmission System, Draft 1.0, National Institute of Standards & Technology, Smart Grid Domain Expert Working Group;
- [14] Kenneth Wacks, Requirements, GridWise Architecture Council / NIST, Home-to-Grid Domain Expert Working Group, GridWise Architecture Council, April 17, 2009;
- [15] *** Smart Grid for Distribution Systems: The Benefits and Challenges of Distribution Automation (DA), White Paper for NIST;
- [16] Dumitrașcu,D, Hosu,C , Ioan B, Smart Grid, Smart Company, Smart People, EnergoBit;
- [17] Ardeleanu A. S., Donciu C., Frequency Estimation Based on Variable Frequency Resolution Concept, Proceedings of the 7th International Conference on Electrical and Power Engineering, 25-27 oct. 2012;
- [18] Balasubramanian K., Cellatoglu A., Improvements in Home Automation Strategies for Designing Apparatus for Efficient Smart Home, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 54, nr. 4, pp.1681-1687, 2008;
- [19] Chang H.H., Genetic algorithms and non-intrusive energy management system based economic dispatch for cogeneration units, Energy, vol. 36, pp. 181-190, 2011;
- [20] Darby S., The effectiveness of feedback on energy consumption: A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays, Technical Report, Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006;
- [21] Fuchs P., Hribik J., Hruskovic M., Lojko B., Michalek R., Digital Power and Energy Measurement, Proceedings of the 13th International Symposium on Measurements for Research and Industry Applications and 9th European Workshop on ADC Modelling and Testing, vol. 2, pp. 493-497, 2004;
- [22] *** IEC 61000-4-30:2003, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4&30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods, International Electrotechnical Commission;
- [23]*** IEEE Std. 1057-2007, IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA, 2008;
- [24] ***IEEE Std. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA, 1995;
- [25] Michálek R., Gábor P., Fuchs P., Hribik J., Hruškovic M., Digital Electricity Meter, Proceedings of the 12th IMECO TC4 International Symposium „Electrical Measurements and Instrumentation”, Part 1, pp. 303-306, 2002;
- [26] Mindykowski J., Tarasiuk T., Development of DSP-based instrumentation for power quality monitoring on ships, Measurement, vol. 43, nr. 8, pp. 1012-1020, 2010;
- [27] ***, Standard EN 50160/2010.
- [28] ***, Janitza UMG104 datasheet
- [29] ***, TEI WP5141 datasheet
- [30] M. Birlan, M., Sonka,A., Nedelcu, D.A., balan,M., Anghel,S. Pandelescu,C, Trusculescu,C, Dragasanu,V, Plesca,V, Gandescu,C.H., Banica,C, Georgescu,T., Telescope calibration for mobile platforms: first results, Romanian Astronomical Journal, Volume 29, Issue 1, pages 23-35, 2019, Ed. Academiei Romane;
- [31] Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>;

- [32] Banica , CK, Ghita,I, Gandescu, CH, Grigorescu, SD, Paturca, SV System for Power Supply, Monitoring, Control and Communication for Isolated Temporary Habitats, Proceedings of the 2015 International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, pages P41-P44, IEEE, 2015;
- [33] Huld T., Müller R., Gambardella A., 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa, Solar Energy, 86, 1803-1815;
- [34] *** Managing electrical complexity with a platform level approach and systems engineering, Mentor Graphics, www.mentor.com
- [35] ***Electricity Supply Application Handbook, Tenaga Nasional;
- [36]*** Wind Generator Technology, Leonardo Energy, Whitepaper, nov,2012;
- [37] Lisardo, Recio Maillo, Optimal cable sizing in PV systems, Leonardo energy, Application Note, june 2013
- [38] ***Comparison and Evaluation of Power Factor Correction Topologies for Industrial Applications, Energy and Power Engineering, 2013, 5, 401-410;
- [39] Ranjit Singh Sarban Singh, Siva Kumar Subramaniam, Siti Aisyah Anas, Tan Chee Fai, Low Power Passive Photovoltaic System Development to Assist Inconvenient Grid Connection Locations, Energy and Power Engineering, 2018, 5, 411-415;
- [40] *** The Evolution of Virtual Instrumentation, Data Translation;
- [41] Andrei, H, Enciu,G, Cepisca,C, - About the relative variation in the nonsinusoidal steady-state circuits, ISEM 2000, Târgoviște;
- [42] Seritan, G., Enache, B., Adochiei ,F., Argatu, F., Christodoulou,C., Vita,V., Toma, Ana Ruxandra, Gandescu,C.H., Hathazi, F., Performance evaluation of photovoltaic panels containing cells with different bus bars configurations in partial shading conditions, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg. Vol. 65, 1-2, pp. 67–70, Bucarest, 2020
- [43] Asch, G., Acquisition de données. Du capteur à l'ordinateur, Ed. Dunod, Paris, 1999;
- [44] Cepisca, C., s.a., Măsurări în energetică, Ed.ICPE, București, 2000;
- [45] ***, "Featured Users". PostgreSQL. Retrieved 2014-01-22;
- [46] ***, "Debian/Ubuntu extend the dominance in the Linux web server market". W³Techs. 2013-10-21;
- [47] Simic, Dragan, Ristic, Srecko, Obradovic, Slobodan, Measurement of the Achieved Performance Levels of the WEB Applications With Distributed Relational Database, Electronics and Energetics. Facta Universitatis. p. 31–43;
- [48] Date, C. J. (2006). An introduction to database systems. Pearson Education India;
- [49] Date, C.J. Database in Depth: Relational Theory for Practitioners. O'Reilly (2005);
- [50] DuBois, Paul. MySQL. Pearson Education, 2018;
- [51] Dutka, A. F., & Hansen, H. H. (1991). Fundamentals of data normalization. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

ANEXA 1 – Scheme electrice instalație pilot

ANEXA 2 – Raport testare baza de date