

CONTRIBUȚII LA MONITORIZAREA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

Rezumat

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea “Politehnica” din Timișoara
în domeniul INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII
de către

Ing. Ciprian Ovidiu Miron DUGHIR

Conducător științific:
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Alimpie Ignea
prof.univ.dr.ing. Radu Munteanu
prof.univ.dr.ing. Cornelia Gordan
prof.univ.dr.ing. Viorel Popescu

Problematika tezei

Cele mai multe domenii ale industriei, dar și de altă natură, se confruntă cu problema calității energiei electrice, în special cele care trebuie să ofere un standard ridicat al serviciilor (internet, comunicații de date, fabrici de componente semiconductoare etc.). Calitatea energiei electrice poate fi definită în multe moduri, fiecare individ având propria sa percepție asupra acestei noțiuni, motiv pentru care a fost nevoie de definirea clară și concisă a noțiunii de calitate a energiei electrice și de standardizarea parametrilor care intervin în definirea acestei noțiuni. Tensiunea stabilă, forma de undă nedistorsionată (lipsa armonicilor), abateri minime de la frecvența nominală, sunt doar câteva dintre caracteristicile pe care trebuie să le aibă un sistem electric de calitate.

Diagnosticarea promptă a problemelor care apar în ceea ce privește sistemul de distribuție a energiei electrice conduce la corectarea promptă a acestora [1]. Folosirea unor tehnici de procesare avansată a semnalelor și monitorizarea în timp real a perturbațiilor facilitează depanarea acestor sisteme și evitarea evenimentelor neprevăzute. Monitorizarea liniilor de alimentare cu energie electrică poate conduce la adoptarea de măsuri fiabile pentru prevenirea producerii de perturbații. Sistemele de măsurare digitale pot măsura tensiune, curent, dezechilibre de fază, flux magnetic, temperatură cu o acuratețe foarte mare. Se pot amplasa un număr mare de astfel de sisteme de monitorizare în diverse puncte ale sistemului energetic și astfel, se poate realiza monitorizarea acestuia prin intermediul unei rețele Ethernet [2], [3], [4], [5], [6]. Instrumente software puternice stau la dispoziția utilizatorului permițând crearea de jurnale cu datele măsurate, analiza armonică a semnalelor achiziționate în diferite puncte ale sistemului și activarea unor alarme atunci când parametrii depășesc limitele normale [7], [8]. Mai mult, măsurările multiple, în diferite puncte ale rețelei, sincronizate temporal prin GPS, permit o analiză complexă și o localizare mai exactă a surselor [9].

Circuitele de monitorizare prelucrează cantități imense de date, aceste date provenind din diferitele puncte ale sistemului supus monitorizării. Sunt utilizate tehnici speciale de prelucrare a semnalelor pentru a extrage informațiile utile din acest ocean uriaș de date [10]. Procedeele de prelucrare digitală a semnalelor joacă un rol esențial în cadrul algoritmilor utilizați, noi tehnici matematice sunt folosite pentru a îmbunătăți calitatea sistemelor de monitorizare [11].

Odată detectată și clasificată perturbația, este necesar să se cunoască sursa acesteia pentru a se putea lua măsuri în vederea înlăturării ei. Defectarea anumitor componente, funcționarea parțială a unora dintre ele, introducerea sau scoaterea din rețea a unor echipamente electrice de putere sau variații mari ale sarcinii sunt cauze des întâlnite. După ce informațiile au fost clasificate, a fost evaluată severitatea problemei și identificată sursa acesteia, înlăturarea ei poate fi făcută de un sistem de decizie automat sau manual. De obicei, dacă defecțiunea este în amonte, problema trebuie semnalată distribuitorului de energie electrică. Dacă sursa perturbației este la consumator, operatorii pot ignora defecțiunea sau pot repara echipamentul defect.

Foarte multe țări au adoptat standarde pentru asigurarea calității energiei electrice [12], [13], [14], [15], [16], [17].

România a adoptat în 2004, odată cu ratificarea Acordului de Asociere a României la Uniunea Europeană, directiva 89/336 EEC – Compatibilitate electromagnetică [18], directivă prin care Ministerul Economiei și Comerțului a fost abilitat printre altele să emită ordine privind lista standardelor aplicabile, listă ce trebuie actualizată periodic [19]. În acest sens, în

cursul anului 2003 ASRO a preluat în întregime standardele din domeniul compatibilității electromagnetice existente la acel moment și publicate în Jurnalul Oficial al Uniunii Europene. Noua listă prezentată o înlocuiește pe cea publicată în Monitorul Oficial 62/230/2002 în conformitate cu Ordinul comun MCTI 555/2001/MIR 409/2001. Experiența dobândită în aplicarea Directivei CEM 89/336/CE, limitele de aplicare, precum și evoluția domeniului electric, în special electronica și telecomunicațiile, au condus la apariția unei noi directive CEM și anume: DIRECTIVA 2004/108/CE (DIRECTIVE 2004/108/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 15 December 2004). Această directivă a fost preluată și adoptată în legislația României prin intermediul Hotărârii Guvernului nr. 982/2007 privind compatibilitatea electromagnetică, fiind aplicată începând cu data de 20 iulie 2007.

Prin ordinul ANRDE nr. 128 din 2008 este aprobat Codul tehnic al rețelelor electrice de distribuție.

Odată cu introducerea standardizării și în țara noastră, mulți cercetători români și-au îndreptat atenția înspre acest domeniu [20], [21], [22], [23].

Structura tezei

Lucrarea cuprinde 8 capitole structurate după cum urmează.

Capitolul 1 prezintă problematica și structura tezei, trecându-se în revistă principalele probleme ce vor fi tratate pe larg în capitolele următoare.

În capitolul 2 este prezentată o clasificare succintă a perturbațiilor care apar în rețelele de alimentare cu energie electrică. Se prezintă evoluția noțiunii de calitate a energiei electrice de-a lungul timpului și sunt prezentate principalele standarde pentru asigurarea calității energiei electrice, cu descrierea mai amănunțită a două dintre ele: standardul IEC 61000-4-30 și standardul EN 50160.

Capitolul 3, intitulat Circuite de condiționare a semnalelor, prezintă structura unui sistem de monitorizare a calității energiei electrice și este orientat asupra circuitului de condiționare a semnalelor, circuit care are rolul de a prelua semnalele din rețeaua electrică și a le modifica nivelul astfel încât să fie compatibil cu intrările convertoarelor analog-numerice folosite pentru preluarea informației în formă numerică. Tot aici este prezentată problematica achiziționării semnalelor cu o dinamică foarte mare, soluția problemei constând în utilizarea unui circuit de compresie pentru a micșora gama dinamică a semnalului de la intrarea convertorului analog-numeric, astfel încât să poată fi înregistrate atât semnale cu amplitudini mari (10 kV) cât și variații mici (de ordinul volților) în jurul valorii nominale a tensiunii rețelei. Din categoria circuitelor de compresie “clasice” este prezentat un circuit de condiționare a semnalelor realizat cu ajutorul unui transformator funcțional, circuit care prezintă o serie de probleme. Autorul propune o soluție pentru rezolvarea acestor probleme, bazată în principal pe introducerea unui modul de calibrare în componența circuitului. Deoarece o soluție care implică circuite integrate este în general mai scumpă și nu este întotdeauna fiabilă, autorul propune utilizarea unui circuit de compresie a semnalului mult mai simplu, utilizând trei divizoare rezistive de tensiune (fig. 3.24) și procesarea software a semnalelor achiziționate pentru obținerea unei caracteristici asemănătoare unui circuit de compresie (fig. 3.26), aceasta fiind una dintre contribuțiile originale ale autorului.

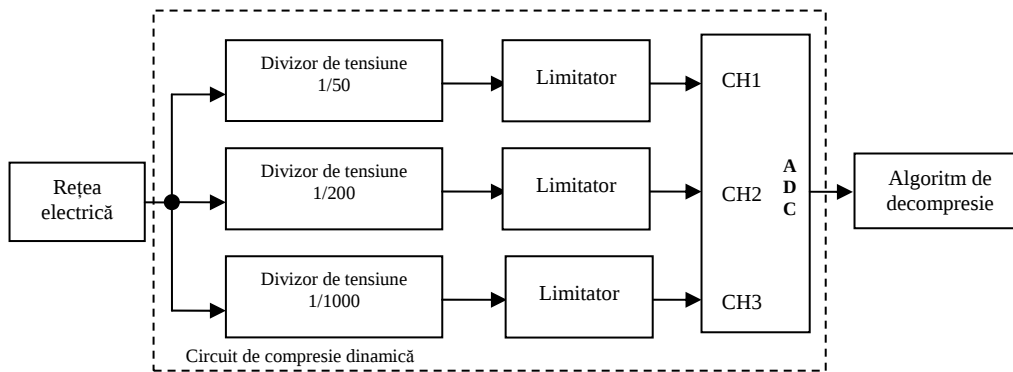


Fig. 3.24. Schema bloc a circuitului de compresie dinamică propus

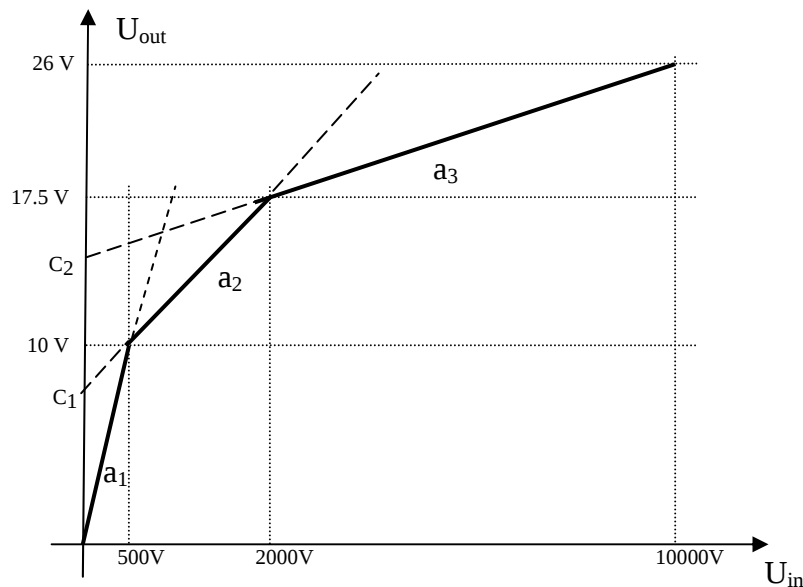


Fig. 3.26. Funcția de transfer a divizorului de tensiune secvențial

În Capitolul 4 sunt prezentate sistemele de achiziție de date, modul de realizare și funcționare al acestora. Este prezentată placa de achiziție utilizată și sunt descrise principalele funcții din biblioteca NI-DAQmx care însoțește placa de achiziție, funcții indispensabile în dezvoltarea aplicației.

În capitolul 5 sunt prezentați câțiva algoritmi originali pentru detectarea perturbațiilor din rețelele electrice bazați pe analiza semnalelor în domeniul timp. S-a ales analiza în domeniul timp, deoarece analiza semnalelor cu ajutorul transformatei Fourier sau Wavelet este consumatoare de timp și de resurse, autorul dorind implementarea sistemului de monitorizare a calității energiei electrice pe sisteme ieftine și cu performanțe modeste din punct de vedere al puterii de calcul. De asemenea, în capitolul 5 este prezentat un algoritm de detectare a perturbațiilor bazat pe media nulă pe o perioadă a unui semnal sinusoidal, algoritm preluat din literatură și îmbunătățit de autor prin introducerea unei memorii circulare, putându-se stoca astfel un număr predefinit de eșantioane ale semnalului. Pornind de la această idee, autorul propune în capitolul 6 o metodă originală de detectare a perturbațiilor bazată pe analiza unei semiperioade a semnalului rețelei. Metoda de detectare se bazează, în esență, pe compararea valorilor instantanee obținute pe o semiperioadă a semnalului rețelei (valoare efectivă, valoare de vârf, factor de creastă și frecvență) cu mediile lor pe 10 perioade. În urma comparării și interpretării valorilor obținute se ia decizia dacă semnalul este sau nu perturbat. În acest capitol este prezentată și aplicația software care implementează algoritmul de detectare a perturbațiilor. Pentru testarea acestui algoritm a fost elaborată o aplicație

software care generează pe placa de sunet a calculatorului un semnal de 50 Hz având suprapuse diverse tipuri de perturbații. Sistemul de monitorizare poate fi plasat chiar și în locuri mai puțin accesibile, existând de asemenea și cazuri în care se dorește monitorizarea de la distanță a unui site, motiv pentru care a fost implementat un server web ce permite accesul de la distanță la datele măsurate.

Capitolul 7 prezintă Rezultatele experimentale obținute cu sistemul de monitorizare a calității energiei electrice propus și realizat de autor, având ca surse diferite locații ale rețelei de alimentare de joasă tensiune. Sistemul de monitorizare a calității energiei electrice prezentat în capitolul 6 a fost pus în funcțiune pentru prima oară în cadrul Universității “Politehnica” din Timișoara, sistemul fiind instalat ulterior și în alte locații.

Sistemul a fost instalat în următoarele locații:

- Facultatea de Electronică și Telecomunicații din Timișoara;
- Facultatea de Mecanică din Timișoara;
- o reședință privată din orașul Receaș, județul Timiș, locație în care apar frecvent perturbații în rețeaua electrică soldate cu defectarea echipamentelor conectate la aceasta;
- o altă zonă rezidențială rurală din Germania;
- un sistem de producere a energiei electrice bazat pe panouri fotovoltaice.

În toate cele cinci locații s-au obținut rezultate interesante, măsurările contribuind la înțelegerea fenomenelor de producere a perturbațiilor, identificarea surselor perturbatoare respectiv, motivului defectării unor echipamente conectate la rețelele de alimentare respective.

S-au monitorizat doar rețele monofazate, achiziția făcându-se pe trei canale. Rata de achiziție a semnalelor a fost de 250 ksps pentru marea majoritate a măsurărilor, cu excepția unei singure situații, în care s-a utilizat o rată de achiziție de 1MSPS pentru a testa la maxim performanțele sistemului. Dintre perturbațiile detectate sunt prezentate doar câteva, reprezentative, în figurele 7.2 și 7.4

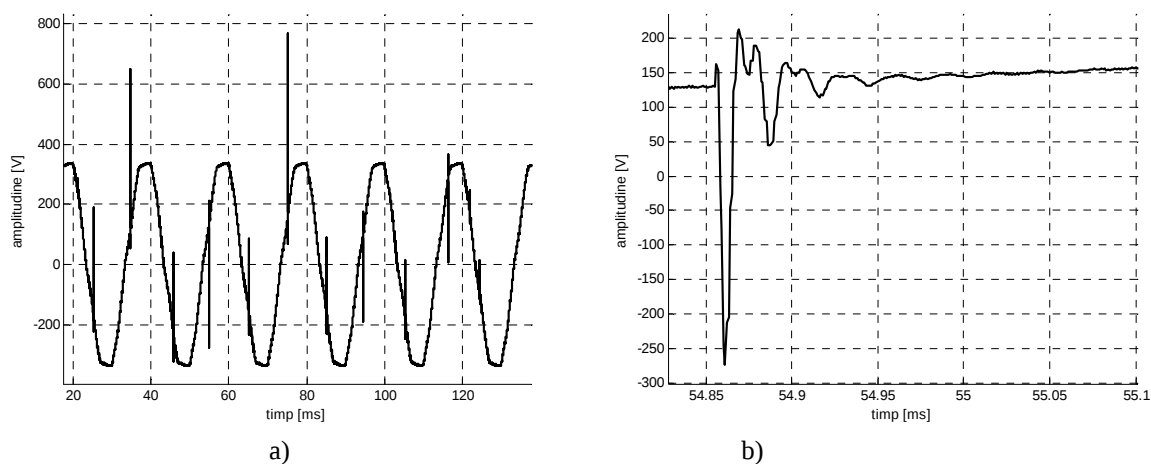


Fig. 7.2. Perturbație de tip impuls tranzitoriu. a) semnal perturbat, b) detaliu

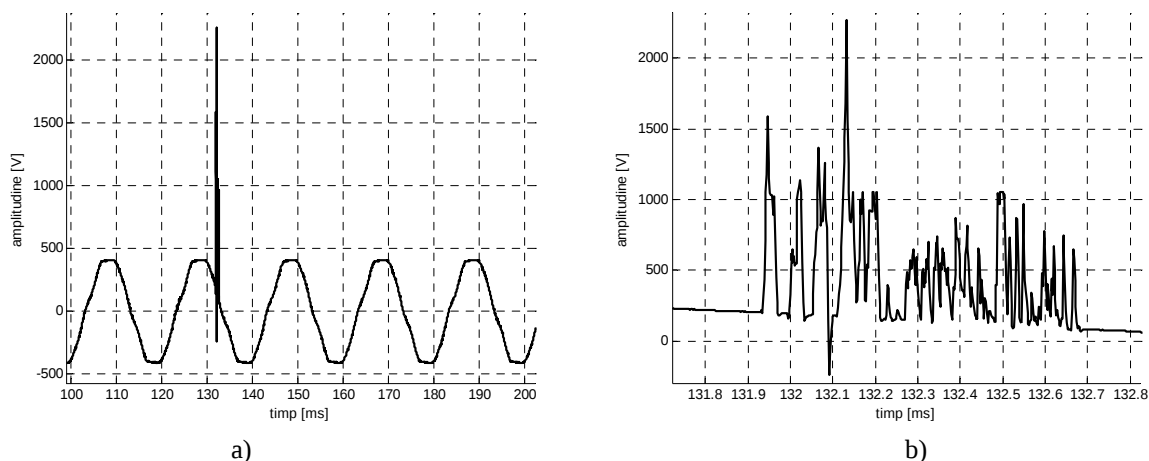


Fig. 7.4. Perturbație de tip impuls tranzitoriu. a) semnal perturbat, b) detaliu

Capitolul 8 prezintă cele mai importante concluzii generale și contribuțiile originale ale autorului în cadrul tezei de doctorat.

În anexe sunt prezentate, din programele soft elaborate de autor, secvențe reprezentative din programele elaborate în C++, PSpice, Matlab, HTML și PHP.

Concluzii și contribuții

Pe parcursul ultimelor patru decenii, în domeniul monitorizării calității energiei electrice s-a desfășurat o activitate de cercetare intensă concretizată prin elaborarea unui număr foarte mare de articole și publicații, precum și prin apariția unor noi standarde în domeniu sau îmbunătățirea celor existente. La baza detectării perturbațiilor din rețelele electrice stau metode matematice complexe care utilizează transformatele Fourier sau Wavelet, rețelele neuronale, logica fuzzy sau analiza în domeniul timp. Preocuparea continuă a multor cercetători din întreaga lume în elaborarea de noi metode de detectare a perturbațiilor din rețelele electrice pe de o parte și construcția de echipamente de monitorizare pe de altă parte, confirmă actualitatea temei abordate de autor.

Autorul a ales analiza în domeniul timp a tensiunii rețelei, deoarece această metodă de analiză necesită un număr mult mai mic de calcule pentru detectarea perturbațiilor, putându-se realiza prelucrarea unui număr mai mare de eșantioane ale semnalului în cazul utilizării aceluiași sistem de calcul comparativ cu celelalte metode și prin aceasta, extinderea benzii de frecvențe a aplicației.

Printre preocupările actuale în ceea ce privește monitorizarea calității energiei electrice se numără și creșterea ratei de eșantionare a tensiunii rețelei, fapt care conduce la creșterea spectrului de frecvențe a semnalului achiziționat, putându-se evidenția mai bine desfășurarea în timp a perturbațiilor de foarte scurtă durată.

Autorul, în urma cercetărilor și experimentelor efectuate, și-a adus contribuția la dezvoltarea acestui domeniu după cum urmează:

- A realizat un studiu bibliografic amplu asupra stadiului actual al monitorizării calității energiei electrice, evidențiind actualitatea temei, studiu bazat pe analiza a peste o sută de titluri bibliografice incluzând articole, cărți, standarde și site-uri web.

- Pe baza cercetărilor și experimentelor efectuate, autorul a elaborat 19 lucrări științifice (coautor la 3 cărți și autor sau coautor la 16 lucrări științifice, dintre care una cotată ISI).
- Pentru compresia gamei dinamice a tensiunii monitorizate, s-a analizat oportunitatea folosirii unui transformator funcțional ca și circuit de condiționare a semnalelor. Autorul a simulat circuitul utilizând utilitarul PSpice și a identificat principalele probleme pe care le prezintă acesta - neliniarități și comportarea la variațiile de temperatură - elaborând în urma studiilor efectuate - o soluție practică pentru rezolvarea acestor probleme. Soluția constă în utilizarea unui circuit de calibrare a funcției de transfer a transformatorului funcțional. Calibrarea circuitului se realizează prin aplicarea unui semnal triunghiular la intrare, analizându-se răspunsul circuitului la acest semnal și calculându-se apoi o funcție de corecție a caracteristicii transformatorului funcțional. Autorul a studiat (cu ajutorul simulărilor realizate în MatLab), comportamentul acestui tip de circuit, cu și fără circuitul de calibrare și a arătat utilitatea folosirii circuitului de calibrare propus, evidențiind faptul că și acest circuit simplu, cunoscut încă de la apariția circuitelor integrate analogice, poate fi folosit ca și circuit de condiționare a semnalelor.
- A studiat o metodă de detecție a perturbațiilor prezentată în literatura de specialitate bazată pe media nulă pe o perioadă a unui semnal sinusoidal și a îmbunătățit-o prin adăugarea unui sistem de detecție a perioadelor semnalului rețelei, măbind astfel probabilitatea detectării perturbațiilor. Autorul a inclus în sistem o memorie circulară cu scopul de a memora temporar eşantioanele semnalului în vederea înregistrării ulterioare a acestora, atunci când sunt detectate perturbații. Prin utilizarea memoriei circulare, autorul a eliminat necesitatea folosirii unui al doilea canal de achiziție a semnalelor și a circuitului de întârziere în vederea înregistrării semnalului perturbat.
- Ținând seama de gama dinamică mare a perturbațiilor din rețelele de alimentare, dar fără afectarea sensibilității din jurul tensiunii nominale, a elaborat un sistem original de compresie a semnalelor, bazat pe utilizarea a trei divizoare de tensiune rezistive conectate la trei intrări ale unui convertor analog – numeric (divizor secvențial de tensiune). Fiecare divizor de tensiune are un alt raport de divizare, iar prin compunerea software a caracteristicilor de transfer ale celor trei divizoare de tensiune se obține o caracteristică de transfer similară cu cea a transformatorului funcțional. A rezultat astfel un circuit de compresie simplu și eficient, care poate fi folosit ca și circuit de condiționare a semnalelor în sistemele de monitorizare a calității energiei electrice într-o gamă dinamică mare.
- A elaborat un algoritm software cu ajutorul căruia semnalele preluate de la divizorul secvențial de tensiune sunt prelucrate și procesate exploatând la maxim dinamica semnalelor prezente în rețeaua electrică. Pe baza acestui sistem, autorul propune un algoritm extrem de simplu de detectare a perturbațiilor cu amplitudini de peste 500 V, bazat pe intrarea în limitare a canalului cu cel mai mic raport de divizare. Prin compararea semnalelor provenite de la cele trei intrări ale plăcii de achiziție se determină simplu prezența unei perturbații cu amplitudine mai mare de 500 V. Deoarece se folosesc doar două funcții de test *if* pentru detectarea unei perturbații, metoda este una dintre cele mai simple și rapide metode de detectare a perturbațiilor din rețelele electrice și poate fi folosită acolo unde se dorește detectarea

perturbațiilor cu amplitudini mari (peste 500 V). Această metodă se pretează la a fi implementată în cadrul sistemelor de monitorizare a calității energiei electrice cu microcontroler, conducând (prin reducerea numărului de calcule efectuate pentru detecția unei perturbații), la creșterea ratei de eșantionare, lucru benefic analizei ulterioare a formei perturbației înregistrate de acestea într-o gamă mai largă de frecvențe.

- A realizat un sistem de decompresie software a semnalelor provenite de la divizorul secvențial de tensiune, bazat pe aplicarea unei funcții matematice corespunzătoare asupra semnalului comprimat, simplificând astfel partea electrică a circuitului de condiționare a semnalelor. Pe baza acestui sistem, prin prelucrare numerică, pot fi analizate atât detalii de interes fine, cum ar fi variațiile din jurul valorii nominale ale tensiunii rețelei, cât și perturbațiile de amplitudine ridicată de ordinul kilovolților.
- Autorul a demonstrat, prin calcule matematice, creșterea rezoluției sistemului de achiziție de date prin folosirea circuitului de condiționare a semnalelor cu divizor secvențial de tensiune propus de acesta. Deși sistemul folosește trei canale de intrare ale unui sistem de achiziție de date pe 16 biți, din punct de vedere al rezoluției, acesta este echivalent cu folosirea unui sistem de achiziție de date cu un singur canal pe 21 de biți (utilizând un convertor analog - numeric cu o caracteristică neliniară, similară unei cuantizări neuniforme). Se obține astfel o creștere a rezoluției sistemului de monitorizare a calității energiei electrice.
- Pe baza cercetărilor efectuate, autorul a realizat practic un sistem original și autonom de monitorizare a calității energiei electrice (funcționând în Clasa A, conform standardului SR EN 61000-4-30), sistem care include atât o parte hardware, cât și dezvoltarea de programe software care să asigure desfășurarea întregii aplicații. Cu un astfel de sistem se poate asigura o monitorizare continuă de circa zece zile.
- De asemenea, s-a realizat un circuit de condiționare a semnalelor modular, care poate fi reconfigurat cu ușurință în funcție de necesitățile utilizatorului. Astfel, sistemul poate fi utilizat fie la monitorizarea unei rețele electrice monofazate, a unei rețele trifazate (stea sau triunghi), sau a două sau mai multe rețele monofazate simultan, soluție ce ar putea folosi la supravegherea sistemelor neconvenționale de producere de energie electrică care sunt cuplate la rețeaua de alimentare. Sistemul de condiționare asigură și izolarea semnalelor preluate din rețeaua electrică de restul sistemului de achiziție de date, asigurând astfel, reducerea cuplajelor parazite, creșterea nivelului de securitate și reducerea riscului de electrocutare.
- A elaborat o metodă nouă de detecție a perturbațiilor din rețelele electrice bazată pe analiza semnalelor în domeniul timp. Autorul calculează principalii parametri ai semnalului rețelei electrice (tensiune efectivă, tensiune maximă, factor de vârf, frecvență), pe o semiperioadă a semnalului rețelei și compară aceste valori cu media valorilor pe 10 perioade ale semnalului. Dacă există diferențe între valorile instantanee și mediile acestora, mai mari decât o valoare de referință δ (stabilită la calibrarea sistemului), atunci se semnalează prezența unei perturbații în sistem. Pentru detecția semiperioadelor semnalului rețelei, autorul folosește, în locul metodei de detecție a trecerilor prin zero, metoda detecției minimelor semnalului redresat al rețelei, metodă care reduce mult numărul de calcule.

- Autorul a realizat o aplicație software pentru monitorizarea calității energiei electrice, utilizând sistemul original de detectare a perturbațiilor prezentat în teza de doctorat. Aplicația a fost elaborată în Visual C++ utilizând sistemul de clase MFC de la Microsoft. Aplicația poate fi reconfigurată de către utilizator pe baza unui fișier de configurare. Astfel se pot modifica parametri precum: rata de eșantionare, numărul de canale, modul de conectare al canalelor de intrare, tipul rețelei electrice conectată la intrare (monofazată sau trifazată). Aplicația permite afișarea în timp real a semnalului rețelei, a perturbației detectate și a parametrilor semnalului rețelei: tensiune efectivă, tensiune maximă și frecvență, afișând de asemenea și un istoric al perturbațiilor apărute în rețeaua electrică. În vederea studierii ulterioare, perturbațiile detectate sunt înregistrate în fișiere separate, marcându-se totodată și momentul apariției fiecărei perturbații. De asemenea, sistemul de monitorizare înregistrează valorile medii pe o semiperioadă ale următorilor parametri: tensiune efectivă, tensiune maximă, durată semiperioadă, pentru a putea fi analizate ulterior. Înregistrarea acestor parametri se face continuu, fără a fi perturbată de apariția unei eventuale perturbații.
- Prin elaborarea de programe software adecvate pentru a avea o interfață cât mai prietenoasă cu operatorul, a realizat controale grafice pentru afișarea semnalului de intrare, a perturbațiilor, și un control grafic pentru vizualizarea stării memoriei circulare, precum și funcții de configurare automată a aplicației.
- În vederea verificării sistemului, a elaborat o aplicație Visual C++ care permite testarea funcționalității sistemului propus, aplicație care asigură generarea de semnale cu frecvența de 50 Hz peste care se pot suprapune diverse tipuri de perturbații. Aplicația poate rula pe orice calculator personal pe care este instalat sistemul de operare Microsoft Windows și care este dotat cu o placă de sunet. Datorită interpretorului original de funcții matematice elaborat de autor, aplicația poate genera inclusiv semnale matematice complexe, pornind de la funcții matematice simple și/sau de la semnale preînregistrate în fișiere.
- De asemenea, a realizat un server web care permite accesul de la distanță la parametrii înregistrați de aplicație, vizualizarea evoluției lor în timp și vizualizarea ultimelor perturbații apărute. Pentru implementarea serverului web, autorul a folosit utilitarul *xampp*, pe care l-a configurat astfel încât să corespundă scopului urmărit. Autorul a elaborat programe în limbajele *HTML* și *PHP* pentru afișarea în timp real a datelor preluate de la aplicația de monitorizare a calității energiei electrice, precum și pentru afișarea grafică a perturbațiilor detectate în rețeaua electrică. Prin intermediul serverului web pot fi descărcate de la distanță fișierele cu perturbații și valorile parametrilor rețelei electrice, mărind astfel autonomia sistemului de monitorizare, fără a fi nevoie de prezența unui operator uman în site-ul monitorizat.
- Cu sistemul de monitorizare realizat, a efectuat experimente de monitorizare în cinci rețele electrice diferite, din două țări europene, în perioade de timp cuprinse între 15 martie 2010 - 31 august 2010 și a analizat rezultatele obținute; astfel s-a constatat eficiența sistemului și corectitudinea soluțiilor propuse de autor.
- Folosind sistemul de monitorizare a calității energiei electrice prezentat în teza de doctorat, autorul a reușit să surprindă o serie de perturbații din rețeaua electrică: impulsuri tranzitorii cu amplitudini de circa 2 kV, căderi de tensiune, supratensiuni, goluri de tensiune.

- Referitor la viteza de lucru a sistemului, s-a reușit achiziția tensiunii rețelei electrice cu o rată de un milion de eșantioane pe secundă și prelucrarea acestora în timp real, lucru extrem de important pentru înregistrarea fidelă a formei de undă a perturbațiilor de scurtă durată și deci, asigurarea unei benzi de frecvențe a achiziției de ordinul sutelor de kiloherți, suficientă pentru majoritatea aplicațiilor de monitorizare.

Ca și concluzii, se poate afirma că sistemul propus și realizat de autor poate fi îmbunătățit prin optimizarea algoritmilor de detectare a perturbațiilor și prin mărirea ratei de achiziție a semnalului. Autorul preconizează că în urma acestor optimizări (și prin înlocuirea plăcii de achiziție utilizate cu alta cu o rată de eșantionare mai mare), aplicația de monitorizare a calității energiei electrice să poată procesa în timp real semnale achiziționate cu o rată de până la 10 Msps.

Pe viitor, autorul își propune să studieze implicațiile asupra rezoluției semnalului de ieșire, în urma folosirii mai multor canale de achiziție în circuitul de compresie cu divizor secvențial de tensiune.

Autorul va implementa pe viitor aplicația de monitorizare a energiei electrice pe sisteme de dezvoltare dotate cu procesoare digitale de semnal – sisteme dedicate (Embedded Systems) - obținându-se astfel miniaturizarea sistemului de monitorizare, dar și un preț de cost mai redus. Deoarece unele fenomene pot fi surprinse mult mai bine prin analiza curentului absorbit de consumatori [115], [116], [117], autorul își propune să dezvolte sistemul de monitorizare cu circuite de condiționare care să accepte la intrare și curenți. Se poate realiza astfel un sistem de monitorizare care să permită aplicarea la intrare atât a unor tensiuni, cât și a unor curenți, lărgindu-se astfel aria de aplicabilitate și oportunitățile de utilizare ale acestuia.

Bibliografie

- [1] F. D. Martzloff, T. M. Gruzs, "Monitoring Power Quality", in Powertechnics Magazine, 1990.
- [2] M. Roșca, "Supravegherea centralizată a calității energiei electrice", in A XVI-a conferință confort, eficiență, conservarea energiei și protecția mediului București.
- [3] R. P. K. Lee, L. L. Lai, N. Tse, "A Web-based multi-channel power quality monitoring system for a large network", in Fifth International Conference on Power System Management and Control. vol. 488, pp. 112 - 117.
- [4] B. E. Kushare, A. A. Ghatol, S. Kala, "Development of web based power quality monitoring system for handling user custom power quality query and auto power quality monitoring report notification via email", in IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007) Chennai, Tamil Nadu, India, pp. 1-7.
- [5] J. Nanjing, "Power Quality Monitoring System over the Internet", in 2009 First International Conference on Information Science and Engineering.
- [6] S. Nikolovski, Z. Klaic, Z. Kraus, G. Slipac, "Online Power Quality Measurements and Voltage Sags Analysis", in 43rd International Engineering Conference (UPEC 2008) Padova, Italy, pp. 1-5.
- [7] K. M. Chan, Power Quality - REFERENCE GUIDE, 6th edition. Ontario, Canada: In-House Energy Efficiency, 1996.
- [8] S. Santos, H. W. Beaty, R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, Electrical Power Systems Quality; 2 edition McGraw-Hill Professional, 2002.
- [9] H. Zhijian, C. Chengxue, C. Ruifan, "Harmonic Real Time Estimation by Artificial Neural Network Based on Network and GPS Technology", in The 7th International Power Engineering Conference. vol. 2: IPEC 2005, pp. 1182 - 1187.
- [10] B. Yunus, H. Li, "Analysis of Power Quality Waveform for Data Transmission Efficiency over IEC 61850 Communication Standard", in IEEE International Power and Energy Conference, Putra Jaya pp. 161 - 166.
- [11] I. Dobson, B. A. Carreras, V. E. Lynch, O. Ridge, D. E. Newman, "Complex Systems Analysis of Series of Blackouts: Cascading Failure, Criticality, and Self-organization", in Bulk Power System Dynamics and Control - VI Cortina d'Ampezzo, Italy, 2004.
- [12] J. D. Aspnes, B. W. Evans, R. P. Merrit, "Rural Alaska Electric Power Quality", IEEE Transactions PAS-104, March 1995.
- [13] L. Shusen, C. Xiaoyun, Z. Zhengjun, L. Liangjun, "The study 500 kV system harmonics in Central China Power Network", in Proceedings of the 8th International Conference on Harmonics And Quality of Power, Athens, Greece, pp. 814 - 819.
- [14] R. Belmans, H. D. Keulenaer, J. Manson, E. Schellekens, "Towards improved electrical installations in European homes", 2004.
- [15] M. F. Akram, S. M. Bajwa, "A Sample Power Quality Survey for Emerging Competitive Electricity Market in Pakistan", in IEEE International Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century., 2001, pp. 38 - 44.
- [16] H. M. S. C. Herath, S. McHardy, "Power Quality Trends in Energy Australia Distribution Network", in 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2008. ICHQP 2008., Wollongong, NSW, 2008, pp. 1 - 6.
- [17] D. M. Divan, W. E. Brumsickle, G. A. Luckjiff, J. W. Freeborg, R. L. Hayes, "Realizing a Nation-wide Power Quality and Reliability Monitoring System", in Conference Record of the Industry Applications Conference, 2003. 38th IAS Annual Meeting., pp. 1063 - 1067.
- [18] ***, "EMC Directive 89/336/EEC".

- [19] "Ordin privind aprobarea listei cuprinzand standardele romane care adopta standardele europene armonizate din domeniul compatibilitatii electromagnetice": Ministerul Economiei si Ministerul Comunicatiilor si Comertului Tehnologiei Informatiei, 2004.
- [20] F. Smadu, "Sistem pentru analiza calitatii energiei electrice în sistemele de electroalimentare trifazate", in Conferința națională de instrumentație virtuală, ediția a II-a București, pp. 29 - 32.
- [21] C. Stănescu, F. Vatră, A. Poida, P. Postolache, "Power Quality in Romanian Electricity Market", in 9th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation Barcelona.
- [22] A. Hermina, G. Carmen, N. Golovanov, E. Luminița, "Probleme actuale privind monitorizarea calității energiei electrice în România".
- [23] H. Albert, N. Golovanov, C. Golovanov, V. Rășcanu, L. Elefterescu, "Monitorizarea calității energiei electrice".
- [24] A. Ignea, M. Lascu, C. Dughir, C. Ifode, Aspecte ale compatibilității electromagnetice în medicină. Timisoara: Walddress, 2005.
- [25] J. F. G. Cobbe, J. F. G. Cobbe, "Classification Methodologies for Power Quality", February 2006 2006.
- [26] M. Azam, F. Tu, K. Pattipati, R. Karanam, "A Dependency Model Based Approach for Identifying and Evaluating Power Quality Problems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, July 2004.
- [27] G. Bucci, E. Fiorucci, C. Landi, "Digital Measurement Station for Power Quality Analysis in Distributed Environments", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement vol. 52, February 2003.
- [28] M. H. J. Bollen, E. Styvaktakis, I. Y.-H. Gu, "Categorization and Analysis of Power System Transients", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, July 2005.
- [29] J.-J. G. de-la-Rosa, A. M. Munoz, "Categorization of Power Quality Transients using Higher-Order Statistics and Competitive Layers-based Neural Networks", in CIMSIA 2008 - IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications Istanbul, Turkey.
- [30] M. H. H. M. Erhan Balci, "Effects of Source Voltage Harmonics on Power Factor Compensation in AC Chopper Circuits", Electrical Power Quality and Utilisation, Journal, vol. XIV, p. 7, 2008.
- [31] C. Dinu, I. I. Odor, "Aspecte privind asigurarea trasabilității la și a instrumentației utilizată pentru măsurarea parametrilor de calitate a tensiunii în rețelele publice de distribuție a energiei electrice", Metrologie, vol. 1, 2010.
- [32] L. Zhang, M. H. J. Bollen, "A method for characterisation of three-phase unbalanced dips (sags) from recorded voltage waveshapes", in The 21st International Telecommunication Energy Conference INTELEC '99, Copenhagen.
- [33] D. Chapman, Power Quality Application Guide - Harmonics Causes and Effects, 2001.
- [34] Z. J. Paracha, A. Kalam, R. Ali, "A Novel Approach of Harmonic Analysis in Power Distribution Networks using Artificial Intelligence", in International Conference on Information and Communication Technologies, 2009, ICICT '09, Karachi pp. 157 - 160
- [35] A. Ignea, Compatibilitate Electromagnetică: Editura de Vest, 2007.
- [36] M. H. J. Bollen, "Characterisation of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives", IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 1666 - 1671 Oct 1997
- [37] M. H. J. Bollen, G. Yalcinkaya, J. Pellis, M. R. Qader, "A voltage sag study in a large industrial distribution system", in IEEE Industry Applications Conference, San Diego, CA, USA pp. 2372 - 2377.
- [38] A. Sundaram, H. Mehta, V. Tahiliani, "Custom Power-EPRI's Response to Power Quality Issues", Electric Power Research Institute.
- [39] P. Teikari, "Flicker Metrology", in Power Systems Engineering, Special Assignment Espoo, Finland.
- [40] X. X. Yang, M. Kratz, "Power System Flicker Analysis by RMS Voltage Values and Numeric Flicker Meter Emulation", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, pp. 1301-1318, July 2009.
- [41] P. G. V. Axelberg, M. H. J. Bollen, I. Y.-H. Gu, "Trace of Flicker Sources by Using the Quantity of Flicker Power", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, pp. 465-471, January 2008.
- [42] A. Ignea, "Compatibilitate Electromagnetica".
- [43] "IEEE Standard 1159 - 1995, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality".
- [44] "IEC 77A/301/CD - Electromagnetic Compatibility (EMC) -Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power Quality Measurement Methods".
- [45] M. Radulescu, D. C. Rucinski, "Some contributions for developing dedicated EMC specifications for components of telecommunication networks".
- [46] IEC, "IEC Guide 107 Electromagnetic compatibility - Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications", 2009.
- [47] F. Martzloff, "A New IEC Standard on the Measurement of Power Quality Parameters", in Proceedings, EMC Europe 2000 Symposium, Bruges, 2000.
- [48] T. S. Key, "Diagnosing Power-Quality Related Computer Problems", IEEE Transactions, vol. LA-15, July 1979.
- [49] J. M. Clemmensen, R. J. Ferraro, "The Emerging Problem of Electric Power Quality", in Public Utilities Fortnightly, Arlington VA.
- [50] G. O. Sullivan, "Lead article", in PCIM Magazine.
- [51] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment", in Std 1 100-1992
- [52] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", in Std 1 159- 1995
- [53] IEEE, "IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances", in Std 1250-1995
- [54] ***, Eskom Handbook on Quality of Supply: Eskom QOS Group.
- [55] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment", in Std 1100-1999.
- [56] T. Hoevenaars, K. LeDoux, Matt Colosino, "Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications".
- [57] IEEE, "IEEE Standard 519: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.
- [58] IEEE, "IEEE Std 1159: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", 1995.
- [59] IEC, "IEC 61000-4-30 Standard", 2007.
- [60] H. Markiewicz, A. Klajn, Standard EN 50160 - Voltage Characteristics in Public Distribution Systems. Wroclaw: European Copper Institute, 2004.
- [61] G. Asche, e. collaborateurs, Les capteurs en instrumentation industrielle. France: Imprimeie Gauthier-Villards, 1991.
- [62] M. Ciugudean, Circuite integrate liniare-Aplicații. Timișoara: Editura Facla, 1986.
- [63] D. Belega, C. Dughir, R. Pazsitka, Circuite Integrate Analogice - Experimentare și Simulare: Editura Politehnica, 2008.
- [64] C. Dughir, G. Găspăresc, "Preconditioning Circuit for Electrical Power System Disturbances Measurement", ETC 2006.
- [65] A. Ignea, C. Dughir, G. Găspăresc, "Calibration Method For Nonlinear Voltage Divider Used as a Preconditioning Circuit in the Electrical Power Network Disturbances Monitoring System", ACERO 2006.
- [66] C. Dughir, A. Ignea, G. Găspăresc, A. Vărtosu, "Nonlinear voltage divider", Proceedings of the IMEKO Conference, Iași, 2007.
- [67] C. Dughir, G. Găspăresc, "Three Channels Analysis System for Electrical Power System Disturbances Measurement", Buletinul Institutului Politehnic Iași, 2006.
- [68] I. Năfornită, A. Câmpănu, A. Isar, Semnale Circuite și Sisteme: Editura "Politehnica" Timișoara, 1995.
- [69] E. Creangă, I. Munteanu, A. Bratcu, M. Culea, Semnale Circuite și Sisteme: Editura Academica, Galați, 2001.

- [70] T. Jurca, D. Stoiciu, *Aparate electronice de masurat: Universitatea Tehnica, Timisoara*, 1993.
- [71] N. Instruments, "NI 625x Specifications".
- [72] F. Martzloff, "High-Speed Transient Recording System", General Electric TIS Report 68-C-019, January 1968.
- [73] P. Lu, S. Su, G. Liu, H. Rong, L. Zheng, "A new power quality detection device based on embedded technique", in Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008, Nanjing pp. 1635 - 1640.
- [74] G. H. Yang, B. Y. Wen, "A Device for Power Quality Monitoring Based on ARM and DSP", in IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Singapore
- [75] J. Mindykowski, T. Tarasiuk, "DSP-Based Instrument for Power Quality Monitoring on Ships", XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 6–11, 2009, Lisbon, Portugal.
- [76] C. Gherasim, J. V. d. Keybus, J. Driesen, R. Belmans, "DSP Implementation of Power Measurements According to the IEEE Trial-Use Standard 1459", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 53, p. 7, August 2004.
- [77] J. Gou, B. Xie, P. Enjeti, "A DSP based real time power quality measurement system", in Seventh Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '92, Boston, MA, pp. 299 - 302
- [78] A. Lakshmikanth, M. M. Morcos, "A Power Quality Monitoring System: A Case Study in DSP-Based Solutions for Power Electronics", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 50, pp. 724 - 731, Jun 2001.
- [79] T. S. Sidhu, "Accurate Measurement of Power System Frequency Using a Digital Signal Processing Technique", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 48, p. 7, February 1999.
- [80] L. Stankovic, "A Method for Time-Frequency Analysis", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 42, pp. 225 - 229 Jan 1994.
- [81] W. G. Morsi, M. E. El-Hawary, "A New Fuzzy-Wavelet Based Representative Quality Power Factor for Stationary and Nonstationary Power Quality Disturbances", in IEEE Power & Energy Society General Meeting, PES '09, Calgary.
- [82] C. N. Bhende, S. Mishra, "An Integrated Approach of Wavelet-Rough Set Technique for Classification of Power Quality Disturbances", in 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong.
- [83] B. Perunicic, M. Mallini, Z. Wang, Y. Liu, "Power quality disturbance detection and classification using wavelets and artificial neural networks", in Proceedings of 8th International Conference on Harmonics And Quality of Power, Athens, Greece, pp. 77 - 82.
- [84] W. G. Morsi, M. E. El-Hawary, "A new fuzzy-based representative quality power factor for unbalanced three-phase systems with nonsinusoidal situations", in IEEE Power & Energy Society General Meeting, PES '09, Calgary, AB
- [85] M. Artoli, G. Pasini, L. Peretto, R. Sasdelli, F. Fillipetti, "Low-Cost DSP-Based Equipment for the Real-Time Detection of Transients in Power Systems", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 53, p. 7, August 2004.
- [86] C. Dughir, T. Jurca, "Detectarea apariției perturbațiilor în rețeaua de distribuție a energiei electrice", in Energetica, 2004.
- [87] C. Dughir, "Detecting Symmetrical Disturbances in the Electrical Power Systems", Doctor ETc 2004.
- [88] A. Ignea, T. Jurca, A. D. Sabata, C. Dughir, A. Mihailescu, Aspecte privind monitorizarea perturbațiilor dintr-un site. Timisoara: Waldpress, 2006.
- [89] "<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/iso122.pdf>".
- [90] "<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/dch010515s.pdf>".
- [91] Microsoft, Microsoft Visual C++ .NET Standard: Microsoft Press, 2001.
- [92] D. Gosselin, Microsoft Visual C++ .NET Course Technology, 2002.
- [93] "[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/d06h2x6e\(VS.71\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/d06h2x6e(VS.71).aspx)".
- [94] J. He, "Microsoft Foundation Class (MFC) Quick Reference".
- [95] Wikipedia, "http://ro.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Foundation_Classes".
- [96] Microsoft, "[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ws8s10w4\(v=VS.71\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ws8s10w4(v=VS.71).aspx)".
- [97] Microsoft, "[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/fe1cf721\(VS.80\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/fe1cf721(VS.80).aspx)".
- [98] C. Hughes, T. Hughes, Object-Oriented Multithreading Using C++: Wiley, 1997.
- [99] A. Williams, C++ Concurrency in Action: Practical Multithreading: Manning Publications, 2010.
- [100] F. Martzloff, "Transient Control Level Test Generators", 1977.
- [101] F. Martzloff, G. Pellegrini, "Real, Realistic Ring Waves for Surge Testing", in Proceedings, 9th International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zürich, 1991.
- [102] G. Găspărescu, C. Dughir, "Electromagnetic Disturbances Generator with Graphical User Interface Built in MATLAB", Buletinul Institutului Politehnic Iași, 2006.
- [103] G. Găspărescu, C. Dughir, A. Ignea, "Studiul Perturbațiilor Electromagnetice Folosind un Generator de Perturbații cu GUI", ACERO, 2006.
- [104] G. Găspărescu, C. Dughir, L. Stoica, "Signal Generator for Usual Waveforms and Electromagnetic Disturbances with Graphical User Interface", Buletinul Institutului Politehnic Petroșani, 2006.
- [105] C. Dughir, "Visual C++ Complex Mathematical Signal Generator", Proceedings of the IMEKO Conference, Florence, Italy, 2008.
- [106] The Electric Power Engineering Handbook: Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
- [107] "<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/miscellaneous/functions/>".
- [108] "<http://en.wikipedia.org/wiki/Xampp>".
- [109] "<http://en.wikipedia.org/wiki/Html>".
- [110] "<http://en.wikipedia.org/wiki/Php>".
- [111] E. L. Stamate, Crearea și publicarea unui site web. Limbajul HTML și elemente de web design: Paralela 45, 2005.
- [112] C. Dughir, V. Groza, A. Vărtosu, G. Proștean, "Electrical Power Distributions Network Quality Monitoring using MSP430", IEEE Explore, 2009.
- [113] D. Belega, C. Dughir, "Acquisition signals from electromagnetic field-meters using digital multimeters with event logging mode", in XIX IMEKO World Congress, Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, Portugal.
- [114] D. Belega, C. Dughir, A. Ignea, "A system for electric field measurement", in 2nd IMEKO TC19 Conference on Environmental Measurements, Budapest, Hungary.
- [115] E. Nica, D. Stoiciu, P. Brad, C. Dughir, "Sistem de achiziție și prelucrare de date pentru studiul unei mașini cu motor asincron", in „Energetica” Oradea 1999.
- [116] E. Nica, D. Stoiciu, P. Brad, C. Dughir, "Modeling and simulation study of induction motors in unstable states", in IASTED Pittsburgh, USA, 2000, pp. 129-135.
- [117] E. Nica, D. Stoiciu, P. Brad, C. Dughir, "Computational procedure to analyze the parameters change on rotor speed estimation of the induction motor", in Proceedings of the International Conference on Electrical Machines, Espoo, Finland, pp. 208-212.