

Rezumat Teza de doctorat: „Metodă fuzzy-clustering de clasificare a golurilor de tensiune trifazate din rețeaua electrică”

întocmită de ing. Molnar-Matei Monica Mirela

În prezent când termenul „globalizare” este tot mai des auzit, nici domeniul energetic nu putea fi ocolit, iar analiza calității energiei electrice a fost extinsă la nivel mondial, existând organizații care au ca rol, definirea calității energiei furnizate consumatorului.

În 2007, ERGEG (European Regulators Group for Electricity and Gas) propune actualizarea standardelor din domeniu, analizând astfel prevederile standardului EN 50160 [EN50160], standard care reglementează problemele referitoare la calitatea energiei electrice. În urma discuțiilor, în raportul final s-a propus monitorizarea calității energiei electrice în fiecare țară membră UE și definirea unor limite pentru principalii indicatori ai calității energiei electrice în funcție de performanțele sistemului electroenergetic al fiecărei țări [ERGEG2007].

Un aspect important este faptul că responsabilitatea de a asigura condițiile necesare păstrării parametrilor de calitate a energiei electrice, de la producător la consumatorul final, revine întregului sistem, deci fiecare participant în acest lanț își asumă responsabilități asupra calității energiei, a păstrării acestora în parametri optimi și are obligația de a monitoriza permanent indicatorii calității. Din acest sistem fac parte: producătorii, transportatorii, distribuitorii, consumatorii mari și individuali, fiecare fiind obligat să respecte anumite condiții ce au scop menținerea calității energiei electrice.

În ianuarie 2009, CEER a semnat o convenție de cooperare cu European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC), care are scopul cooperării în domeniul standardizărilor din domeniul energiei electrice. Aceste două organizații au ajuns la concluzia că este imperios necesar revizuirea și îmbunătățirea standardului EN 50160 [EN50160].

În cadrul întâlnirii cu titlul „Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring” care a avut loc la Brussels în 18 Noiembrie 2009 s-au prezentat câteva concluzii privind îmbunătățirea standardului EN 50160. În deschiderea acestei întâlniri, Bollen Math [Bollen2009] a prezentat o analiză a noilor probleme legate de calitatea energiei electrice, datorate reconsiderării structurii sistemelor electroenergetice, produsă de utilizarea tot mai accentuată a generării distribuite. Acest lucru a condus la transformarea din structura de tip Generare-Transport/ Distribuție-Consum într-o structură de tip Rețea-Clienți unde, prin Clienți (clienți pentru rețea) se înțelege atât producătorii de energie electrică, cât și consumatorii. În urma studiilor realizate în domeniu s-a ajuns la concluzia că într-o primă etapă se pot utiliza prevederile standardului internațional IEC 61000-4-30 [IEC61000-4-30], privind metodele de monitorizare a calității energiei electrice. Totodată s-a propus utilizarea a două metode de monitorizare:

- folosirea sistemelor de monitorizare realizate conform standardului IEC 61000-4-30 și interpretarea rezultatelor;
- realizarea de noi sisteme de monitorizare (din punct de vedere hardware cât și software).

În [Brekke2009] se prezintă o sinteză a problemelor generate de lipsa calității energiei electrice, în care se afirmă că la nivel European costurile consumatorilor datorate problemelor de calitate a energiei electrice se ridică la aproximativ 151,7 miliarde EURO, dintre care *mai mult*

de jumătate (86,5 miliarde EURO) se datorează golurilor de tensiune, respectiv întreruperilor de scurtă durată, *motiv pentru care s-a ales propunerea acestei teme de cercetare*. Totodată se precizează că monitorizarea la nivel național a calității energiei electrice este o problemă destul de delicată, deoarece acest proces a luat amploare în Europa abia în 2006. Din acest punct de vedere, situația la nivelul UE este următoarea:

- doar 6 țări au un sistem de monitorizare de dimensiuni naționale și au furnizat informații privind datele obținute;
- 11 țări au anunțat că au pus în aplicare scheme de monitorizare;
- există o problemă gravă referitoare la compararea datelor obținute, datorită sistemelor de monitorizare diferite.

În urma analizelor realizate în țările care dețin date obținute pe baza programelor de monitorizare (Italia [Villa2009], Norvegia [Fadum2009], Portugalia [Melo2009], Ungaria [Tersztyanszky2009] și Franța [Scoffoni2009]), s-a ajuns la următoarele concluzii relevante pentru tema propusă în cadrul acestei cercetări:

1. informațiile oferite de sistemele de monitorizare sunt foarte importante în luarea deciziilor de asigurare a calității energiei electrice;
2. este necesar ca monitorizarea să se realizeze în cât mai multe noduri electrice, ceea ce presupune implicarea consumatorilor și a producătorilor de energie în acest proces;
3. trebuie găsite soluții de monitorizare astfel încât datele obținute în diferite zone să poată fi comparate;
4. trebuie impuse noi cerințe sistemelor de monitorizare, cu privire la informațiile furnizate.

Deoarece dezvoltarea de noi sisteme de monitorizare este strâns legată de dezvoltarea de noi standarde, în prezenta temă de cercetare se propune analiza și dezvoltarea unei proceduri de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune din rețeaua electrică. Prin intermediul acestei proceduri se vor rezolva câteva dintre problemele prezentate anterior și anume:

- se va realiza o bază de date a cărei structură va respecta prevederile standardelor din domeniu, și care va fi capabilă să preia informații din diferite tipuri de fișiere; prin intermediul acestei baze de date se vor putea compara măsurători din diverse zone ale rețelei, atingându-se problema prezentată anterior la a treia concluzie;
- se va dezvolta o nouă metodă de determinare a tipului golului de tensiune conform unei clasificări consacrate; prin intermediul acestei metode se atinge problema prezentată anterior la a patra concluzie.

Metodologia de analiză presupune dezvoltarea unei noi proceduri, a unor noi metode, noi instrumente care au drept scop caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune, iar în final stocarea tuturor informațiilor într-o bază de date realizată în conformitate cu prevederile standardelor în vigoare din domeniul calității energiei electrice.

Teza de doctorat, extinsă pe 198 pagini, este structurată pe 6 capitole, 3 anexe și o listă bibliografică, și conține 115 figuri și 18 tabele. Lista bibliografică reunește 206 titluri de articole și cărți reprezentative publicate în țară sau străinătate. Se menționează și cele 8 lucrări proprii ale autoarei elaborate în calitate de autor sau coautor.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. El cuprinde actualitatea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul preocupărilor existente pe plan mondial și național, continuând cu prezentarea pe scurt a conținutului fiecărui capitol. În încheiere se evidențiază modul de valorificare a rezultatelor cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, a perspectivelor și direcțiilor cercetărilor ulterioare din acest domeniu.

În cadrul **capitolului 2** au fost prezentate și analizate o serie de noțiuni fundamentale legate de tematica tezei: definirea golurilor de tensiune și prezentarea prevederilor standardelor internaționale; prezentarea parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune atât cei considerați de standardele internaționale (tensiune și amplitudine), cât și cei mai noi analizați în literatură

(saltul unghiului de fază și punctele de pe curbă de inițiere și de finalizare a unui gol de tensiune); prezentarea caracterizărilor trifazate a golurilor de tensiune; prezentarea stadiului actual privind analiza golurilor de tensiune.

În mod deosebit, pentru o încadrare cât mai bună a temei de cercetare în domeniul golurilor de tensiune, în acest capitol s-au prezentat concluziile unui vast studiu bibliografic care a fost împărțit pe șapte direcții majore de cercetare. În cadrul studiului s-a pus accentul pe analiza direcției particulare de detectare, calcul parametrilor și clasificare a golurilor de tensiune. O altă problemă mai intens studiată a fost aceea de analiză a utilizării tehnicilor specifice inteligenței artificiale în analiza golurilor de tensiune.

Concluziile studiului bibliografic sunt:

- golurile de tensiune sunt probleme de calitate a energiei electrice, care produc pagube financiare ridicate;
- majoritatea studiilor din domeniu se concentrează pe realizarea de echipamente sau sisteme de protecție a consumatorilor sau chiar a rețelei electrice împotriva efectelor produse de golurile de tensiune;
- a doua tematică abordată în literatură este aceea de determinare a efectelor golurilor de tensiune asupra echipamentelor electrice;
- a treia tematică, în care se încadrează și această temă de cercetare, este aceea de analiză, detectare, calcul parametrilor și clasificare a golurilor de tensiune;
- în literatura de specialitate există mai multe tehnici de detecție a momentului apariției golului de tensiune, dintre care cele mai performante sunt cele care anticipează valoarea următoare în funcție de tendința actuală; mai nou se încearcă detectarea apariției golului de tensiune direct pe curbele sinusoidale, lucru mai dificil datorită existenței zgomotelor de semnal care deteriorează calitatea analizelor;
- pentru calculul parametrilor golurilor de tensiune există mai multe metode cum ar fi: metode bazate pe versiuni ale transformatei Fourier, metode care utilizează diverse variante ale filtrului Kalman, precum și metode care utilizează diverse variante ale transformatei Wavelet;
- neconsiderarea frecvenței reale în timpul golului de tensiune poate conduce la estimarea greșită a parametrilor caracteristici golurilor;
- pentru clasificarea conform componentelor simetrice, algoritmi existenți pentru determinarea golurilor de tensiune sunt suficient de corecți;
- pentru clasificarea ABC, fiecare metodă prezintă o imperfecțiune de identificare a tipului golurilor de tensiune, cu precizarea că în general majoritatea metodelor au probleme în selectarea corectă a tipului golului de tensiune în cazul în care acesta este de tip bifazat; *aceasta este și una dintre problemele principale ce se vor soluționa în cadrul acestei teme de cercetare;*
- în literatura de specialitate s-au utilizat tehnici de inteligență artificială pentru rezolvarea diverselor probleme; problema clasificării golurilor de tensiune trifazată a fost analizată în câteva lucrări prin utilizarea sistemelor expert;
- logica fuzzy a fost în general utilizată pentru comandarea unor sisteme de protecție a consumatorilor împotriva efectelor golurilor de tensiune.

În cadrul **capitolului 3** s-a tratat problema asigurării informațiilor necesare testării unor algoritmi și metode de obținere a informațiilor referitoare la golurile de tensiune. În urma studiilor efectuate, dar și în urma eforturilor depuse pentru obținerea unor înregistrări care conțin curbele tensiunilor pe durata unor goluri de tensiune s-a ajuns la concluzia necesității dezvoltării unui generator software de goluri de tensiune. Această necesitate este susținută și de faptul că majoritatea echipamentelor de monitorizare a calității energiei electrice respectă prevederile standardelor internaționale și memorează doar amplitudinea și durata golurilor de tensiune.

Următorul pas realizat a fost acela de documentare privind existența unor generatoare de goluri de tensiune, precum și a metodelor de realizare a acestora. În urma studiului efectuat s-a ajuns la concluzia că majoritatea generatoarelor realizate au o structură hardware fiind utilizate la testarea unor echipamente electrice. Pe baza acestei analize s-a trecut ulterior la implementarea unui generator software de goluri de tensiune.

La proiectarea generatorului software s-a pornit de la realizarea modelului matematic pentru un gol de tensiune monofazat. Pe baza modelului matematic și ținând cont de metodele de clasificare a golurilor de tensiune trifazate s-a realizat modulul de generare a golurilor de tensiune trifazate. În spatele algoritmului generatorului trifazat se află prevederile clasificării ABC.

Avantajul major pe care îl are generatorul de tensiune este acela că semnalele generate pot fi folosite și la analize software spre deosebire de cele hardware care pot fi folosite doar pentru testarea echipamentelor care funcționează la nivelele de tensiune pentru care au fost realizate. Mai mult, deoarece parametrii folosiți pentru generarea golurilor de tensiune mono și trifazate se cunosc, testarea unor noi algoritmi este mult mai corectă. Cu alte cuvinte rezultatele obținute cu ajutorul unor noi algoritmi sau metode sunt comparate direct cu valorile cu care au fost generate golurile de tensiune, iar dacă se dorește compararea cu alți algoritmi sau alte metode se poate determina cu exactitate care dinte metode a fost precisă.

După finalizarea generatorului software de goluri de tensiune datele generate au fost încărcate într-o bază de date care a fost creată anterior. În timpul utilizării acesteia au apărut dificultăți de accesare. Acest lucru s-a datorat cantității mari de informații obținute cu ajutorul generatorului de goluri, dar și modulului de construcție a bazei de date. Ținând cont de toate acestea s-a trecut la analiza bazelor de date existente în literatura de specialitate. În urma acestui studiu s-a ajuns la concluzia că trebuie refăcută baza de date după principii noi, iar aceasta trebuie construită în așa fel încât să fie cât mai dinamică. Totodată s-au identificat și standardele care reglementează principiile de stocare și transmisie a datelor înregistrate pe durata studierii problemelor de calitate a energiei electrice.

În urma tuturor analizelor efectuate s-a ales implementarea unei baze de date utilizând mediul de dezvoltare Oracle. Această bază de date este concepută după structura prevăzută de standardul CONFED. Ea are capacitatea de a prelua informații de la diverse surse (diverse echipamente de monitorizare, generatoare de goluri și fișiere de date) care utilizează diverse formate (COMFEDE, COMTRADE, fișiere .txt, fișiere .xls). Din baza de date se pot exporta informații în aceleași formate amintite mai sus. Un alt avantaj major al acestei baze de date este acela că se poate interconecta ușor cu diverse aplicații care au ca scop prelucrarea informațiilor primare.

În final s-a realizat și o interfață grafică care permite accesul la informațiile din baza de date. Practic cu această interfață se pot construi diverse rapoarte care pot fi prezentate sub formă de grafice sau sub formă tabelară.

Capitolul 4 tratează o problemă specifică golurilor de tensiune și anume clasificarea golurilor de tensiune conform clasificării ABC. În prima parte a acestui capitol se prezintă în detaliu, două metode și un algoritm de determinarea a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC. Această alegere s-a făcut în primul rând pe baza asemănărilor și legăturilor dintre acestea, iar în al doilea rând faptului că aceste metode stau la baza algoritmilor ce au fost dezvoltati în continuarea acestui capitol. Metodele prezentate sunt: metoda bazată pe raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă de linie, denumită în lucrare cu numele de metoda Leborgne; metoda bazată pe raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea maximă de fază, denumită în lucrare cu numele de metoda Bollen; algoritmul în două etape care are la bază rapoartele dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă, respectiv maximă de linie, denumită în lucrare cu numele de algoritmul Molnar.

În urma analizei celor două metode (Leborgne și Bollen) și a algoritmului (Molnar) s-a ajuns la concluzia că fiecare dintre aceste au deficiențe în determinarea tipului golului de tensiune. Metoda Leborgne are o sensibilitate ridicată la variația amplitudinilor tensiunilor de fază sau a unghiurilor dintre acestea față de valorile teoretice. Totodată această metodă introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea de a distinge între tipurile A și E. Metoda Bollen pare a fi mai bună decât metoda Leborgne deoarece nu este influențată de variația unghiurilor dintre tensiunile de fază, dar are sensibilitate la modificarea amplitudinilor tensiunilor de fază față de cele teoretice. Totodată și această metodă introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea de a distinge între tipurile C și E. Algoritmul Molnar nu introduce nici o eroare sistematică și are avantajul că tipul golului se determină automat. Și acest algoritm, la fel ca și metoda Leborgne, are o sensibilitate ridicată la variația amplitudinilor tensiunilor de fază sau a unghiurilor dintre acestea față de valorile teoretice.

Pentru cele două metode, mărimilor de intrare erau considerate tensiunea minimă de fază determinată în șirul de valori cu tensiuni minime și tensiunile minimă de linie, respectiv maximă de fază, corespunzătoare aceluiași punct. În schimb în algoritm s-au luat în considerare toate perechile „tensiune minimă de fază – tensiune minimă de linie”, respectiv „tensiune minimă de fază – tensiune maximă de linie”, tipul golului de tensiune era dat de curba tensiunilor caracteristice de care erau mai aproape mai multe astfel de perechi. În continuarea acestui capitol s-a ales îmbunătățirea celor două metode prin utilizarea tehnicii de Clustering.

În urma implementării tehnicii de Clustering s-a realizat o analiză pentru determinarea îmbunătățirilor aduse. Totuși aplicarea tehnicii de Clustering elimină sensibilitatea metodelor la diverse variații ale mărimilor de intrare, și nici nu elimină erorile sistematice pe care le introduc cele două metode. Pentru identificarea zonelor în care cele două metode dau rezultate greșite s-a realizat o analiză pe un set de date generat cu ajutorul generatorului de goluri format din 1890 de goluri trifazate. În urma analizei efectuate s-a determinat toate zonele în care cele două metode dau erori și s-a ales rezolvarea acestei probleme prin utilizarea logicii Fuzzy.

În a doua parte a acestui capitol s-a dezvoltat o metodă de clasificare care folosește logica Fuzzy. În acest sens s-a prezentat structura sistemului fuzzy, după care s-a trecut la prezentarea tuturor mărimilor de intrare însoțite de seturile fuzzy utilizate și în final a regulilor fuzzy. O parte importantă a acestei metode este dată de faptul că se utilizează două grupuri de mărimi de intrare, fiecare dintre acestea conținând câte șase mărimi. La un moment dat, din aceste două grupe doar câte două mărimi de intrare vor participa la formarea regulilor fuzzy, iar alocarea celor două mărimi pentru fiecare grupă se realizează dinamic, în funcție de un algoritm prezentat la sfârșitul metodei. Pe lângă cele două grupuri de mărimi de intrare s-au mai definit încă două mărimi suplimentare folosite pentru îmbunătățirea metodei. Denumirea de metodă Fuzzy-Clustering de clasificare a golurilor de tensiune este dată de faptul că primele două grupuri de mărimi de intrare ale logicii Fuzzy sunt definite cu ajutorul tehnicii de Clustering prezentată în prima parte a capitolului.

Capitolului se termină cu prezentarea rezultatelor obținute la testarea metodei Fuzzy-Clustering pe același set de 1890 de goluri de tensiune trifazate. În urma analizei acestor rezultate se poate spune că metoda returnează tipul corect pentru aproape toate seturile testate. Totuși și această metodă are limitări în cazul variațiilor mari ale valorilor fazelor față de valorile teoretice.

În cadrul **capitolului 5** s-a propus o procedură completă de analiză a fișierelor cu măsurători pe durata golurilor de tensiune. Procedura are la bază un program complex compus din mai mulți algoritmi.

Procedura începe cu încărcarea fișierelor de date în baza de date realizată după structura standardului COMFEDE. În urma colaborărilor cu reprezentanții SC Transelectrica SA s-a obținut un set de 1028 fișiere, dintre care 647 conțin goluri de tensiune de formă dreptunghiulară. Se face precizarea că toate fișierele au fost înregistrate cu ajutorul osciloperturbografele de tip

CDR, a căror rată de eșantionare a fost setată la 1 kHz. Toate fișierele au fost de tip COMTRADE, iar acest lucru se datorează faptului că până în prezent compania nu deține sisteme de monitorizare care să salveze datele în formatul COMFEDE.

A doua parte a procedurii conține mai mulți algoritmi pentru prelucrarea primară a semnalelor digitale. Astfel, în urma unui studiu bibliografic s-a ales un algoritm bazat pe variația valorilor unghiurilor momentane ale fazelor pentru determinarea frecvenței reale la care s-a înregistrat fiecare eveniment. Deoarece algoritmul implementat nu funcționează corect pentru semnale eșantionate cu frecvențe reduse, cum sunt cele încărcate în baza de date s-a implementat un alt algoritm care are la bază determinarea unghiurilor relative ale tensiunilor de fază, dar care pornește de la premisa că pe durata evenimentului frecvența se păstrează constantă. După determinarea frecvenței reale se aplică transformata Fourier discretă pentru determinarea valorilor efective și a unghiurilor tensiunilor de fază. Ultima etapă a prelucrării primare este reprezentată de segmentarea semnalului care are la bază un algoritm de analiză a tensorilor tensiunilor de fază.

A treia parte a procedurii o reprezintă determinarea parametrilor și caracteristicilor golurilor de tensiune. Această parte conține două module: primul modul folosit pentru determinarea parametrilor monofazați, iar al doilea modul folosit pentru determinarea parametrilor trifazați și realizarea clasificării ABC.

Ulterior procedura a fost aplicată automat celor 647 de goluri de tensiune identificate. În urma rulării automate, un număr de 524 de goluri de tensiune au fost prelucrate integral. Celelalte fișiere cu goluri au avut cel puțin o eroare în ceea ce privește segmentarea sau detectarea tipului conform clasificării ABC. Pentru acestea s-a trecut la analiza lor individuală și determinarea motivului pentru care nu a fost validată în baza de date.

În continuarea capitolului s-a realizat o analiză statistică a rezultatelor obținute prin extragerea din baza de date a unui set de grafice în care s-au evidențiat diversele distribuții ale evenimentelor în funcție de anumite criterii cum ar fi:

- numărul de goluri în funcție de tip, amplitudine sau durată;
- numărul de goluri în funcție de locație;
- numărul de goluri în funcție de locație și o altă caracteristică (tip, amplitudine, durată);
- listarea pe curba de acceptabilitate ITIC a tuturor golurilor, sau selectarea lor în funcție de locație.

Capitolul 6 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autoarei, precum și trasarea direcțiilor și perspectivelor oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor obținute.

Cercetarea bibliografică, cercetările proprii și rezultatele obținute de autor, referitor la caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune din rețelele electrice, permit formularea următoarelor concluzii:

1. Efectele negative ale golurilor de tensiune asupra tuturor elementelor rețelei electrice (surse de energie, rețea de transport și distribuție, consumatori), precum și creșterea tot mai accentuată a pierderilor economice din cauza lor, au condus la intensificarea studierii acestui fenomen din toate punctele de vedere care pot fi luate în considerare. În urma studiului bibliografic realizat în această direcție s-a stabilit că:

- golurile de tensiune reprezintă una dintre cele mai importante aspecte privind calitatea energiei electrice, din punct de vedere al pierderilor economice produse de efectele lor asupra consumatorilor;
- puține țări din lume au la dispoziție un set de date reale pe care să le poată folosi în cercetarea cât mai amănunțită a acestui fenomen;
- monitorizarea și analiza lor au devenit probleme din ce în ce mai discutate în cercurile ingineresti din întreaga lume;

– clasificarea și caracterizarea lor reprezintă o problemă delicată, pentru care nu s-a stabilit prin normative o metodă general acceptată;

– utilizarea tehnicilor de inteligență artificială poate fi o soluție de rezolvare a problemei clasificării și caracterizării golurilor de tensiune.

2. Standardele din domeniul calității energiei electrice nu i-au în considerare toți parametrii caracteristici ai golurilor de tensiune, chiar dacă mulți cercetători au prezentat importanța lor în anumite studii. Practic toate standardele conțin informații referitoare la amplitudinea și durata golului, dar nici unul nu face o referire exactă la saltul unghiului de fază și la punctele de pe curbă de inițiere și de finalizare a golurilor de tensiune. Totodată, standardele nu stabilesc o metodă exactă de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune trifazate.

3. Analiza golurilor de tensiune presupune deținerea unui set cât mai mare de măsurători reale pe durata acestui fenomen. Suplimentar, inteligența artificială are nevoie de și multe măsurători, unele fiind folosite pentru realizarea algoritmului, iar altele pentru testarea acestuia. Din acest motiv în lucrarea de față s-a realizat un generator trifazat de goluri de tensiune, cu ajutorul căruia să se poată asigura datele necesare implementării și testării metodelor dezvoltate.

4. O altă problemă delicată privind seturile de date utilizate în analiză o reprezintă managementul acestora. Prin management al datelor se înțelege colectarea datelor și pregătirea acestora pentru a putea fi cât mai ușor de accesat în momentul în care este nevoie de ele. În acest sens s-a implementat o bază de date, folosind cele mai noi soluții din acest domeniu, în care se pot stoca toate datele utilizate sau rezultate din aceste cercetări.

5. Clasificarea și caracterizarea golurilor de tensiune trifazate este de asemenea o problemă reală. În literatura de specialitate, există trei tipuri de clasificări, pornite de la considerente diferite. Dintre acestea, clasificarea ABC pornește de la noțiuni teoretice și este cea mai potrivită pentru realizarea analizelor complexe de influență a golurilor de tensiune asupra diverselor elemente de rețea. Din acest motiv și în această teză s-a abordat Clasificarea ABC.

6. O problemă delicată a acestei clasificări este dată de determinarea tipului golului de tensiune din măsurători reale. Cu alte cuvinte cum se stabilește că un gol de tensiune aparține la o anumit grupă. În urma analizei principalelor metode existente în literatură s-a propus dezvoltarea unei noi metode care utilizează tehnici de Fuzzy-Clustering. În urma implementării acestei metode într-un algoritm s-a demonstrat că aceasta furnizează rezultate mai corecte decât cele existente în literatură.

7. Determinarea parametrilor și caracteristicilor golurilor de tensiune prin analiza semnalelor reale obținute din înregistrări, presupune identificarea cât mai corectă a mărimilor de bază ale semnalului și anume: frecvența reală, valorile efective momentane ale tensiunilor de fază, precum și unghiurile de tensiune ale celor trei faze. Pentru fiecare dintre aceste probleme s-au identificat algoritmi care conduc la rezultate bune și care utilizează cât mai puține resurse ale sistemului de calcul.

8. În lucrare se prezintă o procedură de caracterizare a fiecărei unde de tensiune în parte, precum și o caracterizare și o clasificare a golurilor de tensiune trifazate considerate unitar. Această procedură utilizează mai multe instrumente software. În primul rând măsurătorile sunt preluate din fișiere de date, apoi transformate în formate standardizate, iar în final salvate într-o bază de date realizată conform noutăților din domeniu. În a doua etapă se realizează o prelucrare primară, care constă în determinarea tuturor caracteristicilor monofazate pentru fiecare undă de tensiune în parte. În a treia etapă se realizează o prelucrare avansată pentru determinarea caracteristicilor și clasificării trifazate a golului. În final, se pot extrage diverse rapoarte pe baza cărora se pot realiza noi studii în domeniul golurilor de tensiune.

9. În final se aplică toate metodele dezvoltate în teză, pentru a se realiza o bază de date cu goluri de tensiune reale, care să conțină toate informațiile individuale pentru fiecare înregistrare în parte. Se face precizarea că acest tip de abordare, necesită un spațiu de stocare imens, dar deschide noi drumuri în realizarea de noi cercetări în domeniul golurilor de tensiune.

Dintre contribuțiile aduse de autor în cadrul prezentei teze de doctorat, precizate în lucrare, la finele fiecărui capitol, se remarcă:

Capitolul 2:

- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind definirea și standardizarea golurilor de tensiune;
- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind golurile de tensiune, realizată printr-un studiu bibliografic de dimensiuni mari având ca suport baza de date IEEE;
- analiza critică a soluțiilor propuse în literatura de specialitate privind studiul golurilor de tensiune din punct de vedere al problemelor direcției de cercetare aleasă, punându-se un accent mai ridicat pe problemele principale ce vor fi analizate în continuarea acestei teze;
- informațiile acumulate pe durata realizării acestui capitol a condus la realizarea lucrărilor [Moga2010], [Molnar2011a] și [Baloi2014].

Capitolul 3:

- analiza critică a studiilor existente în domeniul generatoarelor de goluri de tensiune și a studiilor care prezintă baze de date utilizate în domeniul calității energiei electrice;
- analiza prevederilor standardelor internaționale de realizare a bazelor de date, de salvare a informațiilor în fișiere și a modului de stabilire a denumirilor fișierelor de date;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator monofazat* de goluri de tensiune, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Molnar2013c] – lucrare indexată ISI;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator trifazat de goluri de tensiune*, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Iovan2013a]; pe baza generatorului de goluri de tensiune s-a dezvoltat și articolul [Iovan2014];
- realizarea unei *baze de date dinamice proprii*, utilizând mediul de dezvoltare Oracle, care are la bază prevederile standardului internațional C37.239-2010; o primă versiune a bazei de date a fost publicată în [Iovan2011];
- realizarea unei interfețe grafice care permite accesul la informațiile din baza de date, iar apoi permite crearea și generarea de rapoarte sub formă grafică sau tabelară.

Capitolul 4:

- analiza principalelor metode și algoritmi folosite pentru determinarea tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- îmbunătățirea metodelor Leborgne și Bollen prin aplicarea tehnicii de Clustering care împreună cu prezentarea rezultatelor acestora au fost prezentate în [Iovan2013b];
- analiza sensibilității celor două metode îmbunătățite cu tehnica de Clustering, la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază, prin testarea acestora pe un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate generate cu ajutorul generatorului de goluri prezentat în capitolul 3;

- dezvoltarea unei *metode proprii originale* utilizând tehnici de Fuzzy-Clustering de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- alocarea dinamică a mărimilor de intrare ale logicii Fuzzy, cu ajutorul unui algoritm original, care elimină erorile sistematice introduse de utilizarea tensiunii maxime de fază și tensiunii minime de linie;
- identificarea a doi parametri care definesc două mărimi de intrare ale logicii Fuzzy, și care elimină sensibilitatea metodei la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază;
- compararea rezultatelor obținute cu această metodă, cu rezultatele obținute cu celelalte metode prezentate în acest capitol, ceea ce a condus la validarea acesteia.

Capitolul 5:

- realizarea unei *proceduri originale* privind analiză caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune din rețele electrice;
- încărcarea în baza de date a unui set mare de înregistrări efectuate în stațiile de transport a SC Transelectrica SA, zona de Vest, identificarea fișierelor cu goluri de tensiune și prelucrarea completă a acestora;
- realizarea unui soft propriu de prelucrare primară și detaliată a datelor în cadrul căruia au fost implementați mai mulți algoritmi, fiecare având o funcție bine stabilită;
- realizarea unui algoritm propriu de detecție a frecvenței reale în cazul semnalelor afectate de goluri de tensiune care au fost înregistrate cu rate de eșantionare mică;
- validarea metodei de detecție a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC, dezvoltate în capitolul precedent, prin testarea pe date reale;
- prezentarea sistematică prin intermediul reprezentărilor grafice a dependențelor dintre diverși parametri și caracteristici ale golurilor de tensiune.

Cea mai mare parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate în cadrul a 8 lucrări științifice dintre care: 3 sunt prezentate la conferințe naționale [Iovan2011], [Iovan2013a], [Iovan2013b]; 2 au fost publicate într-o revistă și o conferință indexate în baze de date internaționale [Moga2010], [Molnar2011a]; 3 au fost publicate în volumul unor conferințe internaționale dintre care [Molnar2013c] este indexată ISI, iar [Iovan2014] și [Băloi2014] sunt în curs de indexare ISI.

În contextul progresului tehnicii de calcul, studiul teoretic și practic realizat în cadrul tezei de doctorat conduce la recomandarea privind utilizarea procedurii de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune în realizarea unei baze de date de dimensiuni naționale. Procedura dezvoltată poate fi utilizată ca și instrument software de analiză pentru un set de echipamente de monitorizare realizate cu costuri scăzute, care să aibă implementate doar funcțiile de detecție a apariției golului de tensiune și de salvare a valorilor momentane ale tensiunilor de fază. Acest lucru este posibil și datorită dezvoltării din ultimul timp a rețelelor de calculatoare din punct de vedere al capacității de transfer de date. Realizarea unei baze de date naționale care să conțină toate informațiile prezentate în cadrul tezei de doctorat poate conduce la realizarea unor noi cercetări în domeniu, precum și la identificarea unor metode optime de protejare a consumatorilor și chiar a întregului sistem electroenergetic împotriva perturbațiilor de tip gol de tensiune.

Dintre direcțiile de cercetare în viitor, pe această temă, se evidențiază implementarea unor metode mai avansate de determinare a caracteristicilor și a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC, cum ar fi tehnici specifice de rețele neuronale. De asemenea, se are în vedere și se va studia posibilitatea utilizării online a procedurii realizate, însoțită de toate instrumentele software dezvoltate. Din punct de vedere al metodei de determinare a

caracteristicilor golurilor de tensiune, studiul se va extinde pentru a se putea clasifica și alte categorii de goluri cum sunt cele date de pornirea consumatorilor rotativi de puteri mari.

Sinteză privind lucrările proprii

1. [Baloi2014] Băloi, F.; Bucătariu, I.; **Iovan, M.**, *Using Specific or General Software Tools in Power Engineering Education*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
2. [Iovan2011] **Molnar-Matei (Iovan), M.M.**, *Common format database for a better power quality analysis*, Workshop no.1 INTERDISCIPLINARITATEA ȘI MANAGEMENTUL CERCETĂRII University „Politehnica” of Timișoara, 24-25 November 2011
3. [Iovan2013a] **Iovan, M.**; Molnar-Matei, F.; Pana, A.; Baloi, A., *Software tool for voltage dips signal generator*, 6th International Conference on Energy and Environment, Bucuresti, Romania, 7-10 noiembrie 2013
4. [Iovan2013b] **Molnar-Matei (Iovan), M.M.**, *Improving voltage dip type detection using clustering technics*, Workshop no.3 Interdisciplinaritatea și managementul cercetării, University Pitesti, 30-31 May 2013
5. [Iovan2014] **Iovan, M.**; Șurianu F.D.; Molnar-Matei F., *Virtual laboratory for power quality study*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
6. [Moga2010] Moga, M.; Molnar-Matei, F.; **Iovan, M.**, *System Load Parameter Estimation Using Passive Experimental Tests*, Journal of Sustainable Energy, vol. I, no. 2, June 2010, pp. 67-72.
7. [Molnar2011a] Molnar-Matei, F.; Moga, M., **Iovan, M.**, *Procedure for Determining the Response of the System Load to Voltage Sags*, EUROCON 2011-The International Conference on “Computer as a Tool”, 27-29 April 2011, Lisbon, Portugal, pp.1-4, ISBN: 978-1-4244-7486-8, DOI: 10.1109/EUROCON.2011.5929275.
8. [Molnar2013c] Molnar-Matei, F.; **Iovan, M.**; Maris, S., *Mathematical Function of a Signal Generator for Voltage Dips Analysis*, UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp.569-574, 10-12 April 2013, doi: 10.1109/UKSim.2013.33

Timișoara, 28.03.2014