

Rezumatul tezei de doctorat cu titlul ***Contribuții privind analiza golurilor de tensiune din rețelele electrice în aprecierea calității energiei electrice***

Odată cu creșterea consumului de energie electrică, consumatorii au început să ridice anumite cerințe în ceea ce privește continuitatea în alimentare cu energie electrică. Ulterior pornindu-se de la cerințele consumatorilor a apărut o nouă noțiune denumită calitatea energiei electrice și care în principiu se referea la calitatea tensiunii electrice furnizate la bornele consumatorului.

Din domeniul calității energiei electrice se remarcă o categorie de perturbații care poartă denumirea de goluri de tensiune. Acestea reprezintă o scădere a tensiunii la bornele consumatorilor, sub un anumit nivel denumit prag, și actualmente reprezintă una dintre cele mai studiate probleme din cadrul calității energiei electrice.

Dezvoltarea rapidă a tehnicii de calcul, precum și automatizarea tot mai accentuată a majorității proceselor tehnologice, au condus la creșterea sensibilității consumatorilor la perturbații produse în alimentarea acestora. Dintre aceste perturbații, în această lucrare, se tratează efectele golurilor de tensiune. Astfel, un gol de tensiune poate conduce la întreruperea în alimentare a unor echipamente de automatizare, alimentate cu surse de tensiune în comutație care sunt foarte sensibile la scăderi ale valorii tensiunii de alimentare. Această întrerupere a alimentării echipamentelor de automatizare conduce în general la întreruperea întregului proces de producție, ceea ce generează pierderi financiare atât din punct de vedere a întreruperii procesului de producție dar mai ales datorită posibilității de deteriorare a produsului final. În literatura de specialitate s-au realizat o multitudine de studii care analizează efectele financiare ale golurilor de tensiune și toate studiile au ajuns la concluzia că pierderile anuale sunt foarte mari. Acest lucru a condus la creșterea pretențiilor consumatorilor în ceea ce privește calitatea tensiunii de alimentare.

În consecință, au fost elaborate diverse studii axate pe diferite aspecte ale problemei golurilor de tensiune cum ar fi:

- depistarea și reducerea surselor de goluri de tensiune;
- propagarea golurilor de tensiune în rețeaua electrică;
- efectele golurilor de tensiune asupra consumatorilor (motoare de inducție, sisteme de calcul și automatizări, contactoare electrice, etc.);
- determinarea sensibilității la goluri de tensiune pentru fiecare consumator în parte și gruparea acestora pornind de la criteriile de sensibilitate;
- dezvoltarea de metode și realizarea de echipamente pentru compensarea golurilor de tensiune sau pentru reducerea efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor sensibili.

Totuși trebuie menționat că există și domenii mai puțin studiate, dintre care amintim efectele golurilor de tensiune asupra consumatorilor echivalenți, precum și efectele consumatorilor echivalenți asupra propagării golurilor de tensiune. Bineînțeles, aceasta reprezintă o problemă a rețelei de distribuție și este mai puțin importantă din punct de vedere al consumatorului individual, dar este esențială pentru furnizorul de energie electrică, atât la nivel de distribuție cât și de transport.

În acest context, teza de doctorat are ca obiect dezvoltarea unei metode de identificare și caracterizare a golurilor de tensiune, cât și o analiză a efectelor acestora asupra consumatorului de sistem. Această preocupare este pe deplin justificată și de certa actualitate din următoarele considerente:

- nu există un algoritm și o procedură sigură și general acceptată pentru identificarea, în timp real, a tipului și parametrilor golurilor de tensiune;
- consumatorii echivalenți au o comportare asemănătoare cu cea a motoarelor de inducție pentru care s-a demonstrat, în literatura de specialitate, că golurile de tensiune au câteva efecte nocive dintre care menționăm o creștere semnificativă a curentului pe durata golului de tensiune;
- necunoașterea comportării consumatorului echivalent poate conduce la declanșări defectuoase a protecțiilor liniilor radiale care alimentează acești consumatori;
- până în prezent nu există studii detaliate care să trateze efectele golurilor de tensiune asupra consumatorului de sistem.

Metodologia de analiză presupune dezvoltarea unor algoritmi care au drept scop modelarea golurilor de tensiune, modelarea consumatorului de sistem și în final analiza efectelor golurilor asupra consumatorului echivalent.

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 și prezentarea pe scurt a conținutului fiecărui capitol. În încheiere se evidențiază atât modul de valorificare a rezultatelor cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, cât și perspectivele și direcțiile ulterioare de continuare a cercetării.

Capitolul 2 prezintă un studiu bibliografic referitor la calitatea energiei electrice în general, precum și referitor la golurile de tensiune în particular. După definirea calității energiei electrice și după prezentarea principalelor standarde internaționale și naționale privind calitatea energiei electrice se trece la o prezentare selectivă a unor noțiuni generale privind golurile de tensiune

cum ar fi: definiții ale golurilor de tensiune, cauze de apariție a lor, efectele golurilor de tensiune asupra consumatorilor, precum și metode de atenuare sau de eliminare a efectelor golurilor de tensiune.

În mod deosebit, în acest capitol, s-a analizat problematica golurilor de tensiune, printr-un vast studiu bibliografic. După cum se observă acest studiu a fost împărțit pe probleme de cercetare, punându-se accentul pe modurile de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune. O altă problemă mai intens analizată a fost aceea de urmărire a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor dinamici, precum și influența consumatorilor dinamici asupra formei și parametrilor golurilor de tensiune.

Concluziile studiului bibliografic sunt:

- golurile de tensiune sunt unele dintre cele mai importante probleme privind calitatea energiei electrice;
- ele sunt în general, generate de apariția curenților de scurtcircuit din sistem;
- monitorizarea lor a devenit o problemă din ce în ce mai discutată în cercurile ingineresti din întreaga lume;
- caracterizarea lor reprezintă o problemă delicată, îndelung analizată, pentru care nu există o metodă general acceptată;
- influența golurilor de tensiune asupra consumatorilor dinamici este o problemă analizată în general pe cazuri particulare (efectul asupra unui motor sincron sau asincron), și mai puțin pe cazuri generale cum ar fi efectul golurilor de tensiune asupra unei zone care are un consum preponderent compus din consumatori rotativi; există și o influență inversă.

Principalele contribuții aduse în acest capitol sunt:

- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind definirea și standardizarea calității energiei electrice;
- sinteza noțiunilor generale privind golurile de tensiune, realizată printr-un studiu bibliografic intens și de dimensiuni mari;
- analiza critică pe baza de date IEEE, privind studiul golurilor de tensiune din punct de vedere a problemelor generale, dar mai ales extragere și analiza mai detaliată a principalelor articole legate de tematica acestei teze.

Capitolul 3 conține o metodă de analiză a calității tensiunii care are ca și scop prezentarea stadiului actual de analiză a calității tensiunii electrice precum și încadrarea golurilor de tensiune în acest domeniu. La începutul capitolului se prezintă câteva posibilități de clasificare a perturbațiilor electromagnetice care afectează calitatea tensiunii, după care se definesc nivelele de acceptabilitate pentru diferitele perturbații. În continuare se prezintă principalii indicatori ce caracterizează fiecare perturbație care afectează calitatea energiei electrice, dintre care se poate remarca inclusiv indicatorii golurilor de tensiune. Capitolul

se încheie cu un studiu de caz realizat în cadrul unui contract de cercetare cu S.C. Electrica Banat [***2004c].

Studiul de caz din acest capitol și-a propus să analizeze emisia de perturbații electromagnetice produse de un consumator perturbant.

În acest scop pe durata a două săptămâni, s-au efectuat măsurători în stația Bârzava la nivelul de 6kV (barele de 6kV ale transformatorului T1) și la bornele rețelei de 0,4kV alimentate de PT160.

Pentru efectuarea măsurătorilor s-au utilizat următoarele echipamente:

- Sistem NEXUS 1250 Power Quality Monitoring produs de firma Electro Industries / Gange Tech New York 2003;
- Sistem TRINET produs de firma TELECOM București, varianta 1997;
- Sistem de monitorizare cu placă de achiziție PCI-6023 (fabricație National Instruments Corporation) realizat în cadrul Universității POLITEHNICA din Timișoara, Catedra de Electroenergetică.

Mărimile care au fost monitorizate se referă la *calitatea tensiunii* în primul rând și apoi la aceea a curentului și a puterii. Această monitorizare s-a efectuat înregistrând forma curbelor tensiunii de fază și o tensiune între faze, iar apoi cu programe dedicate s-au calculat o serie de indicatori având-se în vedere normativele naționale de calitate în vigoare și prevederile normativelor europene referitoare la calitate (caracteristicile) tensiunii furnizate de rețelele publice de distribuție – EN50160/1999 sau SREN 50160/2003.

Durata măsurătorilor pentru fiecare nivel de tensiune vizat a fost practic o săptămână, dar în lucrare sunt prezentate graficele de variație a unor indicatori și pe durate mai restrânse: 2 ore sau 10 minute, aceste durate considerându-se în conformitate cu normativele în vigoare.

Referitor la normativele care au fost luate în considerare la organizarea și prelucrarea rezultatelor, iar apoi la interpretarea lor, acestea au fost următoarele: [PE143/1994], [PE143/2001], [PE142/2001], [SREN50160].

În continuare se prezintă o sinteză a contribuțiilor personale din acest capitol:

- prezentarea într-o manieră mai structurată a prevederilor standardului EN50610-1999, privind problemele generale legate de perturbațiile electromagnetice, cum ar fi definirea acestora, clasificarea lor, definirea nivelurilor de compatibilitate electromagnetică;
- realizarea unui algoritm de analiză a unei sarcinii perturbatoare;
- structurarea problemelor legate de calitatea tensiunii furnizate de către distribuitorul de energie electrice, precum și prezentarea principalilor indicatori care caracterizează calitatea tensiunii electrice furnizate;
- realizarea unui studiu de caz privind calitatea tensiunii electrice furnizate municipiului Reșița, care s-a realizat pe barele de medie tensiune din stația

de ÎT/MT Bârzava, precum și la bornele de joasă tensiune a postului de transformare PT160;

- monitorizarea calității tensiunii cu trei sisteme de monitorizare diferite (*NEXUS 1250* de producție americană, *TRINET* de producție românească și *Sistem de monitorizare cu placă de achiziție PCI-6023* realizat cu placă de achiziție de producție National Instruments, de către colectivul catedrei de Electroenergetică sub conducerea prof.dr.ing. Adrian BUTA), care a avut drept scop găsirea diferențelor de realizare a normelor de calitate a tensiunii electrice, care apar datorită utilizării diferitelor standarde pentru realizarea sistemelor de monitorizare.

Capitolul 4 abordează problema clasificării și caracterizării golurilor de tensiune. În prima parte a capitolului se prezintă modul de reglementare a limitelor admisibile pentru mărimile caracteristice golurilor de tensiune în diverse standarde internaționale, de unde reiese că problema standardizării în domeniul golurilor de tensiune este una foarte delicată. Ca și o părere personală, cea mai bună caracterizare este dată de standardul IEC 61000-4-30, care precizează că în funcție de problema analizată, se pot stabili diferite limite pentru mărimile care caracterizează golurile de tensiune.

O a doua problemă tratată este aceea de clasificare a golurilor de tensiune. Din literatura de specialitate reiese că există o multitudine de metode de clasificare a golurilor de tensiune, dintre care s-au evidențiat Clasificarea ABC și Clasificarea după componentele simetrice. Din studiile efectuate s-a ajuns la concluzia de a se păstra ambele metode, deoarece clasificarea ABC este o clasificare realizată teoretic din analiza propagării curenților de scurtcircuit în rețelele electrice, obținută prin reducerea rețelei la un punct comun de conexiune (PCC), iar clasificarea după componentele simetrice este o clasificare care ține cont de nesimetria sistemului de tensiuni, și ea se bazează pe descompunerea sistemului trifazat nesimetric în componente nesimetrice.

Clasificarea ABC este o clasificare care permite o determinare mai simplă a propagării golurilor de tensiune în sistemul electroenergetic. Practic dacă se reduce rețeaua electrică la punctul de defect, se poate obține curentul de scurtcircuit și ulterior, cu ajutorul său, se poate determina valoarea tensiunii în orice punct al rețelei electrice.

Clasificarea după metoda componentelor simetrice, este o clasificare care pornește de la determinarea curentului de scurtcircuit cu metoda componentelor simetrice. În continuare, prin utilizarea acestei metode se poate determina tipul golului de tensiune în diferite puncte ale rețelei electrice, ca funcție de doi factori denumiți *tensiune caracteristică* și *factor de nesimetrie*.

Clasificarea se pretează mult mai bine la analiza golurilor de tensiune reale, dar este mai dificil de utilizat în analiza propagării lor în rețeaua electrică.

Următoarea problemă, studiată a fost aceea de a găsi metodele practice de determinare a golurilor de tensiune din măsurători reale. Și în această problemă, s-au propus o multitudine de metode, dintre care s-au evidențiat cele patru prezentate în această lucrare:

- metoda componentelor simetrice, care determină tipul golului de tensiune, conform clasificării după metoda componentelor simetrice; metoda pornește de la descompunerea tensiunilor de fază în componente simetrice, iar apoi se determină unghiul dintre tensiunile de secvență directă și inversă cu ajutorul cărora se obține tipul golului de tensiune;
- metoda celor șase faze, este o metodă care determină tipul golului de tensiune conform clasificării după componentele simetrice; ea pornește de la calcularea tensiunilor efective de fază și de linie, cu precizarea că tensiunile de linie sunt reduse cu coeficientul $\sqrt{3}$ pentru a putea fi comparate cu tensiunile de fază, iar cea mai mică dintre aceste șase tensiuni ne dă tipul golului de tensiune;
- metoda grafică a lui Leborgne, determină tipul golului de tensiune conform clasificării ABC, prin compararea tensiunii minime de linie determinate teoretic, cu tensiunea minimă de linie obținută din achiziția curbilor de tensiune (ori se achiziționează tensiunea de linie, ori se calculează din tensiunile de fază achiziționate); metoda este foarte simplistă însă este supusă erorilor, în special datorită faptului că pentru tipul A și E avem aceeași valoare pentru tensiunea de linie teoretică;
- metoda grafică a lui Bollen, determină tipul golului de tensiune conform clasificării ABC, prin compararea tensiunilor minime și maxime de fază obținute din prelucrarea curbilor tensiunilor înregistrate; metoda este mai complicată și totuși are situații în care introduce erori.

Din analiza acestor metode, rezultă că o clasificare după metoda componentelor simetrice este mult mai potrivită pentru determinarea golului de tensiune din înregistrări de curbe de tensiune, totuși ea nu poate fi utilizată cu succes decât în scopuri statistice.

În finalul capitoului se propune un algoritm nou, îmbunătățit, pentru determinarea tipului golurilor de tensiune conform clasificării ABC, pornind de la măsurători reale. Acest algoritm a fost aplicat pe bazele de date aflate la dispoziție, iar rezultatele obținute au fost comparate cu rezultatele obținute prin aplicarea metodelor grafice propuse de Leborgne și Bollen. Pentru confirmarea corectitudinii algoritmului, au fost luate în considerare măsurători din diferite zone ale rețelei electrice (Bihor, Arad, Timiș, Caraș-Severin), iar în această

lucrare au fost prezentate cazuri mai elocvente din două zone geografice: Caraș-Severin și Timiș.

Contribuțiile personale din acest capitol sunt:

- analiza prevederilor standardelor internaționale privind limitele mărimilor caracteristice ale golurilor de tensiune;
- studiul și selectarea critică a metodelor de clasificare a golurilor de tensiune, precum și a metodelor de determinare a caracteristicilor golurilor de tensiune obținute din achiziționarea curbelor de tensiune cu diferite tipuri de echipamente de monitorizare;
- compararea metodelor existente în literatură pentru a arăta necesitatea continuării studiilor pe această temă;
- dezvoltarea unei metode proprii și pe baza ei a unui *algoritm original* de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC. Acest algoritm este cu atât mai important cu cât în studiile din domeniu nu este prezentat un algoritm concret pentru determinarea tipului golurilor de tensiune conform acestei clasificări;
- compararea rezultatelor obținute cu acest algoritm, cu rezultatele obținute cu celelalte metode prezentate în acest capitol, ceea ce a condus la validarea procedurii și algoritmului dezvoltat.

Capitolul 5 prezintă dezvoltarea unui model matematic care să poată fi utilizat pentru analiza comportării consumatorilor complecși la perturbații de tip gol de tensiune. În primă instanță s-a considerat că un consumator complex poate fi considerat ca fiind compus din două componente: una statică care echivalează consumatori statici, și una dinamică care echivalează mașinile rotative din sistem.

Totodată s-a arătat că, există trei posibilități prin care poate fi reprezentată componenta statică, din care pentru cazul studiat în această lucrare s-a ales reprezentarea sa prin admitanță constantă.

Pentru componenta dinamică, s-a dezvoltat un model matematic bazat pe un motor de inducție pornind de la principiul că în general ponderea mai mare în cadrul consumatorilor rotativi o reprezintă motorul de inducție.

În următoarea etapă s-a trecut la determinarea caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție, după care acestea au fost echivalate pentru motorul de inducție echivalent ce caracterizează componenta dinamică a CC.

Cu toate acestea cunoscute s-a determinat un model matematic cât mai simplist, care să poată fi implementat ușor și care să furnizeze informații cu o viteză de calcul cât mai crescută, fără însă a pierde din informațiile vitale pentru descrierea fenomenului analizat.

Modelul matematic dezvoltat a fost ulterior validat prin compararea cu un model matematic consacrat. S-a arătat că sunt câteva diferențe între rezultatele obținute cu cele două modele, dar aceste diferențe nu prezintă o mare importanță în analiza perturbației de tip gol de tensiune. În plus, datorită vitezei de calcul, modelul matematic dezvoltat se pretează la analize mai laborioase, dintre care amintim posibilitatea rapidă de analiză a efectelor modificării parametrilor golului de tensiune, asupra consumatorului complex.

În finalul capitolului s-a prezentat o aplicație la care poate fi utilizat modelul matematic dezvoltat. Această aplicație se referă la estimarea parametrilor motorului de inducție echivalent, pentru un consumator complex real, pe baza identificării experimentale. Această aplicație este foarte utilă, în special în situațiile în care se dorește compararea rezultatelor obținute prin simulare, cu cele obținute din înregistrarea curbelor de tensiune și curent pe durata perturbațiilor reale. Practic dacă avem o achiziție de date care să conțină mărimile de intrare (tensiune și frecvență) și mărimile de ieșire (curenți și puteri), se poate determina parametrii echivalenți ai consumatorului complex, prin estimare experimentală.

În concluzie putem afirma că modelul matematic dezvoltat se pretează la analiza efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor complecși.

Contribuțiile personale din acest capitol sunt:

- elaborarea unui model matematic complet al unui consumator complex, care să poată fi utilizat la analiza efectelor golurilor de tensiune asupra acestuia;
- dezvoltarea, în programul Simulink din mediul MATLAB, a unei aplicații de analiză a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorului complex;
- validarea modelului matematic dezvoltat prin compararea rezultatelor obținute pentru o perturbație dată, cu cele obținute cu un alt model matematic consacrat și general acceptat (MATLAB);
- identificarea și expunerea unei aplicații suplimentare dar foarte utile, la care poate fi utilizat modelul matematic dezvoltat, și anume estimarea parametrilor unui consumator complex;
- am determinat ordinea optimă de estimare a parametrilor motorului echivalent, dar și o procedură de inițializare a parametrilor, două lucruri foarte importante în realizarea convergenței metodei celor mai mici pătrate forma generalizată, folosită pentru estimarea parametrilor consumatorului complex.

Capitolul 6 propune un algoritm de analiză a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor de sistem. Algoritmul are la bază utilizarea unui pachet de programe cu funcții diferite, astfel încât să se poată realiza toate etapele propuse de acest algoritm.

Complexitatea algoritmului este destul de ridicată, în special datorită numărului de programe utilizat, iar acest lucru se poate observa și din studiul de caz realizat.

Astfel, într-o primă etapă s-a realizat o bază de date cu măsurători înregistrate la bornele consumatorului de sistem considerat. Înregistrările corespunzătoare consumatorului de sistem considerat a fost împărțite în patru grupe după două criterii: sezon (iarnă, vară), respectiv încărcare pe durata unei zile (ziua, noaptea).

Dintre aceste grupe, în această lucrare a fost prezentat cazul corespunzător regimului de vară pe durata nopții, alegere făcută datorită numărului mai mare de înregistrări existente.

Din grupul de măsurători ales, s-a selectat o înregistrare care a fost folosită la identificarea parametrilor consumatorului de sistem, iar ulterior o altă înregistrare a fost folosită pentru confirmarea rezultatelor obținute. Suplimentar s-a realizat o identificare a parametrilor consumatorului de sistem cu toate înregistrările corespunzătoare grupului ales, ajungându-se la concluzia că valorile parametrilor obținuți diferă cu maxim 10% față de parametrii identificați în primul caz.

O concluzie importantă referitoare la identificarea consumatorului este că aceasta trebuie realizată pentru fiecare situație pe care dorim să o analizăm. Astfel, în această lucrare s-a precizat că împărțirea s-a realizat în patru grupe, dar în funcție de cerințele impuse analizei se pot lua în considerare și alte criterii, cum ar fi identificarea consumatorului pentru diferite intervale orare a unei zile.

Pentru consumatorul cunoscut în urma identificării s-a determinat valoarea maximă a curentului pe faze, care se obține pentru fiecare pereche durată-amplitudine a golului de tensiune. Analiza s-a realizat pentru fiecare tip de gol de tensiune la amplitudini între 0.1u.r. și 0.9u.r. (sau căderi de tensiune între -0.9u.r. și -0.1u.r.), respectiv pentru durate între 0.01s și 3s. Aceste valori au fost alese astfel încât să includă complet prevederile standardului EN50160, privind durata și amplitudinea pentru care o cădere de tensiune se consideră gol de tensiune. Datele obținute în urma simulării au fost prezentate în cadrul unor grafice tridimensionale.

În urma analizei celor șapte grafice rezultate s-a ajuns la concluzia că pentru fiecare caz al perechii durată-amplitudine a golului de tensiune ce afectează consumatorul de sistem, valoarea maximă a curentului se obține pentru diferite tipuri de goluri de tensiune. Totuși cea mai mare valoare a curentului se obține pentru un gol de tensiune de tip A.

Se mai poate preciza că o clasificare a ordinii în care un tip de gol de tensiune este mai periculos decât altul pentru consumatorul de sistem, se poate realiza doar pe intervale de perechi durată-amplitudine a golului de tensiune.

Pornind de la ideea că orice consumator de sistem se poate echivala la capătul unei linii electrice de distribuție radială, se poate spune că o variație prea mare a curenților pe faze poate conduce la o funcționare defectuoasă a protecției liniei electrice. În acest sens se poate spune că la reglarea protecției liniei electrice, trebuie ținut cont de faptul că valoarea curentului pe faze poate să ajungă până la de cinci ori mai mare decât valoarea curentului din regim normal de funcționare.

Din punct de vedere al contribuțiilor personale se poate spune că întreg capitolul are un caracter original. În continuare se prezintă principalele contribuții:

- realizarea unui *algorithm original* privind metoda de analiză a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorului de sistem;
- realizarea unei baze de date cu înregistrări efectuate la bornele unor consumatori de sistem, care are marele avantaj că pune la dispoziție informația în formate internaționale standardizate cum ar fi: *.XLS, COMTRADE, *.TXT;
- realizarea unui program care să permită o prelucrare a semnalelor înregistrate la bornele unui consumator de sistem, astfel încât să se obțină atât mărimile electrice de interes cât și caracteristicile golului de tensiune care a afectat consumatorul;
- realizarea unui program pentru identificarea consumatorilor de sistem pornind de la utilizarea fișierelor înregistrate pe durata golurilor de tensiuni, precum și identificarea unui consumator de sistem;
- analiza efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorului de sistem identificat, precum și prezentarea celor mai rele efecte ce le poate avea acestea din punct de vedere al valorii curenților ce se pot stabili la bornele acestuia.

Capitolul 7 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autorului, precum și reliefaarea direcțiilor și perspectivelor oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor și a experienței obținute.

Cercetarea bibliografică, cercetările proprii și rezultatele obținute de autor, referitor la efectele golurilor de tensiune asupra consumatorilor de sistem, permit formularea următoarelor concluzii:

1. Efectele negative ale golurilor de tensiune asupra consumatorilor, conduc la un interes crescut din partea specialiștilor în direcția identificării și diminuării acestui fenomen. 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;
- ele sunt în general, generate de apariția curenților de scurtcircuit din sistem;
- monitorizarea lor a devenit o problemă din ce în ce mai discutată în cercurile ingineresti din întreaga lume;
- clasificare și caracterizarea lor reprezintă o problemă delicată, îndelung analizată, pentru care nu există o metodă general acceptată;
- influența golurilor de tensiune asupra consumatorilor dinamici este o problemă analizată în general pe cazuri particulare (efectul asupra unui motor sincron sau asincron), și mai puțin pe cazuri generale cum ar fi efectul golurilor de tensiune asupra unei zone care are un consum preponderent compus din consumatori rotativi.

2. Studiul golurilor de tensiune presupune monitorizarea calității tensiunii furnizate consumatorului, monitorizare care trebuie realizată concomitent în toate nodurile sistemului sau zonei din sistemul electroenergetic. Foarte important pentru cazul particular al golurilor de tensiune este faptul că monitorizarea trebuie realizată pe perioade cât mai lungi posibile, pentru a se putea ajunge la concluzii concludente și corecte.

3. Problema standardizării în domeniul golurilor de tensiune este una foarte delicată. Diversele standarde internaționale oferă valori diferite limitelor admisibile pentru mărimile caracteristice golurilor de tensiune. Probabil cea mai bună caracterizare este dată de standardul IEC 61000-4-30 care precizează că în funcție de problema analizată se pot stabili diferite limite mărimilor care caracterizează golurile de tensiune.

4. Clasificarea și caracterizarea golurilor de tensiune este de asemenea o problemă frecvent dezbătută în literatura de specialitate, neexistând o variantă univoc acceptată sau standardizată. Totuși se remarcă două tipuri de clasificări și anume „Clasificarea după componentele simetrice” și „Clasificarea ABC”. În această lucrare s-a ales utilizarea ultimului tip de clasificare, din considerente precizate în lucrare.

5. O altă problemă delicată este aceea de a determina caracteristicile golurilor de tensiune, conform clasificării ABC, pentru curbe de tensiune obținute din înregistrări cu aparate de monitorizare. Analiza principalelor metode existente în literatură a condus la dezvoltarea unei noi metode, îmbunătățită, pe baza căreia s-a dezvoltat ulterior un algoritm de determinare a caracteristicilor golurilor de tensiune din măsurători reale.

6. Pentru a se putea analiza efectele golurilor de tensiune asupra consumatorului complex a apărut necesitatea de a se realiza un model matematic, cu scopul de a putea fi simulată comportarea consumatorului complex la diverse perturbații de tensiune. Modelul matematic are la bază descompunerea consumatorului complex în două componente: una statică și una dinamică. Componenta dinamică a fost reprezentată printr-un motor de inducție echivalent, iar componenta statică printr-o admitanță constantă. Modelul matematic dezvoltat pentru componenta dinamică are la bază comportarea motorului de inducție de medie putere, considerat a fi preponderent în structura consumatorului de sistem.

7. Simulatorul MatLab s-a demonstrat a fi un instrument foarte util în simularea comportării motoarelor de inducție la perturbații de tip gol de tensiune. Cu ajutorul componentei sale denumite „Simulink” s-a realizat validarea modelului matematic propus pentru consumatorul complex.

8. Modelul matematic dezvoltat pentru consumatorul complex poate fi folosit și pentru alte aplicații, dintre care merită menționat identificarea parametrilor consumatorului complex, pornind de la înregistrarea curbelor de tensiune și de curent pe durata perturbațiilor de tip gol de tensiune.

9. În lucrare se prezintă un algoritm pentru analiza efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor de sistem, algoritm care are la bază utilizarea unui pachet de programe cu roluri diferite cum ar fi: realizarea bazei de date cu evenimente; prelucrarea datelor înregistrate pentru fiecare eveniment; identificarea consumatorului de sistem dacă acesta nu se cunoaște; determinarea efectelor diferitelor caracteristici ale golurilor de tensiune asupra consumatorului de sistem.

10. În final se aplică toate metodele dezvoltate în teză, pentru a se determina efectele golurilor de tensiune asupra unui consumator de sistem real, o parte din rezultate fiind confirmate de înregistrările reale obținute în urma monitorizării nodului de rețea stabilit.

Rezultatele cercetării au fost valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate între Universitatea „Politehnica” din Timișoara și S.C. Electrica Banat S.A. sau în cadrul unor programe naționale de cercetare derulate de Ministerul Educației și Cercetării: MENER, CEEX, RELANSIN. Până în prezent s-au derulat 5 astfel de contracte, dintre care unul a obținut în anul 2007 premiul III al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică.

De asemenea, cea mai mare parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate și sunt în curs de publicare. Se menționează faptul că din totalul de 14 lucrări proprii, 7 au fost publicate și prezentate în volumele unor

manifestări științifice de prestigiu din străinătate, iar două sunt în curs de publicare în volumele unor manifestări științifice de prestigiu din străinătate.

În contextul progresului tehnicii de calcul și a IT-ului, studiul teoretic și practic realizat în cadrul tezei de doctorat conduce la recomandarea privind implementarea software a metodelor dezvoltate în cadrul acestei teze, în cadrul echipamentelor de monitorizare, automatizare și protecție a rețelelor electrice. Acest lucru este benefic atât din punct de vedere a monitorizării golurilor de tensiune care au loc în sistemul electroenergetic, cu aplicații diverse în studiul acestora, precum și pentru anticiparea efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor din sistemul electroenergetic. În acest sens se impune o achiziție on-line de valori corespunzătoare tensiunilor în toate nodurile rețelei electrice precum și a curenților pe liniile radiale la bornele cărora se pot echivala consumatorii complecși. În final cu ajutorul acestor informații prelucrate conform celor dezvoltate în această lucrare se pot lua decizii privind proiectarea rețelei electrice și parametrizarea echipamentelor de automatizare și protecție.

Dintre direcțiile de cercetare în viitor, pe această temă, se evidențiază implementarea unor metode mai avansate de prelucrare a semnalelor cum ar fi filtrele Kalman cu ajutorul cărora se poate determina zgomotele de semnal, și mai important se pot utiliza ca și tehnică de estimare a semnalului pentru aplicații de monitorizare on-line. De asemenea, se are în vedere și se va studia problema implementării algoritmului dezvoltat într-un sistem de monitorizare on-line. Din punct de vedere al metodei de determinare a caracteristicilor golurilor de tensiune, studiul va continua în direcția de implementare a tehnicilor de inteligență artificială.