

REZUMAT

Tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale din domeniul managementului sistemelor electroenergetice, al planificării pe termen mediu și lung a dezvoltării rețelei de transport al energiei electrice. Teza are ca obiectiv principal elaborarea unei metode practice, dar riguros fundamentată din punct de vedere științific, de planificare a extinderii optime a RET, folosind tehnici de calcul evolutiv, mai precis Algoritmi Genetici (AG). Metodele de analiză utilizate sunt finalizate prin tehnici originale de soluționare, implementate în instrumente soft care utilizează la maxim posibilitățile oferite de mediile de programare și de sistemele informatice actuale.

Aplicațiile concrete se referă la sisteme test elaborate la Catedra de Electroenergetică (Test25, Test 50), sisteme test consacrate (Test6WW, IEEE24 RTS), cât și la un sistem real de mari dimensiuni denumit generic SEN Centru&Nord&Est&Sud (reprezentat de subsistemul de Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est și Sud al SEN, acoperit în principal de Dispeceratele Electroenergetice Teritoriale București și Bacău și parțial de Dispeceratele Electroenergetice Teritoriale Craiova și Cluj-Napoca).

Teza de doctorat, extinsă pe 219 de pagini, este structurată pe 9 capitole, prefață, 5 anexe și o listă bibliografică, conținând un număr de 107 figuri, scheme, histogramme și 73 tabele (+20 în Anexă). Lista bibliografică cuprinde 202 titluri, semnalându-se prezența unor lucrări reprezentative, atât cele considerate deja clasice, cât și cele de dată relativ recentă, apărute în țară sau în reviste de prestigiu din străinătate.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. El cuprinde încadrarea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul stadiului actual al evoluției sistemelor electroenergetice și al preocupărilor existente pe plan mondial și la noi în țară, și continuă prin prezentarea succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. În încheiere se evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate în cadrul elaborării tezei de doctorat (publicații, contracte de cercetare științifică, instrumente soft), cât și perspectivele privind direcțiile ulterioare de cercetare.

Se menționează faptul că fiecare capitol cuprinde un subcapitol final, care, alături de evidențierea concluziilor și a contribuțiilor, deschide calea pentru cele care urmează.

Capitolul 2 prezintă stadiul actual de evoluție a sectorului energetic în general, respectiv al celui electroenergetic în particular. Prima parte cuprinde o prezentare generală a problemelor actuale din sectorul energetic și principalele aspecte legate de situația energetică a Uniunii Europene (UE). Este trecut în revistă stadiul evoluției sistemului electroenergetic european: elaborarea unei politici comune în acest domeniu și a instrumentelor de implementare, adaptarea legislației comunitare, evoluția pieței de energie, influența asupra altor sectoare și impactul asupra mediului, cât și efectele extinderii UE în ultimul deceniu. Piața unică europeană de energie electrică a devenit o realitate care implică o dezvoltare și o extindere corespunzătoare a SEE european, a rețelei continentale de transport al energiei electrice.

A doua parte descrie strategia și politica actuală a României în sectorul energetic și evoluția sistemului electroenergetic național (SEN). Este prezentat stadiul actual al dezvoltării SEN (producere, transport și consum de energie electrică), cu o atenție specială pentru rețeaua de transport al energiei electrice (RET), și perspectivele, mai mult sau mai puțin certe, ale evoluției sale viitoare (în viziunea operatorului de transport și de sistem – C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.).

Analiza situației actuale a RET evidențiază două aspecte cel puțin contradictorii: capacitatea de transport (și producere) a energiei electrice acoperă practic cerințele actuale de consum, dar majoritatea liniilor și stațiilor electrice sunt sau se apropie de limita duratei normale de funcționare, fiind realizate la nivelul tehnic și tehnologic al anilor '60-'80. Este de remarcat însă că starea tehnică reală a instalațiilor se menține la un nivel corespunzător ca urmare a faptului că se desfășoară un program riguros de mentenanță și că s-a impus un program susținut de re tehnologizare și modernizare a instalațiilor și echipamentelor.

Datele privind evoluția consumului (și a eventualelor exporturi de energie electrică sau de puteri vehiculate prin sistem) acoperă o plajă largă de valori prognozate, cu diferențe foarte mari între valorile "pesimiste" și cele "optimiste". La fel se prezintă situația și cu noile capacități "curate" de producere a energiei electrice, unele mai realiste în privința puterii instalate și a termenelor, altele ușor "fanteziste".

În consecință, și strategiile de extindere a RET trebuie să țină cont de aceste aspecte, precum și de cele legate de dezvoltarea durabilă și de mediu (în concordanță cu normele și politica UE în acest domeniu). Concluziile acestui capitol reliefează necesitatea unei viziuni coerente asupra planificării extinderii SEN, a rețelei de transport a energiei electrice, care să aibă la bază o abordare riguroasă, cu considerarea tuturor aspectelor menționate și a unei game largi de scenarii posibile, de la cele mai pesimiste până la cele mai optimiste.

Obiectivul capitolului 3 constă în prezentarea sistematizată a metodelor actuale de soluționare a planificării extinderii optime a rețelei de transport al energiei electrice. De asemenea se prezintă câteva metode de calcul evolutiv (în special algoritmi genetici) aplicate în problemele din energetică.

Se menționează faptul că problema extinderii este o problemă de optimizare de mari dimensiuni, neliniară (sau liniară într-o primă aproximație), de regulă cu variabile atât reale, cât și întregi (posibil binare). Funcția obiectiv are în vedere în principal cheltuielile de investiții, la care se pot adăuga cheltuielile de funcționare, cele legate de penalizarea congestiilor și a nealimentării consumatorilor, elemente care să înglobeze aspecte legate de siguranța în funcționare, de capacitatea totală de transfer, de impactul asupra mediului, de rata de amortizare a investițiilor etc. Relațiile de restricție acoperă o gamă largă de aspecte, în principal tehnice și economice.

În prima parte sunt prezentate succint două categorii de metode pentru planificarea extinderii categorii: metode matematice de optimizare (programare liniară și neliniară programare liniară cu numere întregi și mixtă, programare dinamică, descompunere ierarhică și de tip Bender etc.) și metode euristice și meta-euristice de optimizare (Algoritmi euristici constructivi, metode de tip Tabu Search și Simulated Annealing, metoda roiurilor de furnici, metoda roiurilor de particule, sisteme expert, logică fuzzy etc.). Se remarcă și posibilitatea utilizării unor tehnici hibride, rezultate prin combinarea a două sau mai multe metode.

Se remarcă faptul că, abordarea poate fi statică (pentru un anumit orizont de timp se determină doar soluția finală de extindere) sau dinamică (pe lângă soluția finală în sine de determină momentele discrete de timp la care trebuie să se realizeze elementele componente ale soluției de extindere).

În ultima parte sunt descrise metodele de calcul bazate pe utilizarea algoritmilor genetici (AG), atât pentru problema extinderii RET, cât și pentru alte probleme din domeniul sistemelor electroenergetice: analiza și optimizarea regimului permanent normal, extinderea surselor de energie electrică și extinderea rețelelor de distribuție.

Capitolul 4 are ca obiectiv prezentarea algoritmilor genetici și a modelelor matematice aferente, ca metode din clasa algoritmilor evolutivi. Partea introductivă prezintă noțiunile de bază cu care operează algoritmii evolutivi și stabilește încadrarea AG în această categorie.

În continuare sunt prezentate conceptele de bază legate de AG codificați cu valori binare (versiunea de bază a fost elaborată de J. Holland [Hol1975]).

Următorul subcapitol are ca obiect prezentarea unei variante de AG care ce folosește variabile reale. Se definesc în acest context noțiunile de cromozom și populație, apoi se discută despre evaluarea populației, metodele de selecție, metodele de recombinare, tipurile de mutație, noțiunea de elitism și criteriile de terminare a calculelor.

Ultima parte a capitolului are un caracter aplicativ, având ca obiect testarea comportamentului algoritmilor genetici cu valori reale pentru diferite funcții matematice test consacrate (Rosenbrock, Rastrigin și Schwefel). Rezultatele obținute au rolul de a justifica și determina valorile parametrilor specifici algoritmilor genetici. Scopul final îl reprezintă implementarea cu succes a acestor tehnici de optimizare pentru rezolvarea unor probleme din domeniul ingineriei sistemelor electroenergetice (analiza și optimizarea regimurilor de funcționare a SEE complexe, planificarea extinderii optime a RET de mari dimensiuni).

Capitolul 5 are ca obiectiv prezentarea modelului matematic aferent extinderii optime a rețelei de transport al energiei electrice din cadrul SEE complexe. Pentru început se prezintă modelul matematic al analizei regimului permanent normal și cel al optimizării funcționării momentane a SEE complexe. Apoi se trece la introducerea elementelor specifice legate de planificarea extinderii optime a RET. Se utilizează un model euristic de căutare ordonată în domeniul soluțiilor, semidynamic retrospectiv, maniera de definire a funcției obiectiv ținând cont de caracterul multicriterial al problemei de optimizare. Pe lângă funcția obiectiv a problemei de optimizare a regimului permanent normal, se adaugă și costul investițiilor legate de realizarea noilor capacități de transport și câte o componentă legată de siguranța în funcționare a sistemului, respectiv de capacitatea totală de transfer disponibilă (evident, scalate corespunzător).

Capitolul 6 este destinat elaborării modelului matematic și a metodei de soluționare a planificării extinderii rețelei electrice de transport folosind algoritmi genetici. Metoda în ansamblu este bazată pe un algoritm genetic binar și include problemele analizei și optimizării regimului permanent normal. Modelele matematice prezentate în capitolul 5 sunt transpuse în forma necesară utilizării unor metode de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială (algoritmi genetici, în acest caz). Primele două părți ale capitolului tratează soluționarea circulației de puteri și a OPF în această manieră, ca elemente componente a modelului general de extindere. Ultima parte se referă la problema planificării extinderii optime a sistemelor electroenergetice în acest context. Pe baza unor studii de caz, se concluzionează asupra oportunității utilizării tehnicilor de tip GA pentru fiecare dintre cele trei probleme în parte.

Principalul avantaj al folosirii metodelor de calcul evolutiv este reprezentat de simplificarea modelelor matematice și evitarea calculelor laborioase. După cum rezultă din analiza comportamentului AG realizată în capitolul 4, parametrii optimi ai algoritmului trebuie ajustați pentru fiecare problemă.

Capitolul 7 prezintă instrumentele software dezvoltate pentru soluționarea tuturor aspectelor legate de planificarea extinderii optime a RET utilizând tehnici de calcul evolutiv: determinarea regimului permanent normal, optimizarea regimului permanent normal și planificarea efectivă a extinderii optime a RET. Toate aplicațiile au fost dezvoltate respectând metodologia de implementare descrisă în capitolul 6.

Instrumentele soft elaborate au fost dezvoltate în mediul Matlab [Matlab] și au fost astfel concepute, încât să fie compatibile la nivel de bază de date cu pachetul de programe Powerworld [Powerworld]. Interfața realizată permite transmiterea în

ambele sensuri a informațiilor legate de topologia sistemului, parametrii elementelor de rețea și mărimile caracteristice ale regimului de funcționare a SEE. Interfațarea cu pachetul de programe Powerworld permite utilizarea maximală a posibilităților grafice de nivel înalt oferite de acest mediu de lucru.

Capitolul 8 prezintă rezultatele obținute prin implementarea algoritmilor genetici în soluționarea planificării extinderii optime a RET și a unor probleme conexe. Ele este în întregime original, constituind principala parte aplicativă a tezei. Elementele teoretice care au constituit obiectul capitolelor anterioare, metodologiile de calcul elaborate și instrumentele soft aferente au fost aplicate și utilizate la soluționarea extinderii optime pentru o gamă largă de sisteme electroenergetice. Analizele efectuate au pornit de la sisteme test de mici dimensiuni elaborate la Departamentul de Electroenergetică al Universității „Politehnica” din Timișoara (Test25, Test50 [Kilyeni1988a, Kilyeni1988b, Kilyeni2010]) și sisteme test consacrate (Test6WW, IEEE24 RTS, IEEE30), ca apoi să se treacă la un SEE real, de mari dimensiuni – subsistemul de Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est și Sud al SEN (acoperit în principal de Dispeceratele Electroenergetice Teritoriale București și Bacău și parțial de Dispeceratele Electroenergetice Teritoriale Craiova și Cluj-Napoca).

Prima parte a capitolului prezintă rezultatele extinderii optime obținute pe sistemele Test6WW, IEEE24 RTS și Test50 (în ordinea complexității), în condițiile unor scenarii de extindere fictive. Pentru fiecare sistem sunt prezentate atât topologia și parametrii elementelor de rețea, cât și rezultatele circulației de puteri pentru regimurile de bază. Soluția extinderii optime este descrisă în detaliu, cu toate elementele noi rezultate în sistemul extins, împreună cu regimul optim aferent. Se discută și aspecte legate de evoluția algoritmului de optimizare.

A doua parte a capitolului este dedicată sistemului real – subsistemul de Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est și Sud al SEN.

Soluțiile de extindere sunt prezentate în detaliu, cu toate elementele noi rezultate în sistemul extins, împreună cu regimul optim aferent soluției. Se urmărește și evoluția procesului de optimizare. Valorile termenilor funcției obiectiv au fost determinate, conform celor prezentate în capitolul 6, prin intermediul instrumentelor soft descrise în capitolul 7. Concluziile finale privind analiza rezultatelor studiilor de caz încheie acest capitol. Unele concluzii diferă sensibil de cele din alte studii, mai ales datorită "optimismului" exagerat în ceea ce privește evoluția în perioada următoare a puterii consumate și a celei generate (îndeosebi în sfera valorificării surselor de energie regenerabilă), fapt care poate conduce la o "supradimensionare" a RET.

Ultimul capitol (Capitolul 9) 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. Metodologiile și programele de calcul elaborate sunt de aplicabilitate generală, oferind un instrument eficient OTS, precum și altor entități specializate, cu preocupări în domeniul planificării extinderii SEE complexe.

Anexele (CD) oferă o serie de elemente și de rezultate de detaliu referitoare la studiile de caz privind funcțiile matematice test, la instrumentele soft elaborate, la bazele de date utilizate pentru studiile de caz complexe, precum și la regimurile de funcționare studiate și la rezultatele obținute.

Rezultatele cercetării au fost și vor fi valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate între Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, și C.N.T.E.E. Transelectrica S.A. De altfel, la baza stabilirii temei tezei de doctorat au

stat solicitările operatorului național de transport și de sistem privind realizarea unor asemenea cercetări, de maximă importanță și actualitate pentru sistemul electro-energetic al României, în condițiile funcționării interconectate cu sistemul european și ale pieței libere de energie.

De asemenea, o parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate și sunt în curs de publicare. Se remarcă faptul că din totalul de 26 lucrări proprii, menționate și în lista bibliografică, 19 sunt deja publicate, iar 7 în curs de publicare. Dintre cele 19 lucrări publicate, 8 sunt publicate în țară și 11 în străinătate. O lucrare este cotată ISI ([Barbulescu2011b]), 13 sunt indexate BDI – Scopus, Compendex, Inspec, IEEE ([Solomonesc2009], [Andea2010a], [Andea2010b], [Frigura2010], [Kilyeni2010a], [Molnar2010], [Vuc2010], [Crisitan2011], [Barbulescu2011a], [Jigorea2011a], [Jigorea2011b], [Pop2011], [Cristian2012], [Frigura2011], 3 au fost susținute în cadrul workshop-urilor organizate prin intermediul proiectului „Prin burse doctorale spre cercetarea de nivel european” ID 50783 [Solomonesc2011a], [Solomonesc2011b], [Solomonesc2012a] și 2 sunt rapoarte științifice elaborate în cadrul programului de cercetare doctorală [Solomonesc2011c], [Solomonesc2012b]. Dintre cele 7 lucrări care vor fi publicate în cursul acestui an, 5 vor fi prezentate la conferințe de prestigiu, cotate ISI ([Cristian2013a], [Solomonesc2013a]) sau BDI ([Solomonesc2013b], [Solomonesc2013c], [Cristian2013b]) iar 2 sunt acceptate la reviste cotate ISI ([Solomonesc2013d], [Barbulescu2013]).

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniul planificării extinderii RET:

- "dinamizarea" modelului matematic – abordarea problemei extinderii RET ca o problemă de programare dinamică, soluția indicând și anul în care trebuie finalizate noile capacități de transport al energiei electrice;
- rafinarea metodelor de soluționate bazate pe algoritmi evolutivi, în scopul creșterii eficienței și ameliorării performanțelor acestora;
- abordarea probabilistă a unor elemente componente ale problemei discutate;
- extinderea analizei la ansamblul sistemului electroenergetic al României și pentru o perioadă mai lungă (până în anul 2030).