



Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial
 pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013
 Titlul proiectului: Promovarea științei și calității în cercetare prin burse doctorale
 Cod Contract: 155420

UNIVERSITATEA **POLITEHNICA** DIN BUCUREȘTI
Facultatea de Energetică
Decizie nr. 657 din 29.03.2021



REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE ÎN PREZENȚA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE UTILIZÂND TEHNICI DE CALCUL PROBABILISTIC ȘI ALGORITMI METAEURISTICI

Autor: ing. Constantin GHINEA

Conducător de doctorat: prof. emerit dr. ing. Mircea EREMIA

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing. Constantin BULAC	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător de doctorat	Prof. em. dr. ing. Mircea Eremia	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Referent	Prof. dr. ing. Ștefan Kilyeni	de la	Universitatea Politehnica Timișoara
Referent	Prof. dr. ing. Mihai Gavrilaș	de la	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași
Referent	Conf. dr. ing. Lucian Toma	de la	Universitatea POLITEHNICA din București

CUPRINS

ABREVIERI

MULȚUMIRI

ABSTRACT

Capitolul 1. INTRODUCERE

- 1.1. Generalități
- 1.2. Obiective și provocări
- 1.3. Structura tezei

Capitolul 2. SURSE REGENERABILE DE ENERGIE

- 2.1. Context global
- 2.2. Tipuri de surse regenerabile de energie
 - 2.2.1. Situații la nivel global și european
 - 2.2.2. Situația la nivel național
- 2.3. Centrale electrice eoliene
 - 2.3.1. Aspecte generale
 - 2.3.2. Tipuri constructive de generatoare eoliene
- 2.4. Centrale electrice fotovoltaice
- 2.5. Racordarea la rețeaua electrică de distribuție
 - 2.5.1. Impactul surselor regenerabile de energie asupra calității energiei electrice
- 2.6. Cerințe tehnice de racordare a surselor regenerabile de energie
 - 2.6.1. Operarea și funcționarea CEE și CEF pentru diferite moduri de reglaj

Capitolul 3. ANALIZA IMPACTULUI CENTRALELOR ELECTRICE EOLIENE ȘI FOTOVOLTAICE ASUPRA REGIMULUI PERMANENT DE FUNCȚIONARE

- 3.1. Calculul regimului permanent utilizând metoda Newton - Raphson
 - 3.1.1. Modelul matematic
 - 3.1.2. Algoritmul de calcul utilizat pentru abordarea deterministă
- 3.2. Calculul probabilistic al regimului permanent
 - 3.2.1. Aspecte generale

- 3.2.2. Metoda de simulare Monte Carlo
- 3.2.3. Modelarea aleatoare a sarcinii
- 3.2.4. Modelarea aleatoare a puterii produse de centralele electrice eoliene și fotovoltaice
- 3.2.5. Integrarea modelelor probabilistice în cadrul metodei de calcul al regimului permanent

Capitolul 4. DETERMINAREA OPTIMĂ A AMPLASĂRII ȘI A PUTERII CENTRALELOR ELECTRICE FOTOVOLTAICE UTILIZÂND ALGORITMI METAEURISTICI

- 4.1. Considerații generale privind algoritmi metaeuristici
 - 4.1.1. Algoritmi genetici
 - 4.1.2. Algoritm de optimizare „lupul cenușiu”
 - 4.1.3. Algoritm „prădătorilor marini”
- 4.2. Modelul matematic utilizat pentru rezolvarea problemei de optimizare
 - 4.2.1. Programul de calcul elaborat

Capitolul 5. STUDII DE CAZ

- 5.1. Studiul de caz 1- Analiza impactului CEE și CEF asupra regimului permanent de funcționare
 - 5.1.1. Descrierea rețelei electrice Test 1
 - 5.1.2. Scenariul 1.1: Analiza funcționării unei rețele electrice de distribuție în prezența CEE și CEF – abordarea deterministă
 - 5.1.3. Scenariul 1.2: Analiza funcționării unei rețele electrice de distribuție în prezența CEE și CEF – abordarea probabilistică
 - 5.1.4. Comentarea rezultatelor și concluzii
- 5.2. Determinarea optimă a amplasării și a puterii centralelor electrice fotovoltaice
 - 5.2.1. Descrierea rețelei electrice Test 2
 - 5.2.2. Scenariul 2.1: Determinarea optimă a amplasării și a puterii unei CEF
 - 5.2.3. Amplasarea și dimensionarea optimă a trei CEF
 - 5.2.4. Comentarea rezultatelor și concluzii

Capitolul 6. CONCLUZII FINALE ȘI PERSPECTIVE

- 6.1. Concluzii generale

6.2. Contribuții personale

6.3. Perspective de dezvoltare ulterioară

BIBLIOGRAFIE

ANEXE

A1. Noțiuni de teoria probabilităților - indicatori statistici

A2. Profilele de sarcină utilizate pentru Studiul de caz 1 - Scenariul 1.1

A3. Modelarea funcțiilor densitate de probabilitate pentru profilele de sarcină utilizate în cadrul Studiului de caz 1 - Scenariul 1.2

A4. Profilele de sarcină utilizate pentru Studiul de caz 2

MULȚUMIRI

Cu prilejul finalizării acestei etape din viața mea, doresc să transmit câteva gânduri de mulțumire celor care m-au îndrumat și mi-au asigurat suportul pe întreaga perioadă a elaborării lucrării de doctorat.

Teza de doctorat este rezultatul efortului depus și a activității susținute pe o perioadă de mai mulți ani sub îndrumarea permanentă a conducătorului științific prof. emerit dr. ing. Mircea Eremia, căruia îi datorez recunoștință pentru rigurozitatea, consultanța științifică și observațiile critice constructive primite în fiecare etapă a pregătirii mele doctorale.

În continuare, îmi exprim recunoștința față de membrii comisiei de îndrumare pentru sfaturile și sugestiile oferite. Doresc să mulțumesc în mod special prof. dr. ing. Ion Triștiu și conf. dr. ing. Lucian Toma pentru sprijin, și mai ales pentru motivația și încrederea pe care mi-au acordat-o pe toată perioada studiilor. De asemenea, adresez cuvinte de grațitudine prof. emerit dr. ing. Nicolae Golovanov, prof. dr. ing. Constantin Bulac, precum și conf. dr. ing. Mihai Sănduleac pentru sfaturile pertinente și constructive oferite cu ocazia susținerii rapoartelor științifice în

catedră. Un gând de mulțumire se îndreaptă și către ș.l. dr. ing. Dorian - Octavian Sidea pentru suportul primit pe perioada activității de cercetare.

Mulțumesc tuturor colegilor din cadrul Departamentului Sisteme Electroenergetice al Universității Politehnica din București pentru sprijinul moral acordat. Totodată transmit un mesaj de mulțumire foștilor colegi de la SC&DC SRL, cât și actualilor colegi din cadrul E-Distribuție Muntenia SA pentru generozitate și împărtășirea cunoștințelor.

Sunt recunoscător pentru sprijinul financiar de care am beneficiat prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Contract nr. POSDRU/187/1.5/S/155420.

În mod deosebit doresc să îmi manifest recunoștința și respectul față de familia mea pentru iubirea, înțelegerea și încurajările oferite.

CUVINTE CHEIE

Surse regenerabile de energie; rețea electrică de distribuție; centrală electrică eoliană și fotovoltaică; calculul probabilistic de regim permanent; algoritmi genetici, algoritmul de optimizare „lupul cenușiu”, algoritmul „prădătorilor marin”.

REZUMAT

Noțiunea de "energie" reprezintă unul din cele mai importante concepte fizice pentru înțelegerea și analiza proceselor din cadrul sistemelor energetice.

Pământul primește energie solară ca radiație de la soare într-o cantitate care depășește cu mult utilizarea de către omenire. Prin

încălzirea planetei, soarele generează vânt. Vântul creează valuri, iar soarele favorizează transformarea apei în vapori. De asemenea, valorificarea energiei hidraulice reprezintă una din cele mai importante surse de energie electrică regenerabile utilizate în prezent. Plantele realizează fotosinteza, care este, în esență, o stocare chimică a energiei solare. Astfel, se creează o gamă largă de așa-numite produse din biomasă, care pot fi utilizate pentru producția de energie electrică, termică și combustibili lichizi. De asemenea, interacțiunile dintre Soare, Lună și Pământ produc fluxuri de maree care pot fi interceptate și utilizate pentru a produce energie electrică. Sursele regenerabile de energie se bazează pe fluxurile naturale și pe fluxurile interconectate de energie ale planetei noastre.

Cu toate că oamenii au avut acces pentru nevoile lor timp de sute de ani la cele mai multe tipuri de surse regenerabile (soare, vânt, apă etc.) doar o mică parte din potențialul tehnic și economic al energiei ce provine din aceste surse nefosile a fost dobândit și exploatat. Utilizând noi tehnologii moderne, sursele de energie regenerabile oferă alternative din ce în ce mai eficiente în ceea ce privește costurile pentru toate nevoile energetice ale omenirii. Sectorul energiei din surse regenerabile a devenit cea mai importantă forță pentru o economie sustenabilă în secolul XXI.

Confruntarea nu numai cu o criză economică, cauzată fie de dispute politice locale sau pricinuite de diferite crize sanitare (Ebola, coronavirus etc.), dar și provocarea reprezentată de schimbările climatice, creșterea dependenței de importuri și creșterea prețurilor combustibililor fosili, reprezintă o chestiune urgentă pentru care trebuie găsite alternative viabile. Aceste soluții vor trebui să ne ajute, pe termen mediu și lung, cu privire la modul de conservare a mijloacelor de subzistență economice și sociale, dar și de menținere a unui sistem ecologic echilibrat. Prin promovarea tehnologiilor surselor de energie regenerabilă, vom putea să abordăm atât securitatea aprovizionării cu energie, cât și

efectele schimbărilor climatice, creând în același timp o economie durabilă, orientată spre viitor.

Domeniul energiei electrice din Europa și din lume trece prin etape de tranziție ce includ decarbonarea și liberalizarea pieței de energie. Primele măsuri la nivel european, pentru promovarea SRE au fost impuse în anul 1997, odată cu publicarea Cărții Albe a Uniunii Europene privind creșterea contribuției surselor regenerabile de energie la energia brută utilizată. Uniunea Europeană a stabilit printre principalele obiective ca, până în anul 2010, o proporție de 12% din consumul de energie electrică să provină din surse nefosile de energie, iar în Directiva 2001/77/CE s-au stabilit strategii directe pentru fiecare stat membru.

Dezvoltarea și lansarea tehnologiilor ce vizează sursele de energie regenerabilă în Uniunea Europeană au debutat cu adoptarea directivei privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, care a inclus pragurile celebre de 20% pentru toate statele membre, în anul 2009. Aceasta a impus, ca până în anul 2020, fiecare stat membru să își acopere 20% din consumul de energie din surse regenerabile, să realizeze o îmbunătățire cu 20% a eficienței energetice și să atingă un procent de minimum 10% cu privirea la ponderea biocarburanților în consumul de combustibili fosili utilizați în transporturi.

În vederea îndeplinirii obiectivelor prevăzute în Acordul de la Paris, Uniunea Europeană a stabilit noi direcții privind energia și clima pentru anul 2030 [1]. Astfel, elaborarea directivei 2009/28/CE privind „promovarea utilizării energiei din surse regenerabile” este urmată de publicarea noilor pachete legislative, printre care unul din cele mai importante este de acoperire a 32% din consumul de energie din surse regenerabile. Prin urmare, integrarea și creșterea numărului de surse regenerabile de energie va conduce la noi provocări privind proiectarea, dezvoltarea și operarea rețelelor electrice.

Un punct central în cuprinsul „Pactului verde European” (Green Deal) îl reprezintă acțiunile ce sunt avute în vedere pentru

îmbunătățirea și protejarea mediului înconjurător. Principalul obiectiv, începând cu anul 2020, a constat în reducerea emisiilor gazelor cu efect de seră, și a fost cuprins într-un plan de măsuri ce prevede reducerea acestora cu cel puțin 55% până în 2030. Mai departe, provocarea pentru Europa o reprezintă scopul de a deveni primul continent neutru din punct de vedere climatic pentru anul 2050 [1]. Prin urmare, va avea loc tranziția energetică care va conține:

- „decarbonarea” prin creșterea numărului de surse regenerabile de energie în cadrul sistemelor electroenergetice;
- „dezvoltarea electrificării” împreună cu provocările apărute datorită urbanizării sectoarelor unde sunt racordați diverși utilizatori (consumatori captivi, industriali etc.);
- „descentralizarea” corelată cu generarea distribuită cât și noile tendințe de flexibilitate datorate încărcării inteligente a vehiculelor electrice;
- „digitalizarea” ce face parte integrantă din rețelele electrice inteligente, precum și importanța aplicațiilor de Cyber – Security;
- „democratizarea” prin suportul tuturor segmentelor societății la dezvoltarea și monitorizarea sistemelor energetice;
- „dinamismul” ce reflectă schimbul de informații folosind platforme informatice ușor de utilizat.

Sursele regenerabile de energie cu cea mai mare pondere la nivel global și național sunt centralele electrice eoliene și fotovoltaice. Schemele de sprijin alese au determinat integrarea unui număr mare al acestor tipuri de surse. De asemenea, rețelele electrice inteligente au început să prindă contur și să îndeplinească diferite roluri în atingerea obiectivelor politicilor privind energia și mediul: asigurarea securității în alimentarea cu energie electrică, creșterea calității serviciului de alimentare cu energie electrică, eficiență economică într-un mediu de piață cât mai complex, și

creșterea ponderii energiei din surse regenerabile. O importantă strategie de dezvoltare a sistemelor electroenergetice o reprezintă introducerea progresivă a conceptului de Smart Grids (rețele electrice inteligente).

În Strategia de la Lisabona sunt enunțate principiile generale privind rețelele electrice inteligente (Smart Grids) pentru orizontul anului 2020 și ulterior [2,3]: flexibilitate, fiabilitate, accesibilitate și economicitate. Primele două cerințe și anume flexibilitatea și fiabilitatea răspund la necesitatea imperativă de adaptare în viitorul pe termen scurt a rețelelor electrice la cerințele clienților (atât consumatori, cât și producători), și la soluționarea provocărilor ce pot apărea în urma evoluției rapide a tehnologiilor moderne din cadrul societăților dezvoltate. De asemenea, aceste cerințe trebuie să asigure standarde de performanță ridicate în ceea ce privește furnizarea energiei electrice consumatorilor. Economicitatea rețelelor inteligente presupune asigurarea unui mix energetic optim ce este necesar să includă și surse regenerabile de energie. Acestea vor avea o influență asupra costurilor de producere și de transport a energiei electrice. Cea de-a treia cerință generală, accesibilitatea, trebuie să asigure posibilitatea tuturor utilizatorilor de a se racorda la rețea, în special pentru sursele distribuite de energie. Astfel, este prioritară menținerea și îmbunătățirea măsurilor privind integrarea surselor regenerabile, îmbunătățirea controlabilității rețelelor electrice de distribuție și transport a energiei electrice, încurajarea consumatorilor activi etc. Din acest concept derivă două perspective: una orientată către consumator și cealaltă către rețeaua electrică.

Schimbările climatice apărute din cauza poluării, reducerea disponibilității combustibililor fosili, combinate cu perspectiva de creștere a cererii de energie, au creat cadrul dezvoltării, integrării și operării surselor regenerabile de energie în cadrul rețelelor electrice. Politicile Europene au reușit ca, prin obiectivele propuse în ultimele decenii, să crească ponderea acestor surse nefosile de

energie. Printre cele mai recente propuneri ale „Pactului Verde European” se pot enumera cele referitoare la „Legea Europeană a climei” și „Pachetul Energie Curată pentru toți europenii”.

Trecerea rețelelor electrice de distribuție către rețelele active are în prim plan o abordare ce se focusează în principal asupra consumatorului ce se implică activ și are libertatea de a lua decizii cu privire la posibilitățile și opțiunile pe care le are în ceea ce privește: instalarea de echipamente pentru producerea de energie electrică din surse regenerabile sau din cogenerare de înaltă eficiență, de mică putere; dispozitive de stocare; încheierea unui contract de furnizare în regim concurențial. Primul pas a fost făcut odată cu liberalizarea pieței de energie începând cu 1 Ianuarie 2021, moment în care clienții casnici au putut identifica o ofertă de furnizare în regim concurențial ce corespunde cel mai bine nevoilor lor.

Cele mai importante priorități pentru modernizarea rețelelor electrice, conform celei de-a doua abordări, sunt: dezvoltarea infrastructurii rețelelor electrice, creșterea ponderii surselor regenerabile de energie și optimizarea funcționării rețelelor electrice [4].

Optimizarea funcționării rețelelor electrice reprezintă capacitatea folosirii într-un mod cât mai eficient a infrastructurii existente. Aceasta poate fi abordată în două moduri: din punct de vedere tehnic și economic.

Racordarea centralelor electrice eoliene și fotovoltaice la rețelele electrice de distribuție și nu numai, este determinată în principal de condițiile esențiale ale surselor primare de energie (vânt și soare), dar și de disponibilitatea terenului, de distanța față de punctul de injecție în sistemul electroenergetic, de eventualele întăriri ale rețelei electrice etc. Este posibilă analiza unei propuneri privind anumite scheme de sprijin oferite producătorilor din surse regenerabile de energie. În acest scop, există posibilitatea acordării unui procent, printr-o bonificație, celor care, prin implementarea acestor tipuri de proiecte în rețelele electrice de distribuție, reușesc

să optimizeze din punct de vedere tehnic rețeaua electrică (amplasare și dimensionare optimă cu diferite funcții obiectiv în ceea ce privește minimizarea pierderilor de energie, reglaj de putere reactivă etc.). În general, sursele regenerabile de energie sunt localizate în zonele ce sunt caracterizate de condiții meteorologice favorabile pentru producerea de energie electrică.

Prin aceste scheme de sprijin, operatorul de transport și operatorii de distribuție concesionari își vor putea îndeplini mai multe obiective. Printre acestea, se pot enumera:

- îmbunătățirea serviciului de distribuție ori transport (reducerea duratei și a frecvenței medii de întrerupere);
- reducerea consumului propriu tehnologic;
- reducerea încărcării unor elemente de rețea și programarea investițiilor pentru dezvoltarea și optimizarea structurii rețelelor electrice.

Îmbunătățirea infrastructurii rețelelor electrice reprezintă o măsură necesară în situația creșterii cererii de energie.

Cauze precum congestiile apărute în urma creșterii numărului de noi consumatori în marile centre de consum sau în centralele de producere a energiei electrice conduc la necesitatea unor investiții pentru creșterea capacității de transport a rețelelor electrice. În vederea îndeplinirii acestui scop, se propun: extinderi de stații electrice prin amplificarea sau montarea de noi transformatoare electrice de putere mai mare și retehnologizarea liniilor electrice aeriene sau subterane existente. Dacă măsurile enumerate nu sunt suficiente, se pot impune ca soluții, realizarea unor noi stații de transformare sau construirea de linii electrice noi. Prin urmare, rețelele electrice de distribuție vor trebui să fie pregătite pentru integrarea surselor distribuite, consumatorilor activi și a autovehiculelor electrice.

La ora actuală centrele de dispecer monitorizează starea rețelelor electrice ce includ linii electrice, stații electrice de transport și de distribuție, centrale electrice. Centrele de dispecer

inteligente vor putea îngloba sistemul de telecontrol al întregii rețele de distribuție cu sistemele de monitorizare al surselor regenerabile (dispecerizabile și nedispecerizabile) și cu producătorii clasici. Astfel, se poate defini și dezvolta conceptul de microrețea. Rețelele electrice de distribuție se vor transforma din rețele pasive în rețele active în sensul în care luarea unei decizii și controlul sunt distribuite, iar puterea poate circula bidirecțional. De asemenea, funcția unei rețele de distribuție activă este să interconecteze în mod eficient sursele de producție cu utilizatorii de energie electrică, permițându-le în acest fel să funcționeze optim, în timp real. Acest lucru va avea loc în condițiile existenței unei infrastructuri performante a telecomunicațiilor. Printre principalele provocări se pot enumera: alocarea unor canale de comunicații, securitatea cibernetică, echipamente redundante etc.

Rețelele electrice de distribuție au un număr mare de consumatori și, odată cu racordarea surselor regenerabile de energie în contextul dezvoltării rețelelor electrice inteligente, urmărirea și acuratețea regimurilor permanente de funcționare întâmpină noi provocări.

Studierea regimurilor posibile de funcționare reprezintă principalul scop în cadrul etapelor de planificare și programare ce se realizează pentru determinarea regimurilor optime de funcționare, din punct de vedere tehnic și economic, cu respectarea tuturor restricțiilor, reglementărilor și condițiilor de siguranță.

Calculul regimului permanent dintr-o perspectivă deterministă alege anumite condiții inițiale considerate reprezentative (de regulă puterile active maxime, medii și minime) pentru care se calculează regimurile de funcționare. Acestea pot conduce la o imagine incompletă asupra rezultatelor obținute.

Având în vedere larga variabilitate a puterii generate, cât și participarea aleatorie la acoperirea graficului de producție, studiile privind funcționarea rețelelor electrice se bazează pe calculul probabilistic al regimului permanent. Această abordare poate

utiliza: simulări Monte Carlo, metode analitice și de aproximare [5, 6, 7].

Analiza funcționării rețelei electrice de distribuție în prezența uneia sau mai multor surse regenerabile de energie se poate realiza folosind mijloace moderne de cercetare ce includ indicatori, funcții și metode statistice [8]. Acestea ajută la obținerea unei imagini de ansamblu mai clare asupra mărimilor de stare (tensiuni, curenți, pierderi de putere). Calculul de regim permanent pentru o rețea electrică de distribuție pentru care se cunosc înregistrările puterilor active și reactive ale consumatorilor, precum și puterile active injectate ale surselor regenerabile de energie pentru un an, este studiat în [45].

Implementarea tehnicilor de calcul probabilistic este aplicată și în studii de adecvanță pe termen mediu și lung pentru funcționarea sistemului electroenergetic. Metoda Monte - Carlo se poate utiliza pentru generarea aleatoare a consumului, soldului și ale încărcării / puterilor injectate de grupurile generatoare. De asemenea, se pot obține analize de sensibilitate pentru diferite scenarii de analiză ce conțin rezervele de sistem pe tip de reglaj și surse [9, 60].

În lucrarea [66] modelarea profilelor de sarcină este realizată utilizând studierea polinoamelor algebrice liniare, parabolice și de ordinul trei. De asemenea, studii din literatură se centrează pe studiul influenței și determinării diferitelor funcții pentru modelarea vitezei vântului, respectiv a iradianței solare [68, 71].

Planificarea dezvoltării și a funcționării rețelelor electrice pe termen mediu și lung necesită cunoașterea, nu doar a evoluției consumului de energie electrică, ci și funcționarea surselor regenerabile de energie având în vedere creșterea racordării acestora în rețelele de joasă și medie tensiune.

Cercetările realizate în această teză au avut ca scop evaluarea impactului integrării SRE asupra calculului regimului permanent de funcționare și realizarea unui calcul de amplasare și

dimensionare optimă a centralelor electrice fotovoltaice. Primul obiectiv constă în studierea centralelor electrice eoliene și fotovoltaice în rețele electrice de distribuție, cu scopul de a calcula probabilistic regimul permanent pornind de la faptul că datele de intrare sunt definite prin intermediul funcțiilor densitate de probabilitate. Al doilea obiectiv vizează calculul de optimizare ce folosește trei algoritmi metaeuristici pentru amplasarea și dimensionarea optimă a centralelor fotovoltaice.

Teza de doctorat este structurată în șase capitole, ce sunt astfel structurate și articulate, pentru a asigura tezei coerență, consistență și claritate. Lor li se adaugă o relevantă listă bibliografică, precum și anexe.

În primul capitol „Introducere” sunt prezentate principalele provocări ce au condus la apariția surselor regenerabile. Soluțiile de depășire a contextului actual ce includ găsirea unei alternative din perspectiva epuizării combustibililor fosili pe de o parte și stoparea evoluției schimbărilor climatice pe de altă parte, precum și implementarea conceptului de rețele inteligente, conduc către un proces gradual de creștere al surselor regenerabile de energie.

Capitolul doi „Surse regenerabile de energie” are ca scop descrierea surselor nefosile de energie, în special pe cele cu ponderea de integrare cea mai mare la nivel global și național, centralele electrice eoliene și fotovoltaice. Sunt prezentate principalele tipuri de generatoare eoliene, precum și de panouri fotovoltaice. Sunt analizate aspecte privind racordarea surselor de energie regenerabile la rețeaua electrică de distribuție, dar și a impactului acestor surse nefosile de energie. De asemenea, este prezentată partea tehnică a reglementărilor și modul de operare, respectiv de funcționare a centralelor electrice eoliene și fotovoltaice pentru diferite strategii de reglaj.

Directiva ce are la bază programul „Energie curată pentru toți europenii” își propune un nou obiectiv principal ce urmează a fi implementat până în anul 2030. Scopul este ca SRE să atingă o pondere de 32% din consumul final de energie electrică.

În capitolul trei, intitulat „Analiza impactului centralelor electrice eoliene și fotovoltaice asupra regimului permanent de funcționare” este descris calculul regimului permanent de funcționare al unei rețele electrice, folosind metoda Newton-Raphson. Prima parte abordează calculul determinist al regimului de funcționare ce are la bază faptul că parametrii de intrare necesari rezolvării problemei sunt considerați a avea o valoare fixă pentru fiecare regim de lucru. A fost realizat un studiu asupra unei rețele electrice de distribuție ce vizează funcționarea pe care o au două surse regenerabile de energie asupra încărcării liniilor, nivelului de tensiune și pierderilor de putere activă. O diagramă privind succesiunea etapelor parcurse de algoritmul de calcul utilizat în cadrul studiului este prezentat în figura 1.

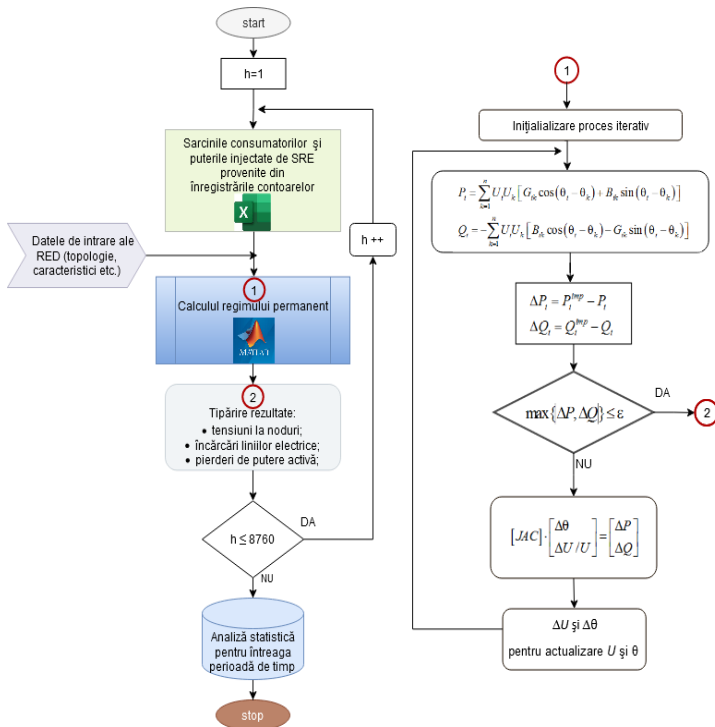


Fig. 1. Principiul de calcul al regimului permanent de funcționare pentru un an calendaristic.

În a doua parte, este prezentat calculul probabilistic al regimului permanent prin care sarcinile electrice, respectiv sursele regenerabile de energie, se vor modela utilizând funcțiile densitate de probabilitate. În final, sunt descrise modificările ce intervin prin integrarea modelelor probabilistice în algoritmul de calcul dezvoltat în Matlab pentru analiza regimului de funcționare.

Modelele statistice utilizate pentru consumatori, sistemul eolian și fotovoltaic, sunt definite utilizând funcțiile densitate de probabilitate. Simulările Monte Carlo generează artificial valori ale unei distribuții de probabilitate utilizând în cadrul unei simulări un set independent de variabile aleatoare.

Figura 2 ilustrează etapele parcurse de algoritmul de calcul probabilistic al regimului permanent folosit.

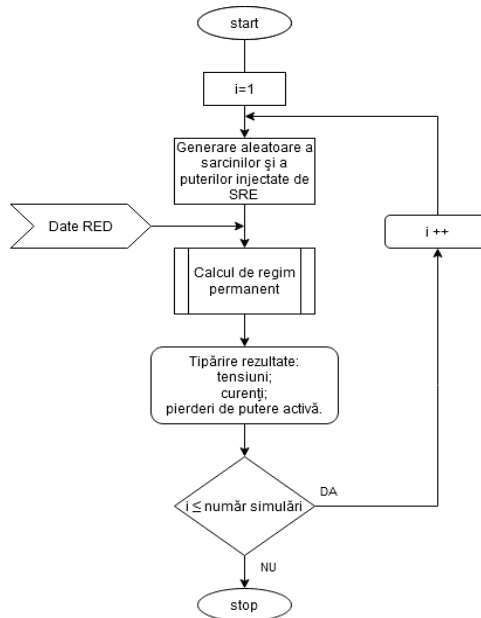


Fig. 2. Structura de parcurgere a algoritmului de calcul.

Secvența generală utilizată pentru a obține variabile aleatoare constă din [77]:

- Pasul 1. Citirea și aranjarea datelor de intrare;
- Pasul 2. Calcularea funcției densitate de probabilitate utilizând principiul verosimilității maxime;
- Pasul 3. Extragerea parametrilor specifici corespunzătorii funcției studiate;
- Pasul 4. Generarea variabilelor aleatoare.

Algoritmii descriși sunt aplicați pe o rețea de distribuție de medie tensiune Test 1– 20 kV, ce este specifică pentru o zonă de suburbie din București. Aceasta alimentează 10 consumatori prin 11 cabluri subterane și este ilustrată în figura 3.

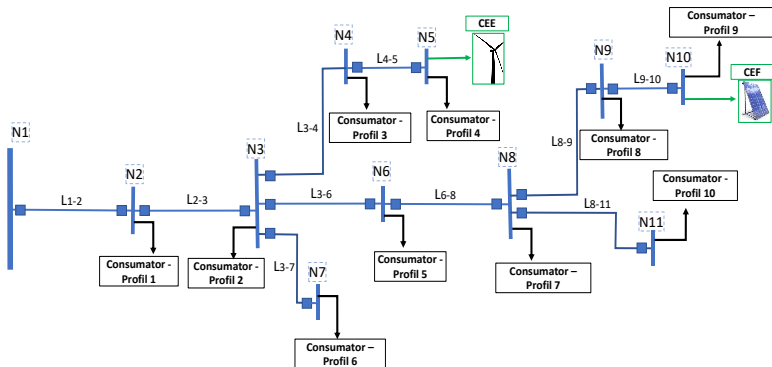


Fig. 3. Rețeaua de distribuție radială Test 1– 20 kV.

Capitolul patru intitulat „Determinarea optimă a amplasării și a puterii centralelor electrice fotovoltaice utilizând algoritmi metaeuristici” prezintă modelul matematic ce a stat la baza realizării unui program de calcul de optimizare, ce utilizează un algoritm evolutiv (algoritm genetic) și doi algoritmi de inspirație biologică (algoritm de optimizare „lupul cenușiu” și algoritmul „prădătorilor marini”). Formularea problemei de optimizare are la bază determinarea optimă a nodului de racord a CEF din rețeaua electrică de distribuție, precum și a valorii puterii active maxime injectate, cu scopul de a minimiza pierderile de putere activă.

După „natura de inspirație” a algoritmilor metaeuristici aceștia se pot împărți în trei mari clase: evolutivi, de inspirație

biologică (inteligență colectivă) și determinați din legi ale fizicii. Algoritmii genetici (AG) reprezintă cea mai cunoscută metodă din prima clasă [84]. Aplicațiile AG se pot regăsi în probleme de optimizare specifice sistemelor energetice de la reducerea pierderilor de putere [90, 91], determinarea parametrilor celulelor și panourilor fotovoltaice [92] până la amplasări optime de dispozitive FACTS [95, 96].

Algoritmul de optimizare „lupul cenușiu” face parte din categoria algoritmilor bazați pe modelarea inteligenței colective și a fost dezvoltat de Mirjalili et al. în lucrarea [101]. Acesta a fost inspirat din comportamentul și tehnica de vânatoare a lupului cenușiu. Algoritmul este aplicat în probleme de optimizare pentru calculul de regim permanent ce include surse regenerabile de energie [102, 103] și stabilitate de tensiune [105].

Algoritmul „prădătorilor marini” face parte din categoria algoritmilor metaeuristici de inspirație colectivă și a fost dezvoltat de A. Faramarzi et al. în lucrarea [109]. Acesta a fost introdus în anul 2020 și este inspirat de strategiile de hrănire ale prădătorilor oceanici și de interacțiunile acestora cu prada. Sunt studii recente care folosesc algoritmul „prădătorilor marini” pentru estimarea cu acuratețe a parametrilor sau a structurii de amplasare a panourilor fotovoltaice [110, 111]. Studiile prezentate în [115, 116] se concentrează pe determinarea optimă a locației și a puterii unor sisteme fotovoltaice într-o rețea electrică de distribuție. O analiză a performanțelor privind rezultatele obținute de MPA și AG sunt prezentate în lucrarea [115] și GWO cu AG în lucrarea [116].

Capitolul cinci prezintă „Studiile de caz” și este împărțit în două subcapitole, în funcție de obiectivele analizate. În primul subcapitol se analizează calculul regimului permanent din două perspective (deterministă și probabilistică) și se prezintă o sinteză a rezultatelor obținute.

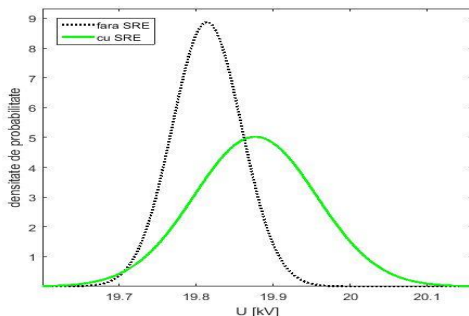
Tabelul 1 centralizează valorile maxime ale încărcării liniilor electrice [%] din rețeaua Test 1 – 20 kV pentru calculul probabilistic și determinist al regimului permanent. Calculul

determinist al regimului permanent are la bază faptul că datele de intrare provin din înregistrările contoarelor de energie (consumatori, injecție sistem eolian și solar) și sunt valori fixe pentru fiecare calcul de regim permanent. Pentru simulările realizate cu metoda Monte Carlo (8760 valori simulate), puterile active sunt generate aleator utilizând distribuția densitate de probabilitate Normală, viteza vântului utilizând distribuția Rayleigh și iradianța solară utilizând distribuția Beta.

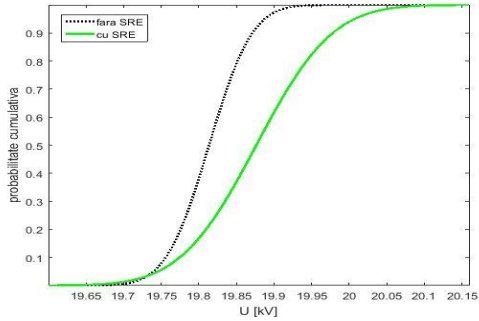
Tabelul 1. Valorile încărcărilor elementelor rețelei electrice Test 1 - 20 kV.

Linie	Calculul probabilistic al regimului permanent					Calculul determinist al regimului permanent
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	
L_{1-2}	80,2	81,5	81,0	81,5	82,8	80,0
L_{2-3}	74,5	78,6	77,5	78,2	76,6	76,0
L_{3-4}	25,2	27,9	27,2	25,0	25,8	24,9
L_{4-5}	23,1	25,1	24,0	23,3	23,8	22,7
L_{3-6}	55,1	55,3	58,6	55,5	55,1	55,6
L_{6-8}	54,3	53,5	57,3	54,1	53,9	54,8
L_{8-9}	49,9	49,6	52,7	51,0	50,0	51,4
L_{9-10}	46,0	46,0	46,0	45,9	46,0	46,0
L_{8-11}	5,9	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
L_{3-7}	7,5	7,4	7,4	7,5	7,4	7,2

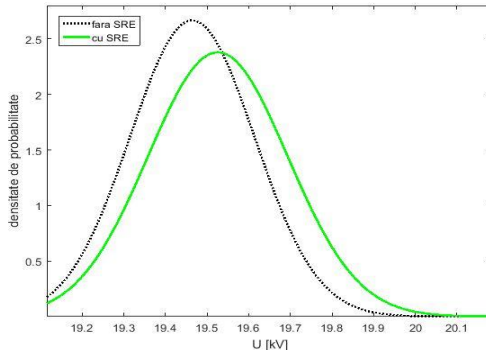
În figura 4 *a-d* sunt prezentate curbele de probabilitate cumulative și densitățile de probabilitate pentru tensiunile de la nodurile 5 și 10.



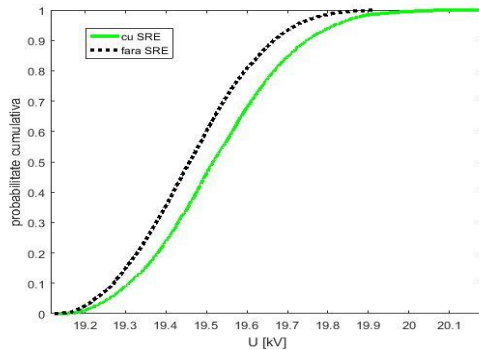
(a) Nodul 5 - densitate de probabilitate;



(b) Nodul 5 - probabilitate cumulativă;



(c) Nodul 10 - densitate de probabilitate;



(d) Nodul 10 - probabilitate cumulativă;

Fig. 4. Simulările obținute pentru valorile tensiunilor considerând cazul cu / fără SRE.

Cu linie punctată de culoare neagră este reprezentată tensiunea obținută din simulări utilizând metoda Monte Carlo pentru cazul fără SRE, iar cu linie de culoare verde, pentru cazul în care sunt conectate SRE.

În cel de-al doilea subcapitol, se analizează din punct de vedere optim amplasarea și puterea activă maximă injectată a unei / mai multor centralele electrice fotovoltaice cu scopul de a minimiza pierderile de putere activă, urmărind totodată respectarea limitelor admisibile pentru tensiunile nodale, a încărcărilor maxime ale liniilor electrice precum și convergența calculului de regim permanent. A fost realizată de asemenea, prezentarea unei comparații a rezultatelor obținute cu cei trei algoritmi metaeuristici.

Rezultatele prezentate în cel de-al doilea studiu de caz sunt aplicate pe o rețea de distribuție extrasă dintr-o rețea reală de 20 kV din România, pentru care sunt cunoscute topologia și caracteristicile acesteia. Rețeaua electrică de distribuție studiată, ce este ilustrată în figura 5, conține 25 de noduri și alimentează 24 de consumatori.

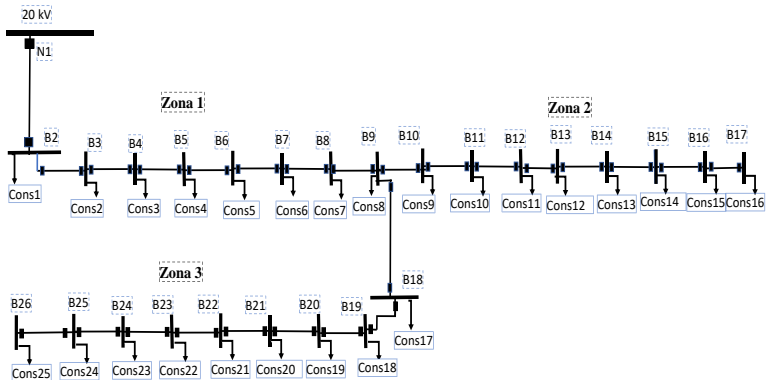


Fig. 5. Rețeaua de distribuție Test 2 - 20 kV.

Pentru primul caz analizat, puterea maximă injectată de sistemul fotovoltaic a fost stabilit la $P_{max} = 5$ MW. Valoarea a fost considerată având la bază dimensiunea și caracteristicile rețelei

electrice; o centrală electrică fotovoltaică de putere instalată mai mare este nefezabilă din punct de vedere economică.

Având în vedere că o CEF produce doar pe perioada zilei, pentru rezolvarea problemei de optimizare au fost considerate intervalele orare 10^{00} - 16^{00} . În acest fel amplasarea și dimensionarea optimă pentru CEF a fost determinată pentru 84 de scenarii diferite (12 luni x 7 intervale orare). Dintre cele 84 de soluții optime preliminare rezultate, cele mai răspândite sunt alese ca soluții candidate pentru pasul următor. Apoi, se efectuează calculul de regim permanent pentru o perioadă de un an pentru soluțiile candidate și se calculează pierderile medii anuale de putere activă. Soluția cu cele mai mici pierderi de putere activă este în final aleasă ca soluție optimă pentru amplasarea centralei electrice fotovoltaice.

Pentru problema de optimizare a fost considerat, pentru trei algoritmi, un număr total de 50 de indivizi pentru dimensiunea populației și 50 pentru numărul maxim de iterații.

În figura 6 este prezentată o comparație între pierderile medii anuale de putere activă folosind metoda de optimizare „lupul cenușiu” și algoritmul genetic. Se observă faptul că primul algoritm oferă o performanță mai mare, deoarece se obțin pierderi de putere activă mai mici în fiecare interval de timp.

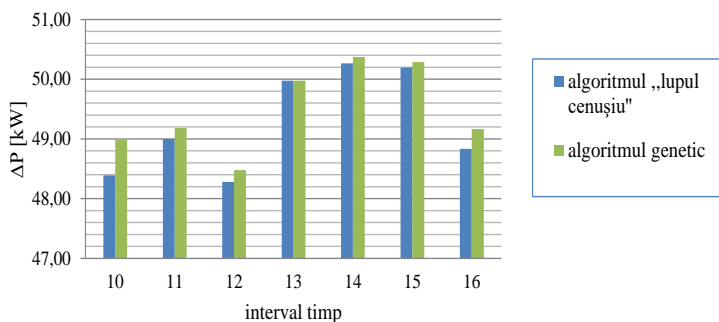


Fig. 6. Pierderile medii de putere activă pentru intervalele de timp analizate.

Dacă restricția de limită de 5 MW setată ca fiind puterea maximă injectată ar fi fost eliminată, funcția obiectiv ar fi fost minimă pentru o valoare de aproximativ 6,5 MW.

Pentru cel de-al doilea caz, au fost considerate trei sisteme fotovoltaice pentru care puterea maximă injectată este de $P_{max} = 3$ MW. De asemenea, a fost studiat cazul de amplasare optimă a trei SRE în întreaga rețea și cazul cu restricții de zonă (fiecare sistem fotovoltaic în câte o zonă).

În figura 7 este prezentată valoarea medie a funcției obiectiv, determinată de fiecare algoritm în toate cele 84 de simulări având în vedere restricția de zonă. Algoritmul „prădătorilor marini” a obținut rezultate mai bune comparativ cu ceilalți doi algoritmi.

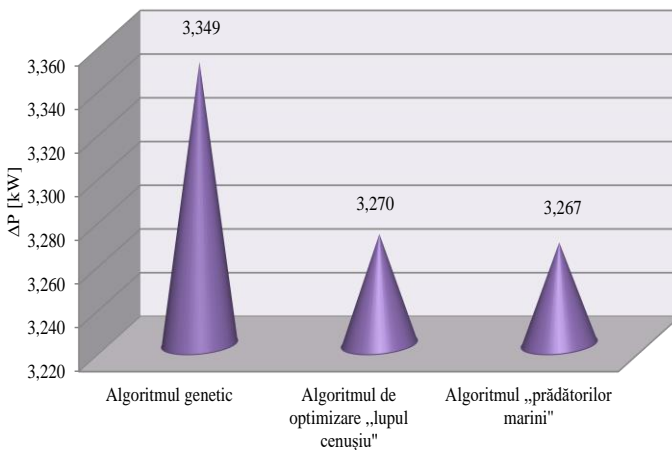


Fig. 7. Valorile pierderilor medii de putere activă considerând toată perioada de analiză pentru cei trei algoritmi metaeuristici.

Rezultatele furnizate de cei trei algoritmi sunt similare. Cu toate acestea, algoritmul „prădătorilor marini” s-a dovedit superior atât în ceea ce privește rezultatele privind amplasarea, cât și valoarea funcției obiectiv, deoarece acesta folosește o combinație eficientă între strategiile de căutare Lévy și cea Browniană. În figura 8 este ilustrată curba de convergență pentru intervalul de

timp corespunzător orei 16⁰⁰, pentru fiecare lună a anului. Programul dezvoltat ce folosește algoritmul „prădătorilor marin” prezintă o stabilizare a soluției optime pe durata ultimelor iterații.

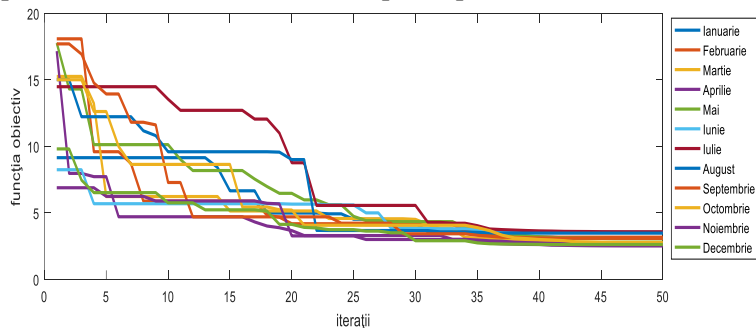


Fig. 8. Curbele de convergență pentru algoritmul „prădătorilor marin”.

În prima parte a capitolului șase intitulat „Concluzii finale și perspective” sunt expuse concluziile cu privire la tematica și obiectivele tezei de doctorat, iar în final sunt menționate contribuțiile personale și propunerile de continuare a cercetării.

Datorită caracterului aleator al producției acestor surse de energie nefosile și a sarcinilor, sunt de actualitate analizele de calcul ale regimurilor de funcționare pentru determinarea pierderilor de putere activă, încărcărilor maxime a liniilor electrice, precum și a tensiunilor maxime din noduri. De asemenea, determinarea optimă a amplasării / localizării și a puterii centralelor electrice fotovoltaice de putere mică, nedispecerizabile, într-o rețea electrică de distribuție oferă informații importante operatorilor de distribuție din perspectiva conducerii operative și optimizării funcționării acestora.

În contextul instalării în rețeaua electrică de distribuție a unui număr tot mai mare de surse regenerabile de energie, o atenție deosebită trebuie acordată analizelor de comportare în regim staționar și dinamic. De asemenea, trebuie dezvoltate și propuse instrumente de prognoză cât mai eficiente pentru acuratețea

notificărilor de producție ale centralelor electrice eoliene și fotovoltaice dispencerizabile.

Instrumentul cel mai eficient de evaluare a procesului de analiză a comportării rețelelor electrice este calculul de regim permanent. El reprezintă un obiectiv important de analiză, atât a planificării operative a funcționării acestuia, cât și în cazul studiilor de proiectare, respectiv de dezvoltare a rețelelor de distribuție și transport a energiei electrice. Având în vedere tendința masivă de integrare a surselor regenerabile din ultimele două decenii, există numeroase studii care analizează impactul acestora asupra calculului probabilistic de regim permanent. Studiile efectuate au la bază analiza influenței și determinării celei mai potrivite funcții pentru modelarea vântului, respectiv a iradianței solare. Estimarea variației vitezei vântului și a iradianței solare pentru realizarea prognozelor reprezintă un factor determinant în stabilirea acurateții metodelor, ce conduce la evaluarea energiei produse de către o instalație eoliană și fotovoltaică.

În cadrul tezei de doctorat s-a aplicat calculul probabilistic al regimului permanent utilizând metoda Monte Carlo. Această metodă este adecvată pentru reprezentarea tuturor aspectelor unui sistem de energie electrică care poate avea un impact asupra rețelei electrice cum ar fi: tensiunea în noduri, gradul de încărcare a liniilor electrice, pierderile de putere activă. Cu alte cuvinte, generarea de numere aleatoare utilizând metoda Monte Carlo conduce la o varietate de stări posibile. În urma realizării unui număr corespunzător de simulări (de ordinul miilor și zecilor de mii), devine posibilă estimarea mărimilor caracteristice nodurilor și laturilor.

Estimarea încărcării elementelor rețelei electrice dată de caracterul aleator al sarcinilor, respectiv al injecției de putere din surse regenerabile de energie, și urmată de măsuri practice pentru realizarea unor investiții, conduce la creșterea siguranței în

alimentarea utilizatorilor și la reducerea costurilor cu pierderile de putere activă.

Abordarea probabilistică prin care se simulează domeniul de variație al mărimilor de stare, corespunzător variației mărimilor de intrare, poate conduce la o rigurozitate crescută în obținerea rezultatelor. Aplicarea metodei Monte Carlo pentru calculul probabilistic al regimului permanent în care s-au modelat sarcinile electrice cu funcțiile densitate de probabilitate Normală și Weibull, viteza vântului utilizând funcțiile Rayleigh și Weibull, iar iradianța solară cu funcția densitate de probabilitate Beta, a condus la rezultate apropiate de realitate, comparativ cu abordarea deterministă în cadrul căreia valorile sunt fixe pentru fiecare regim de calcul.

Problematika amplasării și dimensionării optime a CEF a fost studiată cu trei algoritmi metaeuristici și oferă din punct de vedere tehnic perspective eficiente de îmbunătățire a funcționării, operării, dar și posibilității de dezvoltare ulterioară a rețelei electrice de distribuție. Atât algoritmul evolutiv, cât și cei de „inspirație biologică” studiați au oferit rezultate similare. Utilizarea algoritmului „prădătorilor marini” a condus la obținerea celei mai mici valori medii a funcției obiectiv implementată în cadrul programului Matlab. Pentru scenariile de amplasare și dimensionare au fost considerate una sau trei centrale electrice fotovoltaice racordate într-o rețea electrică de distribuție. Cele două scenarii studiate pentru calculul de optimizare au fost: o singură centrală fotovoltaică în întreaga rețea electrică și trei centrale fotovoltaice (cu amplasare pe trei zone și amplasare fără restricții de zonă).

Contribuțiile personale din cadrul tezei de doctorat pot fi grupate în două categorii, aplicațiile metodelor de calcul probabilistic ale regimului permanent de funcționare pentru o rețea electrică de distribuție în prezența CEE și CEF, respectiv stabilirea locației și dimensiunii optime a CEF, după cum urmează:

(i) Realizarea unui studiu documentar detaliat privind tipurile de generatoare eoliene, panouri fotovoltaice, precum și aspecte ce țin de racordarea surselor regenerabile de energie electrică la rețeaua electrică de distribuție;

(ii) Prezentarea unei sinteze asupra evoluției SRE la nivel global și european și influența crizei sanitare (Covid - 19) asupra ritmului de instalare a noilor capacități din ultimul an; au fost descrise aspecte privind principalele cerințe tehnice impuse centralelor electrice eoliene și fotovoltaice precum și modul de funcționare pentru anumite strategii de reglaj;

(iii) Elaborarea unui studiu bibliografic privind aplicațiile și metodele de calcul probabilistic ale regimului permanent, utilizarea metodei Monte Carlo și a funcțiilor densitate de probabilitate;

(iv) Determinarea amplasării și dimensionarea optimă a CEF folosind algoritmi metaeuristici „lupul cenușiu” și „prădătorii marini”, respectiv algoritmul genetic;

(v) Dezvoltarea unor programe de calcul pentru:

- realizarea unui studiu de caz pentru analiza statistică a funcționării pentru un an calendaristic a unei rețele electrice de distribuție cu / fără surse regenerabile de energie. Acesta permite conectarea consumatorilor și a două SRE în oricare dintre nodurile rețelei electrice de distribuție studiate.

- analiza principalelor mărimi de stare ale unei rețele electrice studiate pentru calculul regimului permanent într-o manieră deterministă și probabilistică.

- au fost implementate și studiate modele ale funcțiilor densitate de probabilitate pentru puterile active consumate (Normală, Log - Normală, Weibull, Rayleigh, Gamma), viteza vântului (Normală, Log - Normală, Weibull, Rayleigh, Gamma) și iradianța solară (Normală, Log - Normală, Weibull, Beta, Gamma). Acestea reprezintă partea de obținere aleatoare a datelor de intrare. Generarea variabilelor aleatoare continue constituie

elementul principal pentru calculul probabilistic al regimului permanent;

- pentru calculul de optimizare s-a utilizat un algoritm evolutiv (algoritmul genetic) și doi algoritmi de inspirație biologică („lupul cenușiu” și „prădătorii marini”). Scopul a fost de a obține pierderi medii minime de putere activă cu condiția respectării limitelor admisibile pentru tensiunile nodale precum și a încărcărilor maxime ale liniilor electrice. Pentru îndeplinirea acestui obiectiv s-au studiat determinarea optimă a locului de amplasare și a puterii centralelor electrice fotovoltaice într-o rețea electrică de distribuție.

(vi) Valorificarea și diseminarea cercetărilor prin participarea și publicarea de lucrări în cadrul unor conferințe naționale și internaționale: International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj - Napoca, 15 - 17 Iunie 2021; International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, 27 - 29 Mai 2021; International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), București, 5 - 7 Noiembrie 2020; CIGRE Regional South - Est European Conference (RSEEC), București, 12 - 14 Octombrie 2020; International Conference on Energy and Environment, Energy Saved today is asset for future (CIEM), București, 19 - 20 Octombrie 2017; International Conference on Energy and Environment, Clean and Safe Power, Iași, 22 - 23 Octombrie 2015; Scientific Bulletin of the University Politehnica of Bucharest, Seria C, Vol. 83, Nr.1, 2021.

În vederea cercetărilor științifice ulterioare, studiile prezentate în cadrul tezei de doctorat pot fi continuate avându-se în vedere următoarele aspecte:

- metode de alegere a zonelor de secționare pentru rețelele electrice de distribuție urbane cu configurație buclată ce au racordate surse regenerabile de energie și evaluarea la nivel global a pierderilor de energie;

- realizarea calculului probabilistic al regimului permanent pentru rețelele electrice de joasă tensiune ce au cunoscute datele pentru toate elementele acestora (profile de sarcină, topologie etc.) în vederea estimării consumului propriu tehnologic;
- analiza mai multor funcții densitate de probabilitate pentru modelarea sarcinii;
- realizarea unei strategii de găsimă a funcției care modelează cel mai bine profilul de sarcină și implementarea funcțiilor densitate de probabilitate specifice consumatorului din nodul de racord, în cadrul programului de regim permanent;
- posibilitatea implementării în calculele probabilistice ce realizează prognoze de consum a unei baze de date care să conțină principalii parametri ai unei funcții statistice cu domeniul de variație al acestora;
- amplasarea optimă a surselor regenerabile folosind și alte funcții obiectiv.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_ro.
- [2] Smart Grids European Technology Platform - *SmartGrids — Vision and Strategy for European Union*, 2006.
- [3] M. Eremia, L. Toma, C. Bulac, I. Triștiu - *Smart Power Networks, Tutorial în cadrul FOREN*, Neptun, 2008.
- [4] M. Eremia et al. - *Către o nouă eră a electricității prin Smart Grids*, Tutorial în cadrul SIE, Galați, 2012.
- [5] M. Aien, M. G. Khajeh, M. Rashidinejad, M. Fortuhi - Firuzabad – *Probabilistic power flow of correlated hybrid wind - photovoltaic power systems*, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 5, Nr. 1, 2016.

[6] M. H. Ahmed, K. Bhattacharya, Magdy M. A. Salama – *Probabilistic distribution load flow with different wind turbine models*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, Nr. 2, 2013.

[7] J. E. Anandraj – *Point estimate method of load flow for distribution network with photovoltaic generators*, International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, India, 10-12 Aprilie 2013.

[8] **C. Ghinea**, L. Toma, M. Eremia, I. Triștiu, D. O. Sidea - *Probabilistic load flow using Monte Carlo simulation for a distribution electric network including wind farm*, CIGRE Regional South-East European Conference - RSEEC 2020 (5th edition), Universitatea Politehnica din București, București, 12-14 Octombrie 2020.

[9] Tractebel Engineering S.A. - *Studiu de adecvanță a SEN pe termen mediu și lung. Determinarea capacității și structurii de producție necesare - versiunea consolidată*, Adecvanță SEN 2020 - 2025, 2018.

[45] **C. Ghinea**, M. Eremia, L. Toma - *Power system security of the power flow computation on distribution electric network using renewable energy sources*, Universitatea Politehnica din București - Buletinul Științific, Seria C, Vol. 83, Nr. 1, 2021.

[60] T. Cui, F. Frachetti - *A quasi - Monte Carlo approach for radial distribution system probabilistic load flow*, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), 2013.

[66] I. Triștiu, **C. Ghinea**, C. Bulac, Sorina Costinaș - *Load curves modelling using algebraic polynomials*, 2017 International Conference on Energy and Environment, Energy Saved today is asset for future (CIEM), București, România, 19 - 20 Octombrie 2017.

[68] D. H. O. McQueen, P. R. Hylan, S. J. Watson - *Monte Carlo Simulation of residential electricity demand for forecasting*

maximum demand on distribution networks, IEEE Transactions on Power System, Vol. 19, Nr. 3, August 2004.

[71] **C. Ghinea**, I. Triștiu, M. Eremia - *Application of Monte Carlo method in modeling wind speed distributions for evaluating the energy delivered*, International Conference on Energy and environment, Clean and safe power, Iași, România, 22 - 23 Octombrie 2015.

[77] **C. Ghinea**, L. Toma, D. O. Sidea, M. Eremia - *Probabilistic load flow in renewable - dominated distribution electric networks*, International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE) 2020, București, România, 5 - 7 Noiembrie 2020.

[84] Xin-She Yanh - *Nature - Inspired Optimization Algorithms*, Elsevier, 2014.

[90] Ioana Pisica, C. Bulac, M. Eremia - *Optimal Distributed Generation Location and Sizing Using Genetic Algorithms*, 2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, Curitiba, Brazilia, 8 - 12 Noiembrie 2009.

[91] O. Penangsang, D. F. Uman Putra, T. Kurniawan - *Optimal placement and sizing of distributed generation in radial distribution system using K-means clustering method*, 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonezia, 8 - 29 August 2017.

[92] D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, A. Cataron - *Using the genetic algorithm to determine the parameters of photovoltaic cells and panels*, 2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), Timișoara, România, 8 - 9 Noiembrie 2018.

[95] A. T. Bamigbade, P. O. Oluse - *Optimal Placement of Single and Multiple FACTS Controllers Using Genetic Algorithm*, 2020 IEEE PES/IAS Power Africa, Nairobi, Kenya, 25 - 28 August 2020.

- [96] A. N. Zeinohm - *Optimal sizing and allocation of Unified Power Flow Controller (UPFC) for enhancement of Saudi Arabian interconnected grid using Genetic Algorithm (GA)*, 2016 Saudi Arabia Smart Grid (SASG), Jeddah, Arabia Saudită, 6 - 8 Decembrie 2016.
- [101] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis - *Grey Wolf Optimizer*, Advances in Engineering Software, Vol. 69, 2014.
- [102] M. Fouad, A. Haggag, E. Beshr, M. B. Eteiba - *Minimizing Power Loss in Distribution System by Optimal Sizing and Sitting of Distributed Generators with Network Reconfiguration using Grey Wolf and Particle Swarm Optimizers*, 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, Italia, 12 – 15 Iunie 2018.
- [103] B. Ahmadi, O. Ceylan, A. Özdemir - *Grey Wolf Optimizer for allocation and sizing of distributed renewable generation*, 2019, 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), București, România, 3 - 6 Septembrie 2019.
- [105] D. P. Ladumor, I. N. Trivedi; R.H. Bhesdadiya, P. Jangir - *A Grey Wolf Optimizer Algorithm for Voltage Stability Enhancement*, 2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), Chennai, India, 27 - 28 Februarie 2017.
- [109] A. Faramarzi, M. Heidarinejad, S. Mirjalili, A.H. Gandomi - *Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic*, Expert Systems with Applications 152, An International Journal, Elsevier 2020.
- [110] M. Abdel - Basset, D. El-Shahat, R. K. - Chakraborty, M. Ryan - *Parameter estimation of photovoltaic models using an improved Marine Predators Algorithm*, Energy Conversion and Management, Vol. 227, Ianuarie 2021.

[111] Dalia Yousri, T. S. Babu, Eman Beshr, M. B. Eteiba, Dalia Allam - *A Robust Strategy Based on Marine Predators Algorithm for Large Scale Photovoltaic Array Reconfiguration to Mitigate the Partial Shading Effect on the Performance of PV System*, IEEE Access (Vol. 8), Iunie 2020.

[115] **C. Ghinea**, M. Eremia, D. O. Sidea, L. Toma - *Optimal location of a PV system using Grey Wolf Optimizer and operation analysis*, acceptată la International Conference of Modern Power system (MPS), Cluj – Napoca, România, 15 – 17 Iunie 2021.

[116] **C. Ghinea**, D. O. Sidea, M. Eremia, L. Toma - *Optimal location and sizing of multiple PV systems in a distribution network using Marine Predators Algorithm*, International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, România, 27 – 29 Mai 2021.