

UNIVERSITATEA „POLITEHINCA” TIMIȘOARA
Facultatea de ELECTROTEHNICĂ
Catedra de ELECTROENERGETICĂ

ing. Ioan BORLEA

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND DIAGNOZA
REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE A
SISTEMELOR ELECTRICE DE PUTERE**

Conducător științific: Prof. dr. ing. Viorel NEGRU



649.053
369 Δ

TIMIȘOARA 2003

CUPRINS

Prefață	1
Capitolul 1. Introducere	4
1.1. Ce este diagnoza ?	5
1.2. Diagnoza în sistemele electrice de putere	6
1.2.1. Clasificarea diagnozelor regimurilor SEP	6
1.2.2. Cum se realizează diagnoza regimurilor SEP ?	7
1.2.3. Ce trebuie reprezentat pentru diagnoza regimurilor SEP ?	7
1.2.4. Ce date sunt disponibile ?	7
1.2.5. Diagnoza SEP la nivel global	7
1.2.6. Nivelul regional de diagnoză	8
1.3. Aplicarea inteligenței artificiale la diagnoza regimurilor SEP	8
1.4. Regimurile SEP – clasificare	9
Capitolul 2. Analiza critică a rezolvării problemei diagnozei pentru SEP actuale ...	11
2.1. Chestiuni generale	11
2.2. Diagnoza tensiunii în nodurile SEP	12
2.2.1. Controlul tensiunii și a circulației de putere reactivă	12
a. Fenomene de instabilitate a tensiunii în nodurile SEE	12
b. Măsuri de prevenire a colapsului tensiunii	13
c. Sisteme de control a tensiunii și puterii reactive	13
d. Model de sistem de control a tensiunii și a puterii reactive	13
e. Dificultăți în sistemele actuale de control a tensiunii și puterii reactive	14
f. Concluzii	14
2.2.2. Metode de analiză a stabilității tensiunii în nodurile SEP	15
a. Metodă de analiză a stabilității tensiunii într-un SEP bazată pe analiza matricei Jacobian.	15
b. Indicator de stabilitate a tensiunii în noduri	16
c. Metodă bazată pe arbore de sensibilitate	17
d. Metodă bazată pe conceptul de “cale reactivă”	18
2.3. Concluzii critice	20
Capitolul 3. Aspecte teoretice ale diagnozei SEP	21
3.1. Introducere	21
3.2. Teoria de diagnoză a lui Reiter	23
3.2.1. Definiții de bază	24
3.2.2. Calculul diagnozei	25
3.3. Extinderea teoriei de diagnoză a lui Reiter	26
3.4. Determinarea mulțimii țintă minime	27

Capitolul 4. Indicatori fuzzy de apreciere a regimurilor permanente ale SEP	33
4.1 Aspecte teoretice referitoare la mulțimile fuzzy	33
4.1.1. Considerații generale	33
4.1.2. Definiția mulțimilor fuzzy	33
4.1.3. Operații cu mulțimi fuzzy	36
4.1.4. Fuzificare și defuzificare	37
4.1.5. Raționamentul fuzzy	38
4.2. Determinarea mărimilor de referință folosite la diagnoză	40
4.2.1. Stabilirea regimurilor de bază.....	40
4.2.2. Stabilirea mărimilor electrice cvasi-optime pentru un regim oarecare ...	42
4.3. Indicatori fuzzy pentru diagnoza tensiunii în nodurile SEP.....	46
4.3.1. Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii	46
4.3.2. Modelul cu 5 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii	47
4.4. Indicatori fuzzy pentru diagnoza puterilor active și reactive generate.....	51
4.5. Indicatori fuzzy pentru aprecierea regimului de funcționare a transformatoarelor și autotransformatoarelor	59
4.5.1. Funcționarea transformatoarelor după criteriul pierderilor active minime.....	59
4.5.2. Diagnoza funcționării transformatoarelor și autotransformatoarelor.....	61
4.6. Indicatori fuzzy pentru aprecierea regimului de funcționare a liniilor electrice transport a energiei electrice	63
4.6.1. Stabilirea valorilor limită referitoare la liniile electrice de transport	63
a. Puterea naturală	64
b. Limita de stabilitate a tensiunii	64
c. Limita stabilității statice	65
d. Limita termică	66
4.6.2. Diagnoza regimului de funcționare al LEA.....	67
4.6.3. Diagnoza regimului de funcționare al LES	69
4.7. Indicatori globali fuzzy de apreciere a regimurilor permanente ale SEP.....	71
 Capitolul 5. Aplicarea indicatorilor fuzzy la diagnoza regimurilor permanente ale SEP	73
5.1. Aspecte generale ale metodologiei de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP	73
5.2. Metodologia de diagnoză a tensiunii și puterii active generate	73
5.2.1. Metodă euristică pentru determinarea zonelor de influență a regulateleor de tensiune.....	74
5.2.2. Testarea metodei de determinare a zonelor de influență	76
5.2.3. Determinarea măsurilor pentru reglarea tensiunii și a puterii active generate în scopul îmbunătățirii regimului analizat.....	86
5.3. Diagnoza puterii reactive generate	92
5.4. Diagnoza circulațiilor pe laturile SEP	93
5.5. Diagnoza regimului permanent al SEP	93
5.6. Exemplu de calcul a diagnozei pentru sistemul test cu 25 de noduri.....	94
5.6.1. Diagnoza unui regim de sarcină ridicată	94
5.6.2. Diagnoza unui regim de sarcină scăzută.....	97

Capitolul 6. Sistem expert pentru diagnoza regimurilor permanente ale SEP	101
6.1. Arhitectura generală a unui Sistem Expert	101
6.1.1. Definiții ale SE.....	101
6.1.2. Avantaje ale utilizării SE.....	101
6.1.3. Necesitatea utilizării SE în domeniul SEP	102
6.1.4. Caracteristici ale SE	102
6.1.5. Arhitectura generală a unui SE.....	103
6.1.6. Reprezentarea cunoștințelor	104
6.2 Sistemul Expert pentru diagnoza regimurilor permanente ale SEP.....	105
6.2.1. Baza de date	105
6.2.2. Baza de cunoștințe.....	106
6.2.3. Interfața utilizator a SE	107
6.2.4. Prezentarea rezultatelor diagnozei	108
6.2.5. Reguli de diagnoză.....	113
Capitolul 7. Aplicarea SSDES la diagnoza regimurilor sistemelor test cu 25 și 50 de noduri.....	123
7.1. Diagnoza regimurilor normale pentru sistemul test cu 25 de noduri	123
7.1.1. Prezentarea regimurilor optimizate	123
7.1.2. Rezultatele diagnozei regimurilor optimizate obținută cu SSDES.....	127
7.1.3. Rezultatele diagnozei regimurilor inițiale, neoptimizate, obținută cu SSDES.....	130
7.2. Diagnoza regimurilor normale ale sistemului test cu 50 de noduri.....	132
7.2.1. Stabilirea regimurilor de bază	132
7.2.2. Diagnoza unui regimului cu sarcină ridicată.....	135
7.2.3. Diagnoza unui regimului cu sarcină ridicată	140
Capitolul 8. Concluzii și contribuții personale	145
Bibliografie	151
Anexa 1. Mărimi caracteristice liniilor electrice aeriene	A1/1-1
Anexa 2. Sistemul test cu 25 de noduri – regimurile de bază	A2/1-8
Anexa 3a. Sistemul test cu 25 de noduri –regim cu sarcină ridicată.....	A3a/1-3
Anexa 3b. Sistemul test cu 25 de noduri –regim cu sarcină scăzută.....	A3b/1-3
Anexa 4. Sistemul test cu 50 de noduri – regimurile de bază	A4/1-13
Anexa 4a. Sistemul test cu 50 de noduri – regim cu sarcină ridicată.....	A5a/1-5
Anexa 4a. Sistemul test cu 50 de noduri – regim cu sarcină scăzută.....	A5a/1-5
Anexa 6. Alte reguli pentru diagnoză.....	A6/1-11

Prefață

În domeniul Sistemelor Electrice de Putere (SEP), una dintre cele mai captivante și profitabile direcții de cercetare din ultimii ani o constituie aplicarea metodelor Inteligenței Artificiale la monitorizarea, controlul și diagnoza SEP. Se constată apariția unei multitudini de lucrări în cele mai importante reviste de specialitate și la cele mai prestigioase simpozioane, din străinătate și din România, unde sunt prezentate rezultatele obținute până acum.

Tendențele actuale în domeniul conducerii SEP impun realizarea de instrumente noi, eficiente, pentru luarea deciziilor de conducere a sistemului. Astfel se urmărește utilizarea cât mai intensă a calculatorului la prelucrarea datelor furnizate de sistemul de comandă control și achiziție de date (SCADA) și realizarea unor sisteme inteligente de control și conducere a SEP. Se impune luarea deciziilor într-un timp cât mai scurt și utilizarea unor tehnici care să permită prelucrarea informațiilor în timp real, sub forma unor programe asistent care să furnizeze dispecerilor, în cadrul unui dialog cât mai apropiat de comunicarea umană, sinteza informațiilor obținute pe calea unor raționamente foarte asemănătoare cu cele umane.

Folosirea pe scară largă a SCADA pentru conducerea și supravegherea SEP a mărit substanțial volumul de date disponibile dispecerilor energetici. În aceste condiții se resimte nevoia prelucrării informației brute care sufocă operatorii, transformând-o în atenționări, alarme, recomandări etc., prezentate într-o formă accesibilă intelectului uman. Astfel au apărut primele realizări de sisteme expert (SE) care să asiste activitatea dispecerilor energetici.

Marile companii de transport și de distribuție a energiei electrice, dispun deja în centrele de comandă de o primă generație de SE care desigur, va cunoaște în viitor îmbunătățiri esențiale.

Această lucrare, prezintă la început conceptele teoretice care stau la baza diagnozei unui sistem tehnic oarecare. Sunt enunțate noțiunile fundamentale legate de construirea unui SE pentru diagnoza regimurilor permanente normale ale SEP. Pe baza acestora, se dezvoltă un SE, cu numele SSDES, destinat diagnozei regimurilor permanente normale ale SEP, realizat în limbajul de programare declarativă PROLOG. În scopul validării și analizei performanțelor SSDES, acesta este aplicat la diagnoza regimurilor permanente normale a două sisteme test cu 25 de noduri și respectiv 50 de noduri, sisteme test dezvoltate la Catedra de Electroenergetică din cadrul Facultății de Electrotehnică a Universității „Politehnica” Timișoara.

La diagnoza regimurilor permanente s-au tratat următoarele probleme:

- diagnoza tensiunii din nodurile sistemului;
- diagnoza puterilor active și reactive generate;
- diagnoza circulațiilor de putere aparentă pe laturile sistemului.

Pentru aprecierea regimurilor sunt introduși indicatori pentru tensiuni, puteri active și reactive generate, puteri de circulație pe laturi și indicatori globali pe grupe de elemente de sistem și pentru regimul în ansamblu. De asemenea în cadrul diagnozei unui regim permanent, sunt identificate măsurile de reparare a tensiunilor și puterilor active generate în scopul creșterii performanțelor regimului.

Lucrarea de față este dezvoltată pe 8 capitole după cum urmează.

În Capitolul 1 se prezintă diagnoza ca metodă de analiză și investigație folosită în diferite domenii ale științei și tehnicii, cu aplicabilitate în domeniul regimurilor de funcționare

a SEP. Se precizează datele de care se dispune, datele care sunt necesare și de asemenea metoda de diagnoză a regimurilor SEP aplicată de expertul uman.

În Capitolul 2 se prezintă o apreciere critică a metodelor de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP întâlnite în prezent în literatura de specialitate. Se urmărește evoluția tehnicilor de IA și modul cum acestea pot fi aplicate la diagnoza SEP.

Capitolul 3 cuprinde baza teoretică a diagnozei unui sistem oarecare. Se introduce teoria diagnozei dezvoltată de Reiter și modul de aplicare al acesteia pentru cazul diagnozei bazate pe model (model based diagnoses). În continuare se prezintă extinderea diagnozei lui Reiter după Struss și Heller pentru sisteme în care trebuie luat în considerare și modul de comportare în funcționare al elementelor componente ale sistemului, pentru a determina cauzele funcționării nepotrivite a sistemului ca întreg. Algoritmii de determinare a mulțimii de diagnoză se bazează pe teorema care asociază diagnoza cu determinarea mulțimii țintă minime pentru mulțimile de conflicte. Mulțimile de conflicte se determină pe baza simptomelor observate asupra sistemului.

Capitolul 4 introduce câțiva indicatori fuzzy (vagi) pentru regimul staționar de funcționare al SEP care vor fi apoi folosiți la diagnoză. Indicatorii fuzzy se stabilesc pe baza valorilor mărimilor electrice calculate pentru regimul cvasi-optim. Regimul cvasi-optim este regimul îmbunătățit corespunzător regimului curent analizat și el se calculează pornind de la trei regimuri de bază optimizate după criteriul costului total orar minim, regimuri caracteristice sistemului respectiv. Se calculează indicatori pentru mărimile electrice din nodurile sistemului: tensiune, puteri active și reactive generate și pentru puterea aparentă de circulație pe laturile sistemului. Pe baza indicatorilor individuali ai elementelor componente ale sistemului, noduri și laturi, se calculează indicatorii globali ai regimului.

Capitolul 5 descrie metoda de diagnoză a regimurilor staționare ale SEP, dezvoltată ca aplicație a diagnozei bazate pe model folosind indicatorii fuzzy de regim determinați în capitolul 4. Diagnoza se finalizează cu determinarea mulțimilor elementelor de reglaj, pentru tensiune și putere active generată, care trebuie să intervină pentru aducerea regimului curent cât mai aproape de regimul cvasi-optim corespunzător lui.

În Capitolul 6 sunt prezentate avantajele folosirii SE pentru conducerea operativă a SEP și modul de implementare a metodei de diagnoză într-un SE. S-a construit un SE, cu numele Steady State Diagnosis Expert System – SSDES – care implementează metoda de diagnoză bazată pe model. SE este realizat în limbajul de programare declarativă PROLOG. Bază de date folosită cuprinde datele oferite de sistemul SCADA (tensiuni, puteri injectate și de circulație) care sunt apoi corectate de programul estimator ESTIM. În lucrare s-a preluat baza de date oferită de programul CNW, program de calcul a circulației de puteri în SEP. Pe lângă regulile de diagnoză, baza de cunoștințe cuprinde și valorile tensiunilor din noduri, a puterilor active generate, pentru sistemul supus diagnozei, în cazul celor trei regimuri de bază folosite pentru definirea mulțimilor de valori cavsi-optime. Rezultatele diagnozei se prezintă sub formă de: indicatori globali fuzzy pentru categorii de mărimi electrice, liste de mărimi electrice care sunt identificate ca nepotrivite pentru funcționarea dorită a sistemului și liste de măsuri care trebuie luate pentru corectarea regimului curent al sistemului.

Capitolului 7 cuprinde validarea metodei de diagnoză prin aplicarea SE pentru regimuri staționare optimizate ale sistemului test cu 25 de noduri și de asemenea cuprinde aplicații ale diagnozei pentru regimuri staționare ale sistemului test cu 50 de noduri. Programele de calcul a circulațiilor de puteri – CNW – și programul de estimare a stării sistemului electroenergetic – ESTIM – sunt realizate la Catedra de Electroenergetică de la Universitatea “Politehnica” Timișoara de către prof.dr.ing. Bucur Luștea și șef.lucr.ing. Ioan Borlea.

Ultimul capitol cuprinde concluziile generale și contribuțiile originale datorate autorului.

Bibliografia care a stat la baza întocmirii acestei lucrări cuprinde 105 titluri din care 38 cărți românești și străine și 67 de articole. În cea mai mare parte, articolele folosite au apărut în reviste prestigioase: IEEE Transaction on Power System, IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics, Artificial Intelligence, Electra, Energetica etc. De asemenea au fost consultate articole publicate în conferințe internaționale din țară sau străinătate. În cadrul listei bibliografice se găsesc 8 lucrări având ca autor sau coautor pe doctorand.

Anexele cuprind date și scheme pentru regimurile sistemului test cu 25 de noduri și 29 de laturi și sistemului test cu 50 de noduri și 64 de laturi. De asemenea în prima anexă sunt date referitoare la linii electrice aeriene.

Această lucrare constituie materializarea cercetărilor efectuate de-a lungul mai multor ani sub îndrumarea conducătorului științific Prof.dr.ing. Viorel NEGRU căruia îi mulțumesc călduros pentru încrederea, încurajările și sprijinul acordat.

Totodată, aduc deosebite mulțumiri domnului Prof.dr.ing Bucur LUȘTREA pentru discuțiile utile și pline de conținut avute pe toată perioada întocmirii acestei lucrări precum și pentru atenția cu care a analizat materialul tezei de doctorat.

Doresc să mulțumesc de asemenea colegilor din cadrul Catedrei de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică Timișoara, pentru sprijinul acordat pe toată perioada de întocmire a tezei și pentru sugestiile și observațiile valoroase făcute.

Capitolul 1

INTRODUCERE

Sistemele Electrice de Putere referite și ca Sisteme Electroenergetice (SEE), aflate în continuă evoluție constructiv-funcțională, ridică probleme dificile în ceea ce privește exploatarea lor, probleme care trebuie rezolvate folosind tehnici de diagnoză și analiză din ce în ce mai performante. Factorii care au contribuit la creșterea gradului de dificultate a problemelor legate de exploatarea SEP sunt:

- Dezvoltarea SEP manifestată prin:
 - extinderea pe suprafețe geografice mari;
 - separarea sarcinilor de surse prin distanțe de sute sau chiar mii de kilometri;
 - mărirea puterilor vehiculate pe liniile electrice;
 - creșterea gradului de interconexiune.
- Tendințe de a folosi la maxim caracteristicile tehnice ale echipamentelor SEP în vederea creșterii eficienței economice.
- Sporirea exigenței față de siguranța în funcționare a SEP, micșorarea timpilor de nealimentare a consumatorilor și eficientizarea activității de exploatare a SEP.

În prezent, în domeniul conducerii SEP impun utilizarea unor instrumente noi, eficiente, pentru luarea deciziilor de conducere a sistemului [E1, E2, E3, E4, E5]. Astfel se urmărește utilizarea cât mai intensă a calculatorului și realizarea de sisteme automate de control și conducere a SEP. Sunt impuși timpi de luare a deciziilor cât mai scurți și tehnici care permit prelucrarea informațiilor în timp real (figura 1.1).

Având în vedere limitele metodelor clasice de diagnoză, la începutul deceniului 9 al secolului XX, efortul aplicat la analiza SEP a fost redirectionat de la modelarea formală matematică și analiza numerică la tehnicile mult mai flexibile ale inteligenței artificiale (IA). În prezent se utilizează tot mai mult metode noi care folosesc tehnici ale IA. Acestea conduc la o nouă abordare a problemelor SEP, permițând utilizarea cunoștințelor practice ale experților și operatorilor de sistem. Tehnicile IA aplicate în domeniul SEP sunt: sistemele expert, logica fuzzy, rețele neuronale artificiale și mai recent programare evolutivă.

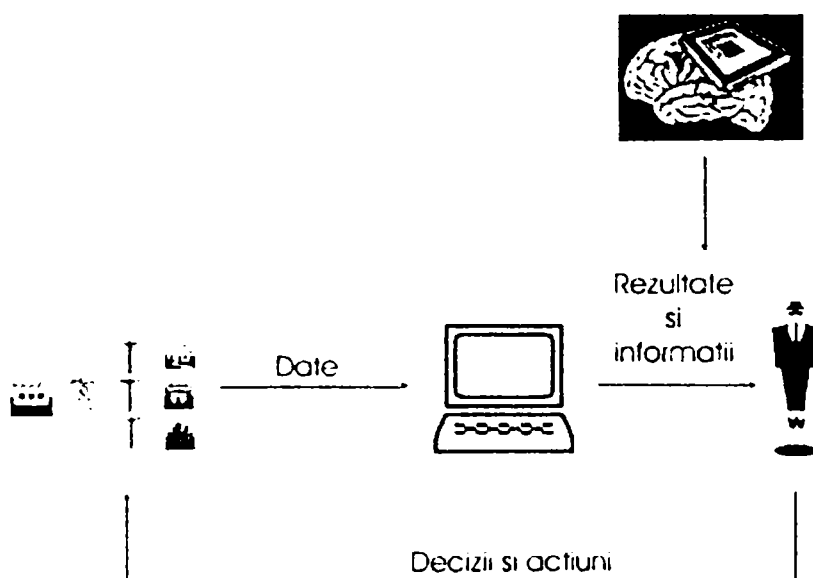


Figura 1.1 Conducerea operativă a unui SEP

Sistemele de control și achiziție de date (System Control and Data Acquisition – SCADA) folosite pentru conducerea și supravegherea SEP, în special în ultima decadă, a mărit substanțial volumul de date disponibile dispecerilor energetici. În aceste condiții se resimte nevoia existenței unui sistem care să prelucreze informația brută care sufocă operatorii de sistem, transformând-o în atenționări, alarme, recomandări etc., prezentate într-o formă accesibilă intelectului uman. Astfel au apărut primele realizări de SE care să asiste activitatea dispecerilor energetici [E1, E2, E3, E4].

Dezvoltarea unui SE este condiționată în principal de doi factori: progresele realizate în domeniul IA și de transpunerea într-o bază de cunoștințe a experienței acumulate în domeniul concret de activitate pentru care este destinat respectivul SE.

În prezent, marile companii de transport și de distribuție a energiei electrice, dispun deja în centrele de comandă de o primă generație de SE care desigur va cunoaște în viitor îmbunătățiri esențiale [F1, F2, G2, S4].

1.1. Ce este diagnoza ?

Diagnoza ca metodă de analiză și investigație este folosită în diferite domenii ale științei și tehnicii. De exemplu metoda diagnozei se utilizează în meteorologie și ea înseamnă “analiza situațiilor trecute și actuale cu ajutorul hărților sinoptice” [D1]; diagnoza apare și în medicină și înseamnă “determinarea precisă a bolilor de care suferă o persoană, pe baza datelor clinice și a analizelor de laborator”, sinonimul diagnozei fiind cuvântul diagnostic [D2]. În [D3] se află o altă definiție a diagnozei, de data aceasta aplicată în domeniul prognozei sociale: “diagnoza este o parte componentă a științei conducerii, premisă necesară prognozei sociale; ea constă în identificarea unei stări, a unui fenomen sau a unui sistem economico-social ori politic, pe baza unei analize științifice în vederea perfecționării lui”.

Din aceste definiții putem desprinde concluzia că diagnoza are două scopuri:

- identificarea stării unui sistem;
- identificarea măsurilor care duc la perfecționarea sau îmbunătățirea performanțelor lui.

Pentru realizarea diagnozei se folosesc diferite instrumente de investigație.

Analiza-diagnostic sau diagnoza este o acțiune care urmărește în principal măsurarea performanțelor sistemului analizat și identificarea pe aceasta bază a cauzelor care determină deficiențele de performanță, respectiv a celor mai eficiente măsuri de creștere a performanței.

Diagnoza se aplică atât în cazurile normale cât și în cazurile de dificultate.

Aplicarea diagnozei unui sistem tehnic, înseamnă identificarea stării sistemului și dacă este cu puțință identificarea măsurilor de îmbunătățire sau de readucere la normal a funcționării lui. Instrumentele de investigație sunt diverse și diferă de la un anumit domeniu al tehnicii la altul.

În general diagnoza unui sistem tehnic presupune următorii pași [E4, S1, T2, U11]:

- Se execută măsurători și observații asupra echipamentului sau fenomenului respectiv;
- Se aplică diverse metode de calcul asupra măsurătorilor;
- Se trag concluzii privitoare la starea sistemului comparând rezultatele calculului cu diferite valori prag dinainte stabilite;
- Se identifică simptomele care au adus sistemul în starea analizată;
- Se stabilesc măsurile de îmbunătățire a funcționării sistemului, dacă este cazul.

Există diagnoze globale și parțiale, diagnoze de lungă durată, complete și diagnoze de scurtă durată în care se renunță la unele explorări de detaliu [E4].

În funcție de simptomele urmărite (de parametri observați sau determinați), de scopul diagnozei și de timpul în care se desfășoară diagnoza, pot exista foarte multe metode de diagnosticare. Nu există un tip consacrat sau standard, există doar tipuri mai dezvoltate sau mai reduse.

1.2. Diagnoza în sistemele electrice de putere

Una dintre primele aplicații ale metodei diagnozei în domeniul SEP, este diagnoza avariilor [F1, F2, F3]. Aceasta constă în identificarea simptomelor care au produs funcționarea improprie a sistemului până la ieșirea din funcționare a unor elemente ale acestuia. Mai apoi au apărut aplicații pentru o serie întregă de probleme specifice SEP [E1, E3].

Diagnoza SEP se împarte în două categorii [E4]:

- diagnoza sistemului luat ca întreg adică a regimurilor de funcționare ale acestuia;
- diagnoza componentelor sistemului (diagnoza avariilor).

Diagnoza sistemului, sau diagnoza regimurilor de funcționare ale acestuia, se referă la determinarea și aprecierea stării sistemului după diferite criterii de performanță și la stabilirea măsurilor care să ducă la îmbunătățirea regimului, dacă este cazul.

Diagnoza echipamentelor componente ale sistemului, se referă la determinarea cauzelor apariției defectului și a locului acestuia. Dacă este posibil, diagnoza se va referii și la măsurile de reparare, de readucere la starea de normalitate. În cazul echipamentelor este necesară o cunoaștere detaliată a echipamentului respectiv (generatoare, transformatoare, linii electrice etc.) deci este necesar un model detaliat care nu se utilizează la diagnoza sistemului.

1.2.1. Clasificarea diagnozelor regimurilor SEP

Din punct de vedere a părții din sistem supusă diagnozei se pot deosebi:

- diagnoza unei stații electrice;
- diagnoza subsistemului de distribuție;
- diagnoza unei regiuni a sistemului (a unui subsistem);
- diagnoza întregului sistem.

Un alt criteriu după care se pot clasifica diagnozele este regimul de funcționare al sistemului considerat în analiză:

- diagnoza regimurilor staționare;
- diagnoza regimurilor perturbate.

După modul de desfășurare în timp pot fi:

- diagnoze executate în timp real (on - line);
- diagnoze executate în afara timpului real (off-line).

Diagnoza regimurilor staționare executată on-line se mai numește și monitorizare, caz în care se urmăresc diferite mărimi, se calculează indicatori pentru prevenirea situațiilor limită în funcționarea sistemului etc.

Diagnoza regimurilor perturbate executată on-line poartă numele de diagnoză pre-restaurativă. Ea are rolul de a identifica avaria apărută în sistem, de a limita efectele acesteia prin izolarea zonei defecte și de a găsi măsurile care trebuie luate pentru restaurarea regimului normal al sistemului. În acest caz nu sunt necesare reprezentări și analize de detaliu ci se efectuează numai o analiză aproximativă și rapidă.

Diagnoza regimurilor perturbate executată off-line se numește diagnoza post-mortem a avariei. În acest caz se vor utiliza reprezentări detaliate și analize de adâncime pentru înțelegerea cauzelor avariei. Se vor identifica măsurile care trebuie luate în viitor pentru evitarea, dacă este posibil, a unor astfel de situații.

În această lucrare se tratează diagnoza în timp real a sistemului ca întreg pentru regimurile cvasi-staționare – regimurile permanente normale.

1.2.2. Cum se realizează diagnoza regimurilor SEP ?

Expertul uman sau cel automat, care efectuează diagnoza, va prelua diferite informații din sistem prin intermediul SCADA, va prelucra aceste informații, va calcula diferiți indicatori ai regimului și îi va compara cu valorile prag prestabilite. Apoi vor trage concluziile corespunzătoare privind starea de “normalitate” a regimului considerat. Pe baza acestor concluzii va da soluții de îmbunătățire a acestui regim.

La efectuarea diagnozei pot apare diferite probleme:

- datele preluate de la sistemele SCADA pot fi eronate;
- unele date chiar pot chiar lipsi.

Sistemul de diagnosticare va trebui să poată continua diagnoza chiar și în aceste condiții și informațiile vor trebui prelucrate astfel încât această piedică să poată fi depășită. Bineînțeles, prezența unui volum mare de date eronate, sau lipsă, poate duce la imposibilitatea efectuării diagnozei.

1.2.3. Ce trebuie reprezentat pentru diagnoza regimurilor SEP ?

Pentru aceasta este necesar a fi reprezentate:

- componentele SEP: generatoare, transformatoare, linii electrice, consumatori etc.;
- topologia actuală și cea viitoare;
- starea compensatoarelor;
- treptele de comutare a prizelor la transformatoare etc.

În unele sisteme, aceste date sunt gata stocate într-o bază de date existentă actualizată on-line. În altele, este necesară implementarea sistemului de achiziție a datelor.

În afara modelelor pentru componentele fizice ale SEP trebuie modelate și informații privitor la operarea în SEP, informații preluate de la dispeceri și unele informații specifice preluate de la experți umani. Aceste informații de tip euristic vor trebui depozitate în bazele de cunoștințe ale unor sisteme expert. Forma și complexitatea lor diferă de la un caz la altul în funcție de metoda efectivă de diagnosticare.

1.2.4. Ce date sunt disponibile ?

Sunt disponibile:

- date binare care provin de la relele și întrerupătoare și arată starea acestora;
- date analogice despre mărimea curenților, tensiunilor și puterilor;
- date referitoare la timp (ora exactă, data).

În general acestea sunt disponibile prin SCADA, iar dacă nu, vor trebui achiziționate.

1.2.5. Diagnoza SEP la nivel global

La nivel global, diagnoza se efectuează în centrul de control al SEP. La acest nivel se studiază fenomenele care cuprind sistemul întreg, adică probleme ca: stabilitatea frecvenței, stabilitatea tensiunii, limitele de transfer ale puterii între zone etc. Tot aici apar și probleme de prelucrare a alarmelor și de diagnoză a avariilor.

La prelucrarea alarmelor sunt prelucrate informațiile obținute prin SCADA, informațiile disponibile din instrucțiunile de operare și informațiile provenite din experiența operatorilor de sistem și a experților. Aceste ultime informații, de tip euristic, sunt obținute prin chestionarea operatorilor și a experților.

Diagnoza regimurilor de avarie identifică elementele nefuncționale ale sistemului și cauzele care le-au produs. Sarcina diagnozei este îngreunată și de faptul ca la acest nivel informațiile sunt incomplete și avariile pot fi multiple și înlănțuite.

1.2.6. Nivelul regional de diagnoză

Reprezentarea zonei luată în analiză va fi mai detaliată decât la nivelul global de diagnoză. Se vor reprezenta: întrerupătoare, bare colectoare, relee de protecție, topologia rețelei, schema de funcționare a sistemului de protecție etc.

Datele disponibile pentru diagnoza regională sunt: semnale binare pentru starea întrerupătoarelor și releelor și semnale analogice pentru curenți, tensiuni și puteri. Sunt necesare informații despre reanclanșarea automată rapidă.

Informațiile sub forma de cunoștințe sunt preluate de la inginerii specialiști din domeniile de operare și protecție apoi sunt transpuse în reguli de producție sau în alte formalisme de reprezentare a cunoștințelor. În cazul sistemelor de diagnoză bazate pe cunoștințe, componentele sistemului sunt reprezentate prin obiecte, predicate și rețele semantice.

1.3. Aplicarea Inteligenței Artificiale la diagnoza regimurilor SEP

Inteligența artificială (IA) este un domeniu al informaticii care se ocupă cu simularea gândirii umane. Concretizarea conceptelor IA o constituie de regulă programe informatice specifice IA [C8]. Aceste programe simulează gândirea umană, adică acele aspecte ale gândirii umane care nu pot fi modelate printr-un program informatic obișnuit. Este vorba de inteligență, adică de acea capacitate de a înțelege situații noi, nemaiîntâlnite în prealabil și de a lua decizii printr-un comportament asemănător cu al omului. IA se ocupă cu rezolvarea problemelor abstracte, a problemelor care nu se pot rezolva prin aplicarea unui algoritm oarecare care este de fapt o succesiune de instrucțiuni care conduc la soluția finală.

Dintre tehnicile specifice IA fac parte: sistemele expert (SE), rețelele neuronale artificiale (RNA), logica fuzzy și programarea evolutivă.

IA a fost aplicată mai întâi în domeniile demonstrării automate a teoremelor și prelucrării limbajului natural. În timp, înțelegându-i posibilitățile, specialiștii din diferite domenii de cercetare au realizat aplicații ale IA în: medicină, economie, geologie, tehnică etc. Datorită calităților sale, IA este potrivită a fi aplicată în toate domeniile activității umane [C6, C8, C10, C31].

Pe plan mondial primele aplicații ale IA în domeniul electroenergeticii au apărut la începutul anilor '80 ai secolului XX [G1, G2]. Totuși o dezvoltare mai puternică a putut fi observată la sfârșitul deceniului 9 și începutul deceniului 10. Această creștere puternică a aplicării sistemelor inteligente în domeniul electroenergeticii se poate argumenta și prin crearea în cadrul CIGRE și a IEEE, două dintre cele mai prestigioase organisme științifice internaționale, a unor grupuri de lucru specializate privind aplicații ale IA. De asemenea sunt prezente conferințe și simpozioane dedicate IA și aplicațiilor acestora: Symposium of Expert System Application on Power System, Power System Computation Conference, International Conference of Machine Learning [C8]. Pe baza unui studiu documentar realizat la Universitatea Liege și la Universitatea Brunel din Londra, s-a prezentat evoluția numărului de articole ce au ca subiect utilizarea tehnicilor de IA în domeniul electroenergeticii și care au fost publicate în prestigioasele reviste Transaction on Power Systems (figura 1.2 a) și International Journal of Electrical Power & Energy Systems (figura 1.2 b).

Și pe plan național, în ultimii ani, se constată un interes deosebit pentru aplicarea sistemelor inteligente în studiul SEP. Astfel dacă la prima masă rotundă cu tema „Aplicații ale tehnicilor de inteligență artificială în electroenergetică” a revistei Energetica din 1993 erau prezentate doar câteva articole, la primul simpozion SIAE (Sisteme de Inteligență Artificială în Electroenergetică) din octombrie 1998 au fost prezentate peste 30 de articole. Totodată se poate remarca faptul că în ultimul deceniu au apărut diverse cărți pe aceeași temă [C1, C6, C8, C17, C31].

Având în vedere caracteristicile IA, acestea o fac potrivită aplicațiilor de tip diagnoză pentru regimurilor SEP.

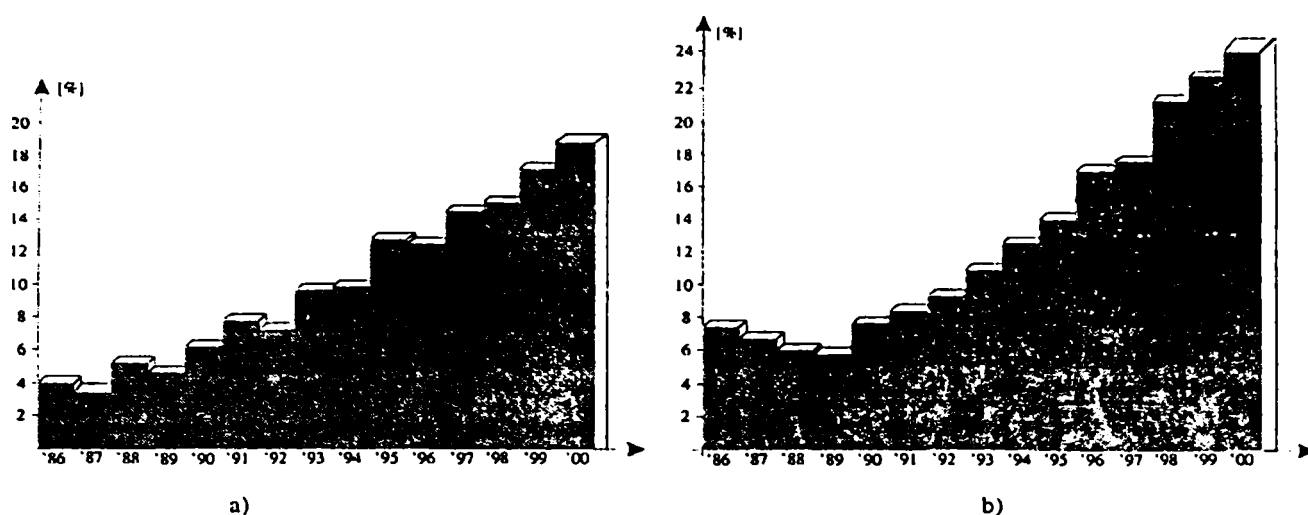


Figura 1.2 Evoluția numărului de articole ce tratează aplicații ale IA în electroenergetică
a) IEEE Transaction on Power Systems b) International Journal of Electrical Power & Energy Systems

1.4. Regimurile SEP – clasificare

SEP sunt sisteme complexe funcționând ca o instalație unică și care își modifică starea în funcție de cauze interne (în principal sarcina) sau externe (perturbații externe).

Perturbațiile externe sunt de obicei provocate de câmpul electric atmosferic și apar sub formă de supratensiuni cu durată de zeci de micro secunde [C20]. Liniile electrice aeriene de transport sau de distribuție și liniile de contact ale transportului feroviar, în regimuri particulare, pot induce în liniile electrice învecinate perturbații cu durate de câteva zecimi de secundă până la câteva secunde. Atingerile materiale pot avea durate mai mari și produc supracurenți și supratensiuni.

Perturbațiile interne au următoarele cauze: comutațiile echipamentului circuitelor primare datorate manevrelor obișnuite de exploatare, rezonanța circuitelor electrice în anumite configurații particulare, contaminarea și uzura izolației [C21].

Regimurile staționare ale SEP sunt stările staționare ale SEP în care valorile efective ale mărimilor electrice și valorile mărimilor mecanice se păstrează constante în timp [C7, C23]. În această categorie intră și regimurile cu modificări lente ale mărimilor, datorate modificărilor lente ale sarcinii conform graficelor de sarcină.

Dintre toate regimurile SEP, se disting trei ca fiind mai importante: regimul permanent normal, regimul de avarie și regimul post-avarie.

Regimul permanent normal (RPN) este un regim staționar, simetric și conform cu intențiile operatorului de sistem. El este esențial în funcționarea SEP. Se caracterizează prin tensiuni, curenți, puteri active și reactive apropiate de cele nominale, cu variații lente în timp cauzate de modificarea sarcinii după graficul de sarcină. RPN este determinant atât în proiectare cât și în exploatarea SEP, fiind regimul de durată și cu implicații aproape exhaustive în ceea ce privește aspectul economic global al sistemului. Durata celorlalte regimuri este neglijabilă în raport cu acesta.

Regimul de avarie este un regim nestaționar, simetric sau nesimetric în funcție de tipul avariei fiind un regim nedorit. Acest regim apare pe fondul funcționării normale ca urmare a unei perturbații interne sau externe. Perturbația poate fi de natură electromagnetică sau

materială. Acest regim se caracterizează prin tensiuni, curenți, puteri active și reactive mult diferite de cele nominale, periculoase și uneori chiar distructive pentru aparatul sistemului. Durata regimului de avarie este determinată de sistemul de protecție și de obicei nu depășește 1 s, durata minimă fiind aproximativ 0.1 s.

Regimul post avarie este regimul simetric și nestaționar care apare imediat după îndepărtarea avariei (declanșarea elementului avariat). Este de interes să se urmărească păstrarea stabilității sistemului și revenirea la un regim cât mai apropiat sau chiar identic cu cel dinaintea avariei. Revenirea la regimul inițial este posibilă doar dacă elementul avariat nu a suferit deteriorări și poate fi reconectat.

Regimurile de avarie și post avarie sunt regimuri perturbate a cărui studiu este de mare importanță la păstrarea siguranței în funcționarea SEP.

Diagnoza regimurilor staționare ale SEP, care trebuie să fie efectuată în timp real, se ocupă de urmărirea și aprecierea mărimilor electrice din nodurile (barele stațiilor de transformare de înaltă tensiune) și de pe laturile sistemului (linii electrice de transport și distribuție, autotransformatoare și transformatoare), mărimi care în general sunt oferite de SCADA. Acestea sunt: modulul tensiunilor din noduri, puterile active și reactive din nodurile generatoare, puterile active și reactive de circulație pe laturi. Etapa următoare este introducerea acestor date într-un estimator pentru corectarea și eliminarea erorilor. Ca urmare se determină complet vectorul de stare al sistemului (tensiunile din noduri ca modul și fază). În continuare are loc diagnoza propriu-zisă adică aprecierea mărimilor electrice urmărite, calcularea unor indicatorilor globali pentru categorii de mărimi, identificarea mărimilor care trebuie corectate (dacă este cazul) și determinarea măsurilor de corecție care trebuie luate.

Tot în cadrul diagnozei regimurilor staționare ale SEP trebuie realizată analiza contingențelor de ordinul unu (un singur element al sistemului ieșit din funcțiune). Aici se iau în considerare deconectări (ca urmare a unor avarii) de linii electrice simplu circuit sau a unui circuit pentru liniile cu mai multe circuite, deconectări ale transformatoarelor și autotransformatoarelor, ieșiri din funcțiune de grupuri generatoare și declanșarea de puteri consumate (consumatori echivalenți).

Capitolul 2

APRECIEREA CRITICĂ A METODELOR DE DIAGNOZĂ A REGIMULUI PERMANENT NORMAL AL SEP EXISTENTE ÎN LITERATURA DE SPECIALITATE

2.1. Chestiuni generale

În figura 2.1 este prezentată schema generală adaptată, a diagnozei regimurilor SEP, conform lucrărilor [S4, S10] din literatura de specialitate. După cum se poate observa din schemă, în cadrul diagnozei generale a regimurilor SEP, sunt cuprinse diagnoza regimului permanent normal, a stabilității tranzitorii și analiza contingențelor. Din diagnoza regimului permanent normal fac parte: diagnoza tensiunii în nodurile sistemului și diagnoza circulațiilor de putere pe laturi.

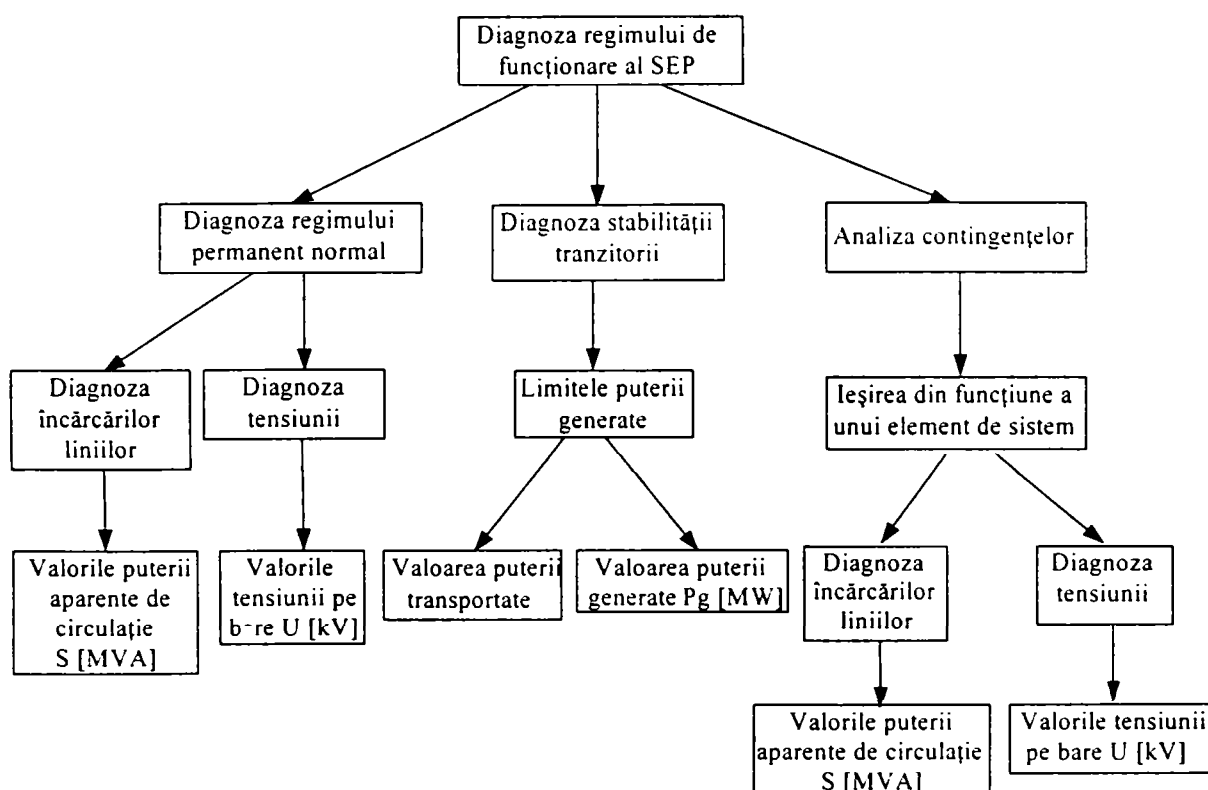


Figura 2.1. Schema generală de diagnosticare a regimurilor permanente ale SEP

În literatura de specialitate [U1–U13], cele mai multe metode de diagnosticare a regimului permanent normal se referă la diagnoza tensiunii. Desigur nivelul tensiunii în nodurile SEP influențează decisiv și circulația de putere reactivă pe laturile sistemului.

În cele ce urmează vor fi descrise succint și critic cele mai importante metode de analiză a tensiunii în nodurile SEP, pentru regimul permanent normal, existente în literatura de specialitate. Scopul este de a evidenția avantajele și dezavantajele acestora și de a prelua elementele esențiale și a îmbunătății aspectele negative pentru dezvoltarea unei metode originale de diagnosticare a regimului permanent normal, într-un SE, care să funcționeze în timp real, ca suport al dispecerilor din centrele de comandă ale SEP. La baza acestui SE vor sta metode și tehnici ale inteligenței artificiale care să prelucereze informația disponibilă într-o formă cât mai apropiată de percepția și raționamentul uman.

2.2. Diagnoza tensiunii în nodurile SEP

2.2.1. Aspecte generale privind controlul tensiunii și a circulației de putere reactivă în SEP

a. Fenomene de instabilitate a tensiunii în nodurile SEP

Până în anii '70, analiza regimurilor se rezuma la urmărirea menținerii tensiunilor din noduri în banda de tensiune recomandată de norme, la evitarea supraîncărcării liniilor electrice și a transformatoarelor și la urmărirea optimizării economice a regimurilor cu ajutorul unor programe de calcul dedicate acestui scop. Dimensiunile relativ mici și gradul mai scăzut de interconexiune a SEP făceau posibilă stăpânirea întregului proces de către dispecerii energetici.

Deoarece SEP au devenit tot mai mari și mai complexe, diagnoza regimurilor permanente a devenit tot mai complicată, necesitând un timp tot mai îndelungat și fiind confruntată cu apariția unor probleme din ce în ce mai dificil de rezolvat, cum ar fi stabilitatea tensiunii în noduri [E1]. Probleme de acest tip au apărut în țări dezvoltate tehnologic, cu tradiție industrială, în care funcționează sisteme de putere ample [U1], dintre care amintim: Japonia, Canada, Suedia, Finlanda și SUA. Urmările instabilității tensiunii au condus uneori la ieșiri din funcțiune a unor părți mari de sistem sau chiar a sistemului întreg. Desigur că implicațiile unor astfel de fenomene sunt cu totul negative din punct de vedere economic.

În funcție de durata de timp în care apar fenomenele de instabilitate ale tensiunii acestea pot fi lente (câteva minute) sau rapide (câteva secunde). În urma fenomenului de instabilitate a tensiunii în nodurile sistemului, poate apare chiar și colapsul tensiunii când valoarea tensiunilor din toate nodurile este extrem de mică pierzându-se sincronismul generatoarelor.

Cauzele fenomenelor de instabilitate ale tensiunii diferă de la un sistem la altul dar totuși se pot distinge câteva cauze comune [U5, U8]:

- nivelul de tensiune coborât la scara întregului sistem ca urmare a unei politici de conducere deficitară;
- supraîncărcarea liniilor electrice de transport;
- creșterea cererii de putere din partea consumatorilor;
- șocuri de sarcină;
- deficiența compensării puterii reactive datorită inexistenței compensatoarelor sau proastei gestiuni a acestora;
- nivelul mare de pierderi de putere în sistem;
- caracteristicile sarcinii la valori mici ale tensiunii;
- operări neașteptate ale releelor de protecție;
- atingerea limitelor superioare de putere reactivă generată;
- răspunsurile întârziate sau nepotrivite la schimbarea raportului de transformare etc.

Astfel SEP actuale, care în trecut nu puneau în mod acut probleme de instabilitate a tensiunii, această problemă fiind tratată ca o problema secundară, astăzi sunt vulnerabile la acest fenomen. Din această cauză se impune căutarea unor soluții care să elimine sau măcar să reducă acest fenomen. Soluțiile la aceasta problemă [U2, E1] sunt dificil de găsit din cauză că:

- vulnerabilitatea SEP la instabilitatea tensiunii este extrem de dependentă de condițiile concrete de funcționare ale sistemului;
- colapsurile de tensiune depind foarte mult de comportarea consumatorilor asupra cărora controlul este scăzut iar informațiile despre aceștia sunt puține;
- regiunea de risc este de obicei foarte aproape de regiunea regimului normal de funcționare așa că tehnicile de prevenire clasice nu sunt potrivite.

b. Măsurile de prevenire a colapsului tensiunii

După analizarea cauzelor fenomenului de instabilitate a tensiunii se pot deduce câteva măsuri de prevenire a acestui fenomen.

Cea mai robustă măsură este instalarea în zona critică a sistemului a unei noi capacități de transport, însă de cele mai multe ori aceasta nu se poate aplica din motive economice.

Alte măsuri mai la îndemâna dispecerilor sunt [E1]:

- minimizarea pierderilor de putere în rețeaua de transport;
- minimizarea transferului de putere reactivă între nivele de tensiune diferite;
- măsuri de optimizare a folosirii capacităților de compensare a puterii reactive;
- realizarea unor rezerve de putere reactivă la generatoarele sincrone și la compensatoarele sincrone care să poată fi folosite în perioade critice ale curbei de sarcină;
- păstrarea unui nivel ridicat al tensiunilor în sistem mai ales pe perioada critică a curbei de sarcină.

c. Sisteme de control a tensiunii și puterii reactive

Sistemele de control ale tensiunii și puterii reactive pot fi clasificate după modul de control ca fiind de tip centralizat, descentralizat sau combinate. După execuția controlului în timp pot fi în timp real (on-line) și în afara timpului real (off-line).

Sistemele de control centralizate sunt folosite în cazul sistemelor buclate iar sistemele de control descentralizate sunt folosite în cazul subsistemelor radiale.

Motivele pentru care este potrivită această împărțire a controlului tensiunilor și a circulației de putere reactivă sunt:

- controlul tensiunii este în principal o problemă locală și depinde de motive de ordin local;
- pentru a controla circulația de putere reactivă pe liniile electrice principale de transport și de interconexiune zonală, este necesară o privire globală asupra sistemului; astfel se poate comanda diferențiat încărcarea cu putere reactivă a unor centrale electrice, echilibrarea circulației și reducerea pierderilor;
- pentru liniile de ÎT și FÎT aflate în buclă este adoptat tot un sistem centralizat de control a tensiunii și puterii reactive datorită eficacității lui;
- pentru rețelele de transport radiale sunt alese sisteme descentralizate de control.

d. Model de sistem de control al tensiunii și al puterii reactive

Cu ajutorul reguletoarelor automate de excitație, în nodurile generatoare ale SEP tensiunea este menținută constantă după un program dinainte stabilit construit în urma unor studii de regimuri. Aceasta este o măsură centralizată de control al tensiunii având efect pentru întregul sistem [E1]. Tensiunea este ridicată apoi la nivelele de ÎT sau FÎT cu ajutorul transformatoarelor și autotransformatoarelor a căror raport de transformare, la nevoie poate fi reglat sub sarcină. Cu ajutorul surselor de putere reactivă se va controla și regla circulația de putere reactivă în rețea, prin încărcarea sau descărcarea lor, ele fiind comandate din centrul de control al sistemului sau din centrele de control ale subsistemelor. Existența surselor de compensare la bornele marilor consumatori permite reglajul local al compensării puterii reactive și implicit al tensiunii.

În unele sisteme în care controlul tensiunii și al circulației de putere reactivă este tratat cu o mai mare atenție, urmărirea încărcării centralelor se face și la nivel regional. Acest lucru este posibil dacă se stabilește zona de influență a fiecărei centrale electrice asupra circulației de putere reactivă. De asemenea sursele locale de compensare a puterii reactive pot fi controlate la nivel regional.

e. Dificultăți în sistemele actuale de control a tensiunii și puterii reactive

După cum este prezentat în [E1], majoritatea companiilor de electricitate din țările dezvoltate ale lumii, cunosc deficiența metodelor clasice de control a tensiunii și puterii reactive. Motivele sunt următoarele:

- nu există o “filozofie” de control;
- algoritmi clasici de optimizare operează cu o funcție obiectiv, în timp ce actualele SEP depind de factori noi din domeniile siguranței în funcționare, economic etc.;
- metodele clasice de control nu înlesnesc managementul surselor de putere reactivă în ideea maximizării limitelor de funcționare, fără să se depășească pragul de siguranță;
- nu se exploatează eficient sursele de putere reactivă;
- nu se poate realiza o analiză aprofundată a problemelor legate de tensiune.;
- reglajul local al tensiunii în general nu ține cont de coordonarea dispozitivelor de compensare și din acest motiv este relativ inefficient.

f. Concluzii

Așa cum am menționat deja, sistemele actuale de control a tensiunii și a circulației de putere reactivă diferă de la o companie de electricitate la alta și sunt inefficiente în funcționarea lor.

Diferența dintre controlul puterii active și al puterii reactive este că pentru puterea reactivă controlul acesteia afectează doar o parte a sistemului.

Dispozitivele folosite în controlul tensiunii și puterii reactive sunt diverse și cu viteze diferite de acționare în timp. În timp ce regulatoarele automate de excitație acționează rapid și continuu, sistemele de acționare a ploturilor transformatoarelor au o întârziere și acționează în trepte.

Acum când fiecare companie de electricitate este interesată atât de aspectul economic cât și de continuitatea în alimentare a consumatorilor, problema controlului tensiunii și a puterii reactive devine la fel de importantă ca și cea de control a puterii active. Pe viitor sunt necesare studii de dezvoltare a metodelor noi care se aplică deja sau sunt în curs de aplicare. Un ajutor considerabil îl constituie bagajul de cunoștințe practice al operatorilor de sistem care trebuie să fie preluat și implementat în sistemele de control. În acest domeniu IA oferă instrumente potrivite de aplicație.

În continuare vor fi prezentate câteva soluții practice mai des folosite, de prevenire și evaluare a instabilității tensiunii și de control al circulației de putere reactivă, întâlnite în literatura de specialitate a ultimilor ani. Scopul este ca pe baza analizei lor să se desprindă concluziile de care trebuie să se țină seama atunci când se dorește realizarea unei metode de diagnoză a regimurilor SEP.

2.2.2. Metode de analiză a stabilității tensiunii în nodurile SEP

a. Metodă bazată pe analiza matricei Jacobian

Multe dintre metodele de apreciere a “distanței” dintre starea curentă a sistemului și limita de stabilitate a tensiunii se bazează pe analiza matricei Jacobian – J .

În [U5] sunt prezentate câteva aspecte referitoare la aceasta metodă.

Fie ecuația:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J(U, \theta)] \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

unde:

$$[J(U, \theta)] = \begin{bmatrix} P_{\theta} & P_U \\ Q_{\theta} & Q_U \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

este matricea Jacobian a rețelei; iar $\Delta P, -\Delta Q, P_\theta, P_U, Q_\theta, Q_U, \Delta\theta$ și ΔU sunt submatricile corespunzătoare relațiilor (2.1) și (2.2).

Din ecuația (2.1) rezultă că atunci când determinatul lui J este nul, nu există soluție pentru circulația de puteri. Acest punct este denumit *punct de bifurcație statică*.

Valoarea minimă singulară a matricei J , pentru o stare oarecare a sistemului, este considerată ca un indicator care exprimă distanța dintre punctul de funcționare curent și limita stabilității tensiunii.

Se poate studia pe aceleași ecuații și comportarea sistemului în jurul punctului de funcționare la modificarea puterii reactive. De exemplu dacă se consideră $\Delta P=0$ (valori constante pentru puterile active) atunci ecuația (2.1) devine:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{\theta\theta} & P_U \\ Q_\theta & Q_U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

adică:

$$\Delta Q = (Q_U - Q_\theta P_\theta^{-1} P_U) \Delta U = Q_S \Delta U \quad (2.4)$$

Matricea Q_S poate fi de asemenea un indicator al stabilității tensiunii la mici variații ale puterii reactive.

Revenind la singularitatea lui J , această matrice este singulară dacă P_θ este singulară sau dacă Q_S este singulară conform formulei:

$$\det J = \det P_\theta \det Q_S \quad (2.5)$$

Presupunând că P_θ nu este singulară atunci J este singulară doar dacă Q_S este singulară. Deci matricea Q_S , o matrice derivată a lui J , este un indicator al stabilității tensiunii iar valoarea determinantului său este o măsură a acestui indicator.

Dacă se dorește analiza stabilității din punct de vedere a fazelor tensiunilor atunci se analizează matricea P_θ .

Matricea J se poate analiza și din perspectiva valorilor proprii. Se va identifica cea mai mică valoare și luând-o drept indice al stabilității tensiunii ea este de fapt distanța dintre starea curentă a sistemului și limita stabilității.

Metoda prezentată mai sus are ca dezavantaj principal faptul că este foarte laborioasă. Ea operează cu matrice mari fiind mare consumatoare de timp de calcul. Pentru cazul sistemelor mari, chiar dacă matricele se memorează lacunar pentru reducerea memoriei consumate și a timpului de calcul aferent, totuși aceasta conduce la complicații foarte mari ale metodei. De asemenea metoda nu ține cont de limitele puterilor reactive ale generatoarelor.

b. Indicator de stabilitate a tensiunii în noduri

În [U1] se prezintă un indicator de apreciere a stabilității tensiunii în nodurile SEP, care poate fi determinat pentru întregul sistem. El ține cont de limitele puterilor reactive generate. Indicatorul se notează cu L_k și se calculează pentru fiecare nod în parte după care se identifică valoarea maximă L_{max} dintre toate valorile calculate. Dacă valoarea maximă este subunitară atunci din punct de vedere a tensiunii sistemul este considerat stabil. În practică se ia o valoare prag subunitară care depinde de configurația sistemului, prag cu care se va compara valoarea maximă a lui L . Apoi, pentru fiecare configurație în parte se calculează o nouă valoare de prag în funcție de politica de conducere a sistemului referitoare la asigurarea calității serviciilor.

Formula pentru calculul lui L_k este următoarea:

$$L_k = \left| 1 + \frac{U_{0k}}{\underline{U}_k} \right| \quad (2.6)$$

unde:

$$\underline{U}_{0k} = \sum_{i=1}^{NG} H_{2ki} \underline{U}_i \quad (2.7)$$

iar:

k - indicele nodului din sistem;

NG - numărul nodurilor generatoare;

\underline{U}_k - tensiunea nodului k ;

H_2 - este o submatrice a matricei de admitanță nodală a sistemului (\underline{Y}_n) după ce aceasta a suferit o inversare parțială.

Matricea H_2 se obține pornind de la ecuația care exprimă legătura dintre curenții injectați în nodurile sistemului și tensiunile nodurilor:

$$\begin{bmatrix} I_L \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \\ Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_L \\ U_G \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

prin inversare parțială se obține:

$$\begin{bmatrix} U_L \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & H_2 \\ H_3 & H_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ U_G \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$H_2 = -Y_1^{-1} \times Y_2 \quad (2.10)$$

unde:

U_L, I_L - tensiunile și curenții pentru nodurile consumatoare;

U_G, I_G - tensiunile și curenții pentru nodurile generatoare;

H_1, H_2, H_3 și H_4 - submatrici generate din matricea Y după inversare parțială.

În practică calculul vectorului complex \underline{U}_{0k} nu necesită inversarea matricei Y_1 . Ecuația (2.11) se rezolvă prin factorizare ceea ce rapidizează calculul indicilor L .

$$[-Y_1] U_{0k} = [Y_2] U_G \quad (2.11)$$

Odată valorile L_k calculate, ele se vor compara cu pragul impus pentru a aprecia starea de stabilitate a tensiunii. Se poate analiza sensibilitatea lui L_k la variațiile tensiunii prin derivarea parțială a expresiilor părților reală și imaginară a lui L_k în raport cu modulul tensiunii \underline{U}_k .

La fel ca și metoda anterioară; în cazul sistemelor mari, această metodă este laborioasă, consumatoare de timp de calcul deoarece operează cu matrice de dimensiuni mari. Metoda trebuie completată pentru a ține cont de reglajul discret al surselor de compensare a puterii reactive. Metoda are și un aspect neplăcut fiindcă determinarea pragului pentru indicele L_k este o problemă incomplet elucidată care depinde de sistemul electroenergetic considerat.

c. Metodă bazată pe arbore de sensibilitate

Metoda prezentată în [U9] servește la îmbunătățirea utilizării surselor de putere reactivă la controlul tensiunilor în nodurile sistemului. Metodologia se bazează pe determinarea arborelui de sensibilitate și este implementată într-un sistem expert.

Sistemul expert trebuie să execute următoarele operații:

- identifică configurația curentă a SEP;
- din baza de cunoștințe selectează cunoștințele potrivite pentru configurația curentă;
- detectează nodul sau nodurile pentru care se constată depășiri ale limitelor impuse pentru indicatorii de stabilitate ai tensiunii;
- detectează secvențial cea mai potrivită măsură de control al tensiunilor nodurilor cu depășiri;
- calculează efectele măsurii de control în conformitate cu o strategie de lucru dinainte stabilită;
- verifică dacă după efectuarea măsurii de control adoptate mai există depășiri a indicatorilor de stabilitate.

Construcția arborelui de sensibilitate se face în felul următor.

Pentru fiecare nod al SEP se construiește un arbore ale cărui laturi reprezintă legăturile nodului considerat cu toate măsurile de control ale puterii reactive din sistem care-l influențează (figura 2.2). Rădăcina arborelui este nodul respectiv. Pot exista arbori pentru tensiuni și arbori pentru puteri reactive.

Un arbore construit pentru tensiuni are ca rădăcină chiar tensiunea din nodul respectiv. Nivelul al doilea de noduri ale arborelui este format din toate măsurile de control ale tensiunii în sistem care-l influențează. Fiecărei laturi dintre nodul rădăcină și celelalte noduri i se atașează un indice de sensibilitate S_{ij} , unde $j=1-m$, m fiind indicele măsurii de control a tensiunii. Nivelul al treilea este format din tensiunile tuturor nodurilor sistemului mai puțin nodul din rădăcină. Fiecare măsură de control este legată de toate nodurile din nivelul al treilea prin laturi cărora li se atașează indicatorii corespunzători de sensibilitate S_{jk} , unde $j=1-m$ iar $k=1-n$, n fiind numărul de noduri ale sistemului.

Fie U_i tensiunea unui nod din sistem.

Dacă i este un nod generator, atunci indicii de sensibilitate atașați laturilor, reprezentând măsurile de control al tensiunii, au valoarea 0, iar indicele de sensibilitate pentru propria măsură de control este 1.

Dacă i este un nod consumator, atunci tensiunea acestuia este legată de măsurile de control prin laturi cu sensibilități diferite care pot lua valori în intervalul $[0,1)$.

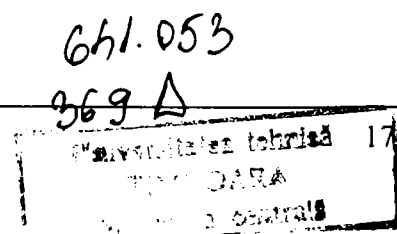
Fiecare măsură de control al tensiunii este legată de nodurile nivelului trei prin laturi care au atașate sensibilități ale măsurii de control respective asupra nodului în cauză, sensibilități care pot lua valori în intervalul $[0,1]$.

Deci, măsura j de control a tensiunii este legată prin intermediul indicelui de sensibilitate S_{ij} de tensiunea nodului i , iar prin intermediul indicelui de sensibilitate S'_{jk} de nodul k .

Astfel de arbori de sensibilitate pot fi construiți și pentru puterile reactive, când măsurile de control din nivelul al doilea al arborelui devin măsurile de control al puterii reactive. Nodul rădăcină și nodurile nivelului trei sunt la fel ca în cazul arborelui de sensibilitate pentru tensiuni.

Utilizând arborii de sensibilitate memorați în baza de cunoștințe, prin recursivitate, motorul de inferență al sistemului expert, va efectua un lanț de raționamente care conduc la soluția cea mai bună pentru un anumit nod al SEP știind și efectele pe care aceasta le va avea asupra tensiunilor din celelalte noduri.

Un dezavantaj al metodei constă în ambiguitatea cu care se determină factorii de sensibilitate. Ei se pot obține fie prin chestionarea experților umani în domeniu fie prin analize de circulație de puteri.



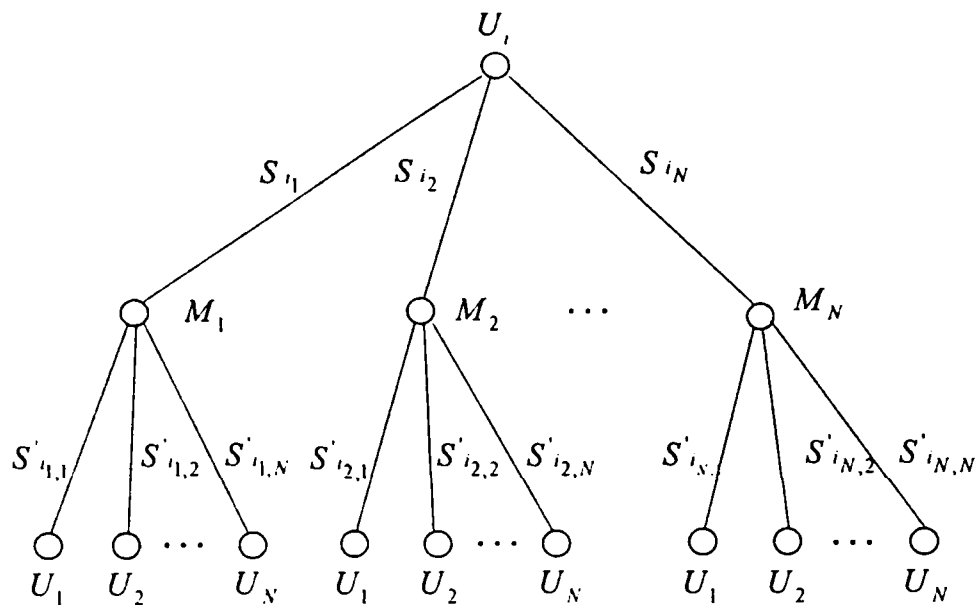


Figura 2.2 Arbore de sensibilitate

Metoda este aplicabilă doar în momentul în care se cunosc arborii de sensibilitate pentru toate nodurile sistemului și pentru toate configurațiile probabile. Pentru aceasta se cere un volum important de muncă iar baza de cunoștințe este foarte mare.

Unul din principalele avantaje ale metodei este că, având în vedere posibilitățile de căutare ale motorului de inferență, timpul de căutare a măsurii potrivite pentru un anumit nod este relativ scurt.

Ca dezavantaj menționăm faptul că durata procesului de căutare depinde de acuratețea cu care au fost stabiliți indicii de sensibilitate la construirea arborilor.

Acestei metode bazate pe arbori de sensibilitate, trebuie să i se adauge posibilități pentru detectarea tensiunilor nodurilor cu probleme de stabilitate, depășirile valorilor de prag ale unora dintre ei declanșând automat procesul de căutare. Dacă numărul de depășiri ale valorilor de prag este mare, metoda poate deveni inefficientă. Încercând corectarea tensiunii unui nod se constată apariția unor depășiri pentru alte noduri și astfel procesul de căutare se poate cicla și complica foarte mult cu riscul chiar de a nu ajunge într-un timp rezonabil la soluție.

d. Metodă bazată pe conceptul de “cale reactivă”

Această metodă are ca scop eficientizarea utilizării surselor de putere reactivă prin controlul tensiunilor în nodurile sistemului electroenergetic.

Se știe ca variația de tensiune între două noduri învecinate ale unui SEP, legate prin intermediul unei linii electrice, depinde de valoare impedanței de legătură dintre acestea. Deoarece pentru liniile electrice de transport raportul X/R este mult mai mare decât unitatea, se poate spune că variația modulului tensiunii depinde în cea mai mare măsură de valoarea reactanței X (la valori normale ale tensiunilor în noduri).

Pornind de la această idee, în [U7] se prezintă două metode de determinare a impactului circulației de putere reactivă asupra tensiunilor din nodurile sistemului.

Prima metodă se referă la determinarea influenței unui anumit dispozitiv de compensare a puterii reactive asupra tensiunilor nodurilor învecinate.

A doua metodă se referă la determinarea a două surse de compensare a puterii reactive care au cel mai mare impact asupra tensiunii dintr-un anumit nod consumator al sistemului.

Calea de impedanță minimă (de reactanță minimă) între nodul sursă de putere reactivă și un nod vecin este calea pe care va circula cea mai mare parte a puterii reactive debitate de

sursă. Această cale se numește “cale de putere reactivă” sau “cale reactivă”. Pentru fiecare nod sursă de putere reactivă se poate defini o “cale reactivă” care îl leagă de un nod învecinat.

Căile reactive nu vor conține transformatoare deoarece este știut că acestea au reactanțe mai mari decât liniile electrice de lungime obișnuită. Este de dorit a se minimiza transferul de putere reactivă între nivelele de tensiune din sistem în vederea minimizării pierderilor.

Efectul unui nod sursă de putere reactivă este limitat asupra nodurilor învecinate deoarece, datorită pierderilor de putere reactivă pe linii și transformatoare, acest efect se diminuează pe măsura îndepărtării de sursă. Astfel se poate delimita o regiune învecinată nodului sursă pentru care impactul puterii reactive debitate asupra tensiunilor nodurilor acelei regiuni este important. Asupra nodurilor din afara acelei regiuni se consideră că impactul este neglijabil deși în realitate, așa cum este normal, o anumită influență există dar ea în general este mică.

Deci, fiecărui nod sursă de putere reactivă i se poate atașa o regiune de impact major asupra tensiunilor nodurilor învecinate. Aceste regiuni, pentru fiecare nod sursă, sunt determinate utilizându-se reguli euristice și calcule simple, ceea ce conduce rapid la rezultat, constituind unul dintre avantajele majore ale metodei descrise.

Stabilirea “căilor reactive” este descrisă în paragraful 5.1.1.

În final, fiecare sursă de putere reactivă va avea atașată propria sa zonă de control. Stabilirea zonelor de control este corectă dacă ele se intersectează într-o anumită măsură. Tensiunile din nodurile care aparțin zonelor de intersecție pot fi reglate apelând la mai multe surse. În acest fel apare problema alegerii corecte a surselor destinate reglării tensiunii în nodurile sistemului.

Cea de a doua metodă de control a tensiunii se ocupă cu identificarea a două surse de putere reactivă care au cel mai mare impact asupra tensiunii nodului consumator care trebuie reglat.

Căile de putere reactivă stabilite anterior dau posibilitatea aflării celui mai influent nod i și a următorului ca influență k , dintre nodurile surse de putere reactivă, asupra tensiunii unui anumit nod consumator j , în funcție de valoarea reactanței de legătură dintre nodurile $i-j$ și $k-j$.

Pentru ca această metodă să se poată aplica, este necesar să se cunoască “căile reactive” pentru toate configurațiile de bază ale sistemului.

Cele două metode prezente mai sus, sunt implementate într-un SE descris în [U7]. Se determină căile de putere reactivă, zonele de control pentru fiecare sursă de putere reactivă și sursele de putere reactivă care au impact asupra tensiunilor nodurilor consumatoare. Acestea se determină pentru fiecare configurație probabilă a sistemului. Odată determinate ele se memorează în baza de cunoștințe. La apariția unui fenomen de scădere a tensiunii într-un nod, prin consultarea bazei de cunoștințe se află rapid care sunt cele două surse de putere reactivă care influențează tensiunea din acel nod.

Metoda este potrivită pentru prevenirea scăderilor de tensiune în nodurile sistemului, dar eficiența ei este în funcție de rezervele disponibile de putere reactivă și de viteza de reacție a dispozitivelor de compensare. Faptul că un SE poate funcționa în timp real este un avantaj.

Metoda poate fi îmbunătățită prin adăugarea altor indicatori care să ajute la identificarea nodului cu probleme în stabilitatea tensiunii.

2.3. Concluzii critice

Din cele prezentate mai sus se desprind următoarele concluzii:

- Una dintre problemele care a căpătat o atenție deosebită în ultima perioadă este diagnoza tensiunii și a circulației de putere reactivă. Soluțiile de rezolvare a acestei probleme sunt îmbunătățiri ale unor metode mai vechi, cum este analiza matricei Jacobian a sistemului

pentru determinarea stabilității tensiunii, iar altele sunt soluții noi, originale. Dintre acestea din urmă au fost prezentate: indicatorul L de stabilitate al tensiunii, metoda bazată pe arbore de sensibilitate și metoda bazată pe conceptul de "cale reactivă".

- Metodele se diferențiază prin volumul de calcule necesare, prin efortul de proiectare și implementare în practică și prin eficiența lor. Efortul de calcul este mai mare la metodele clasice, cele mai noi necesitând un volum mai mic de calcule și sunt de o complexitate mai redusă. Efortul investit însă în implementarea metodelor noi este mai mare, mai ales acolo unde sunt necesare colectarea și interpretarea cunoștințelor provenite de la experții în domeniu. În faza de implementare a metodelor sunt necesare un număr mare de simulări numerice a regimurilor sistemului.
- Ca și eficiență metodele noi sunt superioare celor clasice. Ele au un timp de soluționare mai mic și prezintă concluzii într-un mod mai ușor de interpretat de către operatorul de sistem. Aceste avantaje se datorează și utilizării tehnicilor oferite de IA mai ales SE.
- Metodele bazate pe prelucrarea cunoștințelor euristice provenite de la experții și operatorii de sistem prezintă avantaje și dezavantaje. Avantajele constau în folosirea experienței umane pentru stabilirea deciziilor și timpul redus de obținere a soluției, care face posibilă utilizarea metodelor în timp real. Ca dezavantaje se remarcă: cunoștințele folosite trebuie adaptate de la un SEP la altul, este necesară completarea și revizuirea periodică a bazelor de cunoștințe ale SE și în plus este o sarcină suplimentară pentru inginerii de exploatare și inginerii de cunoștințe.
- În stadiul actual diagnoza regimurilor SEP se confruntă cu probleme care în trecut, ca importanță, se aflau într-o zonă de interes scăzut, iar în prezent ele au trecut în prim-planul atenției cercetătorilor din domeniu. De asemenea pentru majoritatea problemelor, sau construit sisteme automate care să obțină soluțiile rapid și eficient. Astfel de sisteme automate sunt de regulă sisteme expert eventual combinate cu programe clasice de calcul.
- Necesitatea utilizării cunoștințelor euristice la rezolvarea acestor probleme a determinat utilizarea a tehnicilor oferite de IA. În acest sens se face simțită prezența SE la rezolvarea problemelor din domeniul SEP. Mulțimile fuzzy, pentru avantajele care le oferă, pot completa SE.

Din analiza și concluziile prezentate, s-a considerat că eficiența unei diagnoze a regimului permanent normal se realizează prin:

- considerarea elementelor de reglaj a tensiunii în noduri și a limitărilor introduse de stabilitatea tensiunii;
- folosirea unor metode noi, simple, fundamentate pe zonele ideii căilor reactive și a zonelor de influență, care să conducă rapid la soluție;
- construirea de sisteme care să asiste dispecerii, bazate pe inteligența artificială, în special sisteme expert;
- punerea în valoare a experienței unor specialiști recunoscuți în domeniu prin implementarea cunoștințelor acestora în baza de cunoștințe a unui SE.

ASPECTE TEORETICE ALE DIAGNOZEI SEP

3.1 Introducere

Dacă se consideră un sistem care este format dintr-o mulțime de elemente componente atunci funcționarea corectă a sa depinde de funcționarea corectă a fiecărui element în parte. Este important de precizat că prin funcționare incorectă (nedorită) se va înțelege orice funcționare diferită de cea definită ca fiind corectă. Definirea stării corecte de funcționare a sistemului presupune descrierea acestei stări a lui cu ajutorul unei mulțimi de aserțiuni care sunt toate adevărate. Această mulțime de propoziții adevărate cuprinde:

- exprimarea prin aserțiuni a condițiilor impuse de respectarea legilor generale de funcționare ale sistemului;
- afirmații impuse (norme) pentru ca funcționarea sistemului să fie considerată corectă.

Prin observație se va înțelege orice aserțiune despre funcționarea sistemului sau a elementelor sale, stabilită pe bază de experiment (măsurătoare), care evident este adevărată. O observație care contrazice din punct de vedere logic mulțimea aserțiunilor ce definesc starea corectă, numită și simptom, stabilește în fapt o stare de funcționare incorectă a sistemului, adică o funcționare defectă a lui în cel mai larg înțeles cu putință. Desigur funcționarea incorectă a sistemului este o consecință a funcționării incorecte (defectării în sens larg) a unuia sau a mai multor elemente componente.

În general, funcționarea incorectă a unei componente înseamnă că ea nu respectă una dintre normele impuse ca funcționarea sistemului să poată fi considerată corectă. În acest caz se spune că respectiva componentă este defectă.

Diagnoza unui sistem constă în identificarea componentelor sale defecte adică cele care provoacă funcționarea necorespunzătoare (nedorită) a sistemului.

Problema diagnozei constă în a identifica:

- situațiile în care cel puțin o observație devine simptom;
- mulțimea minimă de componente presupuse defecte care explică pe deplin toate simptomele observate.

Desigur soluția banală o unei probleme de diagnoză se referă la situația în care toate componentele sistemului sunt defecte și ea trebuie evitată.

Un simptom este observat sau identificat de către un observator exterior sistemului, care pe baza unor măsurători efectuate în sistem sau/și pe baza unor calcule, ajunge la o contradicție care demonstrează că sistemul nu funcționează corect.

Diagnoza bazată pe model („model based diagnosis”) reprezintă o formalizare matematică a unui proces de diagnoză din realitate, fiind sugerată pentru prima dată de către R. Reiter [R87], extinsă mai târziu de Kleer, Mackworth și Reiter [KM92] și completată de P. Struss și U. Heller [SH98]. Diagnoza bazată pe model este cea mai riguroasă tehnică de diagnoză putând fi aplicată la o mare varietate de sisteme. Ea folosește judecăți rezultate din

principiile fundamentale ale logicii clasice și implică folosirea cunoștințelor despre modul de funcționare a sistemului așa cum este descris prin modelul său.

În diagnoza bazată pe model, accentul se pune pe relațiile logice dintre componentele unui sistem complex, astfel încât funcționarea fiecărei componente în parte și interconexiunile sale cu celelalte componente ale sistemului, sunt prezentate sub forma unui sistem logic denumit **descrierea sistemului** („system description”) (SD). Comportarea așteptată a sistemului este deci o consecință logică a descrierii sistemului. Existența unei componente defecte conduce la **inconsistența** (incoerența) dintre comportarea observată a sistemului și descrierea sistemului. De aceea, determinarea componentelor defecte, sau diagnoza sistemului, este redusă la găsirea componentelor pentru care presupunerea că nu funcționează corect (sunt defecte) poate explica toate inconsistențele. Deci diagnoza bazată pe model este de fapt un proces de inferență logică a afirmațiilor despre model: descriere și observații. Acest proces de inferență poate fi realizat cu ajutorul unei mașini de inferență care este capabilă să prelucreze relații logice de orice tip.

Prezența unui simptom conduce la identificarea unei mulțimi de componente concurente ale sistemului, presupuse a fi defecte, ca și candidate inițiale pentru explicarea lui. Componentele sunt desigur concurente pentru că fiecare dintre ele ar putea explica singură simptomul în discuție, dacă într-adevăr ea ar fi defectă. Pentru mai multe simptome, diagnoza trebuie să identifice mulțimea minimă dintre componente concurente care contribuie la apariția tuturor simptomelor în discuție. Această mulțime minimă intersectează toate mulțimile de componente concurente definite pentru fiecare simptom în parte (adică ea va conține cel puțin un element din fiecare mulțime) și ea înlătură complet inconsistența dintre observațiile asupra sistemului (simptome) și descrierea sistemului (funcționarea dorită a sistemului). Determinarea acestei mulțimi minimale se realizează în două etape: mai întâi se generează componentele candidate pentru fiecare simptom și apoi se calculează mulțimea minimă de componente defecte.

Diagnoza bazată pe model are două mari dezavantaje care limitează mult aplicarea ei în practică. În primul rând pentru sisteme complexe modelele rezultate sunt extrem de mari și deci dificil de aplicat. În al doilea rând, algoritmi de determinare a mulțimii minime de elemente defecte necesită un timp de calcul care crește exponențial cu complexitatea modelului. Pentru evitarea acestor dezavantaje se caută realizarea unor modele cât mai simple ale sistemului și a unor algoritme eficiente de determinare a mulțimii minimale de diagnoză.

La descrierea sistemului se acceptă un nivel de reprezentare care să fie un compromis între precizie și volumul de informații cuprinse. Fiecare problemă practică are caracteristici specifice și deci poate conduce la modele mai mult sau mai puțin extinse și complicate care servesc unor anumite scopuri concrete în funcție de necesitățile avute în vedere.

La determinarea mulțimii minimale de diagnoză îmbunătățirile algoritmului trebuie să ia în considerare condițiile particulare ale problemei analizate.

În literatura dedicată problemei diagnozei pe model [FV02], se recomandă găsirea unor reguli simptom – cauză („symptom to cause”) extrase din experiența experților umani cu privire la sistemul care este supus diagnozei. Găsirea unor astfel de reguli poate fi un proces greoi, consumator de timp, expus la posibile erori umane, proces care trebuie urmărit și perfecționat continuu. De asemenea, se prezintă relația dintre determinarea mulțimii minimale de diagnoză și problema cunoscută în limba engleză sub denumirea de „hitting set problem” – problema mulțimii țintă (problema de găsire a mulțimii țintă). O mulțime țintă pentru o

colecție de submulțimi este o mulțime care intersectează toate mulțimile colecției adică mulțimea care conține cel puțin un element din fiecare submulțime a colecției. Se arată că determinarea mulțimii minime de diagnoză nu este de fapt decât determinarea mulțimii țintă minimale („minimal hitting set”) (MHS). O cale posibilă de rezolvare a determinării MHS este utilizarea programării în numere întregi.

Din cele expuse se constată că rezolvarea problemei de diagnoză nu depinde de sistemul concret studiat. Din acest motiv este posibilă construirea unei mașini generale de diagnoză („general diagnosis engine”) (GDE) care să fie capabilă să genereze și să testeze soluții pentru orice fel de sisteme. GDE realizează o simulare cauzală considerând observații asupra unor variabile și folosind reguli pentru a calcula valorile altor variabile din sistem.

GDE combină rezultatele modelului unui anumit sistem cu observațiile efectuate asupra lui pentru a detecta discrepanțele care apar. Deci ea stabilește cauzele primare care ar putea genera discrepanțele ce au condus la funcționarea necorespunzătoare a sistemului. GDE, consideră o mulțime de ipoteze și stabilește, printr-o inferență cauzală, valorile unor variabile din sistem. Apoi mașina face o corespondență între valorile calculate și cele observate. Atunci când pentru o anumită variabilă a sistemului se găsesc două valori diferite apare o discrepanță care ne conduce la concluzia că presupunerile inițiale sunt inconsistente (unele sunt iar altele nu sunt adevărate). Problema diagnozei este de a stabili care dintre presupunerile inițiale (mai precis cauzele ce stau la baza lor) nu sunt adevărate.

La funcționarea normală a sistemului, simularea cauzală nu determină nici o discrepanță. La apariția unui defect apar multiple seturi inconsistente de presupuneri. Procesul de căutare a mulțimilor inconsistente continuă până la finalizarea simulării cauzale cu alte cuvinte parcurgerea tuturor regulilor care formează descrierea sistemului.

Următorul pas al diagnozei este găsirea mulțimii minime de presupuneri neadevărate care contribuie la existența inconsistenței mulțimilor de presupuneri. Prin urmare ea este intersecția minimă a tuturor mulțimilor de presupuneri astfel încât negând toate elementele ei se va ajunge la îndepărtarea tuturor inconsistențelor. Această mulțime constituie rezultatul căutat al diagnozei.

GDE se confruntă cu două probleme importante:

- complexitatea programului care o implementează pe un sistem de calcul;
- calculele pe care le efectuează cresc exponențial cu dimensiunea sistemului supus diagnozei.

Complexitatea programului se poate controla în limite rezonabile prin folosirea unui limbaj de programare adecvat, în acest sens fiind recomandabile limbajele declarative specifice Inteligenței Artificiale: Prolog, LISP etc.

A doua limitare este de departe și mai restrictivă. După cum se precizează și în [FV02] determinarea MHS este de fapt o problemă de programare în numere întregi NP - complexă. Totuși, asocierea problemei diagnozei la problema decidabilității booleene („satisfiability problem”) și la problema de programare în numere întregi conduce la dezvoltarea unor algoritmi cu performanțe îmbunătățite și cu o arie mai largă de aplicabilitate.

În concluzie ideea folosirii unei GDE este puternic limitată de complexitatea sistemului când pentru a reduce durata diagnozei trebuie considerate caracteristicile specifice ale acestuia, ceea ce de fapt este o abandonare tacită a ideii de universalitate.

3.2 Teoria de diagnoză a lui Reiter

În această secțiune se prezintă metoda standard pentru calcularea diagnozei bazată pe consistență („consistency-based diagnosis”) așa cum a fost propusă de R. Reiter [R87]. Deși această teorie este bazată pe logica de ordinul unu cele mai multe dintre problemele studiate în literatura de specialitate nu utilizează complet logica de ordinul unu și deci se poate folosi un limbaj propozițional.

3.2.1 Definiții de bază

Sistemele pentru care trebuie realizată diagnoza se descriu printr-o mulțime de formule propoziționale. Pentru fiecare componentă X a sistemului se va utiliza o variabilă propozițională de forma okX pentru a indica dacă acea componentă funcționează așa cum ar trebui. Dacă nu există evidențe (simptom) care să indice o funcționare neașteptată a sistemului atunci se presupune că toate variabilele de forma okX sunt adevărate.

Definiția 1

Un sistem este o pereche (SD, ASS) unde:

1. SD , descrierea sistemului, este o mulțime finită de formule ale logicii propozițiilor L și
2. ASS , mulțimea de presupuneri, este o mulțime finită de variabile propoziționale de forma okX .

Orice observație este o formulă a lui L . În anumite situații sistemul se reprezintă în mod extins prin tripletul (SD, ASS, OBS) unde OBS este un set de observații pentru sistemul reprezentat redus (SD, ASS) .

Necesitatea diagnozei unui sistem izvorăște din observarea unei funcționări neașteptate a lui adică atunci când se constată că reuniunea $SD \cup ASS \cup OBS$ este inconsistentă. Diagnoza este mulțimea minimală de presupuneri care trebuie negate pentru a restaura consistența reuniunii. Conform lui Reiter [R87] există:

Definiția 2

O diagnoză pentru $SD \cup ASS \cup OBS$ este o mulțime minimală $D \subseteq ASS$ astfel că:
 $SD \cup OBS \cup ASS \setminus D \cup \{\neg okX \mid okX \in D\}$ este consistentă.

Uneori pentru un sistem diagnoza poate să nu existe, cu alte cuvinte $D = \emptyset$.

Propoziția 1

Pentru sistemul (SD, ASS, OBS) există o diagnoză dacă și numai dacă $(SD \cup OBS)$ este consistentă.

Dacă mulțimea $(SD \cup OBS)$ este inconsistentă, atunci evident, este imposibil ca vreuna dintre submulțimile $D \subseteq ASS$ să îndeplinească condiția de a fi diagnoză; deci nu există diagnoză. Pe de altă parte dacă $(SD \cup OBS)$ este consistentă cel puțin mulțimea ASS este o diagnoză.

Propoziția 2

O mulțime $D \subseteq ASS$ este o diagnoză pentru (SD, ASS, OBS) dacă și numai dacă D este o mulțime minimală astfel încât $SD \cup OBS \cup (ASS \setminus D)$ este consistentă.

Definiția dată de Reiter pentru diagnoză este strâns legată de formalizările raționamentului non monoton¹ cum ar fi circumscrierea [M80], care încearcă să minimizeze presupunerile de anormalitate, sau cum ar fi inferențele bazate pe probabilitate [GM94] care încearcă să maximizeze folosirea presupunerilor de normalitate. Este posibilă și o abordare a diagnozei pe calea raționamentelor obișnuite raportând diagnoza de tip Reiter într-un sistem de referință special construit [P89].

3.2.2 Calculul diagnozei

Metoda propusă de Reiter utilizează conceptele de *mulțime de conflicte* (mulțimi de elemente concurente) („conflict sets”) și de mulțimi țintă („hitting sets”). O *mulțime de conflicte* este o mulțime de presupuneri care pentru o observație dată nu pot fi toate adevărate.

Definiția 3

O *mulțime de conflicte* pentru sistemul (SD, ASS, OBS) este o mulțime $Conf = \{okX_1, okX_2, \dots, okX_n\} \subseteq ASS$ astfel încât $SD \cup OBS \cup Conf$ este inconsistentă. O *mulțime de conflicte* este minimală dacă nici o submulțime a sa nu este o mulțime de conflicte.

Din Propoziția 2 și Definiția 3 se deduce că o mulțime D este o diagnoză pentru (SD, ASS, OBS) dacă și numai dacă D este o mulțime minimală astfel încât $ASS \setminus D$ nu este o mulțime de conflicte pentru (SD, ASS, OBS) .

Propoziția 3

O mulțime $D \subseteq ASS$ este o diagnoză pentru sistemul (SD, ASS, OBS) dacă D este o mulțime minimală astfel încât $ASS \setminus D$ nu este o mulțime de conflicte.

O mulțime țintă pentru o colecție S de submulțimi nevide este o mulțime care intersectează toate submulțimile colecției.

Definiția 4

Fie C o colecție de mulțimi S_i . O mulțime țintă pentru C este submulțimea $H \subseteq \bigcup_{S_i \in C} S_i$, astfel încât pentru fiecare $S_i \in C$, $H \cap S_i$ nu este vidă. O mulțime țintă H pentru C este minimă dacă și numai dacă nici o submulțime propriu-zisă a sa nu este mulțime țintă a lui C .

Următoarea teoremă prezintă o soluție de căutare a mulțimii de diagnoză.

Teorema 1

Mulțimea $D \subseteq ASS$ este o diagnoză minimală pentru (SD, ASS, OBS) dacă și numai dacă D este o mulțime țintă minimă pentru colecția mulțimilor minimale de conflicte pentru (SD, ASS, OBS) .

Din Propoziția 3 se știe că $ASS \setminus D$ nu este o mulțime de conflicte pentru (SD, ASS, OBS) . Prin urmare orice mulțime de conflicte conține un element al lui D așa că D este o mulțime țintă pentru colecția de mulțimi de conflicte. Dacă D ar fi o mulțime de conflicte atunci ea nu ar mai fi o mulțime țintă.

În figura 3.1 se prezintă sintetic metoda de diagnoză bazată pe model dezvoltată de Reiter.

¹ logică non monotonă = extinderea premiselor poate conduce la retragerea unei concluzii

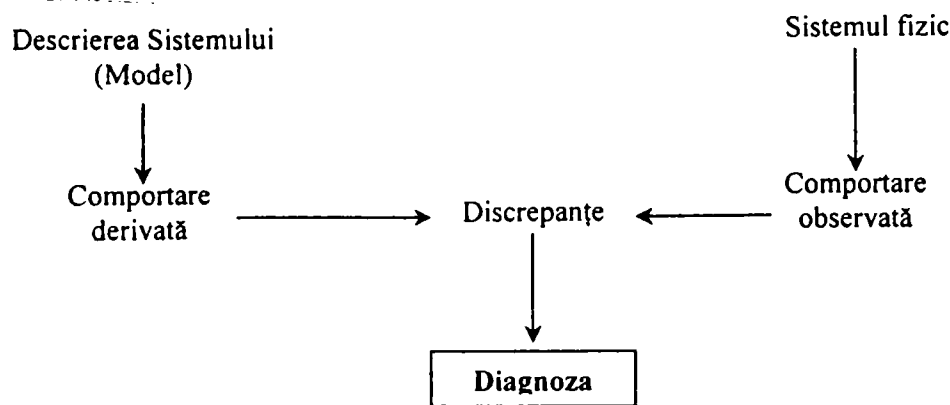


Figura 3.1 Diagnoza bazată pe model a lui Reiter

3.3 Extinderea teoriei de diagnoză a lui Reiter

O extindere a diagnozei tradiționale prezentate de Reiter este realizată de P. Struss și U. Heller [SH98].

Diagnoza bazată pe consistență dezvoltată de Reiter pornește de la faptul că un set de observații *OBS* este inconsistent cu descrierea sistemului, *SD*, și de la presupunerile că toate componentele funcționează corect. Ca urmare, procedura de diagnoză este organizată ca o căutare a presupunerilor de funcționare corectă a elementelor componente, care negate să conducă la eliminarea inconsistenței. Dar pentru unele sisteme nu este necesară găsirea elementelor componente defecte, pentru că ele pot să nu existe, ci mai degrabă este necesară găsirea cauzelor care conduc la o funcționare considerată nepotrivită față de anumite norme care se impun din afara sistemului. În aceste cazuri inconsistențele apar nu datorită defectării unuia sau a mai multor elemente componente ale sistemului ci datorită intențiilor și scopurilor noastre care nu se suprapun peste situația de fapt în care se află sistemul în cauză. Ca urmare trebuie incluse în *SD* și condițiile de comportare în funcționare a elementelor constituente. Schema propusă pentru *SD* este următoarea [SH98]:

- DOMENIUL ABORDAT DE TEORIE
- STRUCTURĂ
 - TIPURI DE OBIECTE
 - RELAȚII ÎNTRE OBIECTE
- COMPORTARE ÎN FUNCȚIONARE
 - ASOCIERI CANTITATIVE
 - TIPURI DE COMPORTAMENTE
- SPECIFICAȚII ALE SISTEMULUI
 - (obiecte, relații, parametrii)
- SPECIFICAȚII ALE SITUAȚIEI.
 - (variabile)
- LEGI DE BAZĂ

Domeniul abordat de teorie

Acesta cuprinde toate cunoștințele la un moment dat despre domeniul respectiv adică domeniul tuturor sistemelor de o anumită clasă. Aici se pot distinge separat *constituenți structurali* (obiecte) și *constituenți de comportare în funcționare* (processe sau alte părți ale modelului).

Ontologia structurală constă din:

- *tipuri de obiecte* care apar în descrierea structurii, entități care se disting spațial etc.; tipurile de obiecte pot fi structurate ierarhic.
- *relații între obiecte* care caracterizează configurația obiectelor; se pot specifica unele proprietăți ale relațiilor.

Domeniul abordat de teorie trebuie de asemenea să asigure un vocabular pentru descrierea comportării sistemului și mecanismele de inferență prin care se obțin constituenții de comportare din descrierea structurală. Se introduc:

- *asocieri cantitative* - parametri și variabilele de stare se vor asocia cu instanțe ale tipurilor de obiecte.
- *tipuri de comportamente în funcționare* - acestea sunt fenomene fizice care se consideră că ele contribuie la funcționarea sistemului ca întreg. Ele pot reprezenta legi de bază sau procese. Ele apar în mod determinist în anumite condiții și apariția lor generează efecte particulare.

Datele sistemului

Un anumit sistem este caracterizat de propria *structură de obiecte* adică instanțe ale tipurilor de obiecte și cupluri individuale de relații între obiecte și *valori ale parametrilor* pentru obiecte care apar în sistemul fizic.

Datele situației

O situație particulară a unui anumit sistem este caracterizată de anumite *valori ale variabilelor*. În funcție de context și de ceea ce se urmărește acestea pot fi măsurători curente, specificații ale unor scopuri de urmărit, ipoteze etc.

Legi de bază

Se includ o parte a legilor fundamentale care determină formarea modelului sistemului, cum se combină influențele și predicția de-a lungul timpului (continuitate, integrare etc.). Ele nu pot fi specificate arbitrar – dar reprezintă mai degrabă echivalentul logic al aspectelor procedurale ale componentelor software de compunere și predicție a modelului. Călea de modelare permite modificări dinamice în mulțimea proceselor active și de aceea se deosebește de călea de a reprezenta sistemele ca o succesiune de procese predefinite unde este posibil să apară defecte foarte asemănător ca și în cazul componentelor.

3.4 Determinarea mulțimii țintă minime

Problema determinării mulțimii țintă minime (MHS) este legată de problema diagnozei [R87]. Ea este descrisă pe scurt în continuare.

Se dă o colecție $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ de submulțimi nevide ale unei mulțimi M . O mulțime țintă a lui S este o submulțime $H \subseteq M$ care intersectează fiecare submulțime din S adică $S_j \cap H \neq \emptyset$ pentru orice $j = \overline{1, m}$. Desigur există soluția banală, adică mulțimea M , soluție care trebuie evitată. Pentru început se poate pune problema determinării mulțimii țintă H pentru sistem S de submulțimi ale mulțimii M astfel încât $H \subseteq M$ și $|H| \leq c|M|$ iar $1/2 < c < 1$ [FV02] dar pentru realizarea diagnozei este interesantă mulțimea țintă minimă.

Așa cum s-a precizat în subcapitolul precedent, fiecare simptom identifică o mulțime de componente ca și candidate inițiale, componente care sunt în conflict ca și valoare de adevăr unele cu altele. Mulțimea țintă minimă este cea mai mică mulțime de componente candidate care intersectează toate mulțimile candidate. Principala teoremă din teoria diagnozei bazate pe model spune că mulțimea minimă de diagnoză este exact MHS [FV02] (figura 3.2).

Algoritmul dezvoltat de Reiter [R87] pentru determinarea MHS este unul dintre cele mai importante. Algoritmul este bazat pe generarea colecției S de submulțimi a mulțimii M și apoi extragerea colecției de submulțimi care constituie MHS. Colecția S este colecția mulțimilor de conflicte iar mulțimea M este mulțimea tuturor elementelor sistemului supus diagnozei. Determinarea MHS cu acest algoritm presupune un volum de memorie și timp de calcul care cresc exponențial cu mărimea colecției S . În [FV02] se prezintă o soluție care presupune memorie și volum de calcul care cresc liniar cu mărimea sistemului S .

În prezenta lucrare soluția abordată pentru determinarea MHS are două etape. În primul rând se asociază problema diagnozei cu problema decidabilității monotone booleene (monotone Boolean satisfiability problem), iar în al doilea rând, se prezintă o soluție euristică de căutare exhaustivă a MHS.

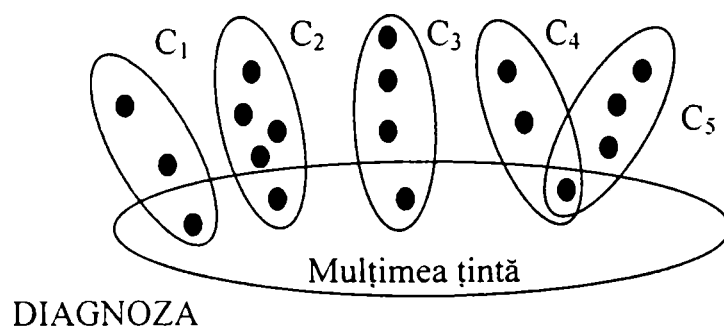


Figura 3.2. Diagnoza ca mulțime țintă a mulțimilor conflictelor

Etapa I-a Asocierea problemei de diagnoză cu problema de decidabilitate booleană

Problema decidabilității booleene se poate enunța pe scurt astfel: fiind dată o expresie booleană E , se decide dacă există o atribuire a valorilor de adevăr pentru variabilele din E , astfel încât E să fie adevărată. O expresie booleană este compusă din variabile, negații logice, conjuncții logice și paranteze.

Prima problemă necesar a fi demonstrată că este NP-completă este problema decidabilității booleene. Problemele NP-complete (Nondeterministic Polynomial time complete), sunt probleme din categoria problemelor de decizie computațională și care sunt un subset al problemelor NP (adică cele care pot fi rezolvate de o Mașină Turing nondeterministică într-un timp de calcul polinomial) cu specificația că sunt de asemenea NP-hard (o proprietate a problemelor de căutare computațională). De aceea o soluție pentru o problemă NP-complet va rezolva toate problemele NP. Nu toate problemele NP sunt și NP-complet.

Un algoritm nondeterministic este un algoritm care poate oferi mai multe soluții la o anumită problemă. O cale de a implementa un algoritm nondeterministic este metoda de căutare a soluțiilor cu revenire (backtracking).

O problemă este NP-hard dacă rezolvarea ei într-un timp de calcul polinomial va face posibilă rezolvarea tuturor problemelor din clasa NP într-un timp polinomial de calcul. Unele probleme NP-hard sunt NP (acestea sunt denumite NP-complet) altele nu. Dacă se poate

reduce o problemă NP la o problemă NP-hard care se poate rezolva într-un timp de calcul polinomial atunci se pot rezolva toate problemele NP.

Există întotdeauna un algoritm cu timp de calcul polinomial care va transforma un enunț al unei probleme NP-complet într-un enunț al altei probleme NP-complet. Prima problemă descoperită a fi NP-complet a fost problema decidabilității booleene.

Pentru a descrie asocierea problemei de diagnoză cu problema de decidabilitate booleană se consideră următoarea descriere matricială a apartenenței membrilor (sau componentelor mulțimii M) la submulțimile candidate inițial (adică elementele componente ale colecției S):

$$A = \begin{matrix} & m_1 & m_2 & \dots & m_n \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & & 0 \\ 0 & 1 & & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3.1)$$

unde: $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ - colecția de submulțimi nevide
 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ - mulțimea membrilor (elementelor mulțimii M)

Elementele matricei A au următoarele valori: $a(i,j) = 1$ dacă $m_j \in S_i$ și $a(i,j) = 0$ dacă $m_j \notin S_i$. În continuare se introduc variabilele booleene x_1, x_2, \dots, x_n unde fiecare x_j dintre ele reprezintă un membru m_j . Atunci, la fiecare submulțime $S_i = \{m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{in}\}$, adică fiecare linie a matricei A , corespunde disjuncția:

$$F_i = x_{i1} \cup x_{i2} \cup \dots \cup x_{in} \quad (3.2)$$

adică pentru fiecare „1” din linia i a matricei A variabila booleană corespunzătoare apare în disjuncția (2), cum ar fi de exemplu $F_i = x_2 \cup x_3 \cup x_6$. Atunci următoarea formulă

$$F_S = F_1 \cap F_2 \cap \dots \cap F_m \quad (3.3)$$

reprezintă asocierea problemei determinării MHS pentru sistemul S la problema decidabilității booleene în sensul că fiecare mulțime țintă a sistemului S corespunde cu un grad de confirmare satisfăcător la formula F_S și vice-versa. Fie (h_1, h_2, \dots, h_n) un vector boolean care satisface formula (3) și fie $H \subseteq M$ mulțimea corespunzătoare. Ecuația (2) garantează că H intersectează mulțimea S_i și ecuația (3) garantează că H intersectează toate mulțimile S_1, S_2, \dots, S_m . De aceea H este o mulțime țintă.

Deoarece formula (3) este monotonă trebuie evitate cazurile banale. De exemplu vectorul boolean unitar $(1, 1, \dots, 1)$ va fi întotdeauna o soluție (este echivalentul întregii mulțimi M). De aceea se procedează la limitarea cardinalului mulțimii H astfel: numărul elementelor lui H să fie $\leq c \cdot n$ unde $c \in (0.5, 1)$.

Etapa a II-a. Metoda euristică de căutare exhaustivă a MHS

Pentru determinarea mulțimii țintă minime ale mulțimilor de conflicte S_i (elemente concurente) reprezentate de liniile matricei A , s-a dezvoltat o metodă de căutare exhaustivă la care elementul de originalitate constă în introducerea unor elemente euristice pentru găsirea mai rapidă a soluției. În cele ce urmează se descrie această metodă.

După cum s-a arătat în paragraful precedent, pentru fiecare simptom observat asupra sistemului supus diagnozei, în matricea A apare o submulțime S_i de conflicte formată din membrii mulțimii M care ar putea fi cauza simptomului. Desigur cel puțin unul dintre ei este cauza simptomului și nu este obligatoriu să fie toți membrii submulțimii S_i . Determinarea mulțimii țintă minime constă în a determina o mulțime care să cuprindă suficienți membri m_j

astfel încât să fie explicat fiecare simptom S_i . Desigur că unii membrii se pot repeta pentru diferite simptome și ca urmare numărul membrilor MHS poate fi mai mic decât numărul simptomelor.

Primul pas al metodei euristice dezvoltate este ordonarea descrescătoare a mulțimii membrilor $M = \{m_j, j = \overline{1, n}\}$, în funcție de numărul de apariții în mulțimile de conflicte $S_i, i = \overline{1, m}$, corespunzătoare simptomelor. În momentul în care va începe căutarea soluției se va porni cu primul element din mulțimea ordonată care apare ca și cauză posibilă pentru cel mai mare număr de simptome.

Dacă pentru un anumit simptom i mulțimea corespunzătoare a conflictelor S_i are un singur membru m_j , atunci acesta va face parte obligatoriu din MHS. Identificând toți membrii de acest tip, se poate construi o mulțime *Start* care va fi o submulțime a matricei MHS. Acest lucru este foarte important în procesul de determinare a MHS deoarece reduce dimensiunea problemei. Prin urmare, din mulțimea M a membrilor se elimină membri care apar în mulțimea *Start*. Mulțimea astfel obținută o vom numi mulțimea M redusă - M_r . Din matricea A inițială se va obține matricea redusă - A_r - din care lipsesc coloanele corespunzătoare membrilor componenți ai mulțimii *Start* și liniile corespunzătoare submulțimilor S_i cu un singur membru.

În continuare se testează dacă mulțimea *Start* nu este deja o mulțime țintă. Dacă da atunci procesul de căutare se oprește. Mulțimea *Start* este chiar mulțimea țintă minimă căutată. Dacă în urma testării ea nu este o mulțime țintă atunci pe matricea redusă A_r se realizează o căutare exhaustivă până la determinarea MHS.

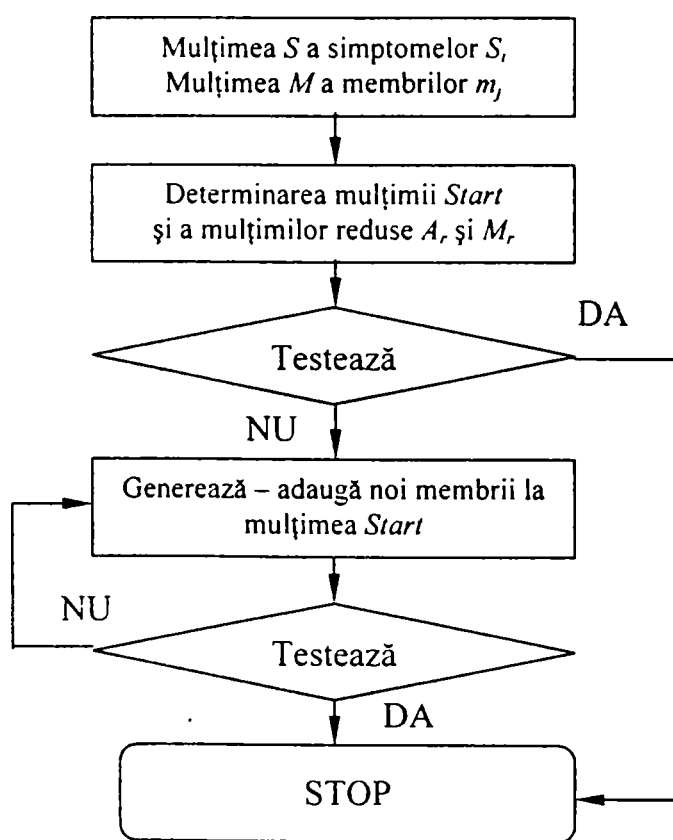


Figura 3.3 Schema logică a algoritmului de determinare a MHS

Metoda de căutare dezvoltată aplică o tehnică de programare nedeterministă de tipul „generează – testează”. Aceasta este de fapt compusă din două reguli: regula „generează” care este o regulă recursivă și care va genera o soluție probabilă a problemei urmată de o a doua regulă „testează” care va fi adevărată doar dacă soluția propusă este mulțime țintă. Prima

regulă fiind nedeterministă execuția ei se va repeta, generând variante noi, până când varianta propusă va fi verificată.

Căutarea exhaustivă adaugă la mulțimea *Start* câte un membru m_k , care apare încă între coloanele matricei reduse A_r și apoi verifică dacă mulțimea rezultată este mulțime țintă. Dacă la epuizarea întregii liste a membrilor nu s-a determinat MHS se adaugă combinații de câte doi membrii diferiți urmată de verificarea dacă mulțimea rezultată este o mulțime țintă. Operația continuă cu adăugarea unui număr din ce în ce mai mare de membrii până ce în urma testării rezultă că mulțimea respectivă este mulțime țintă. Acea mulțime este mulțimea țintă minimă deci chiar mulțimea de diagnoză căutată.

Referitor la timpul de calcul necesar căutării exhaustive el crește exponențial cu dimensiunea mulțimii reduse a membrilor (coloanele din matricea redusă A_r). Totuși, având în vedere posibilitățile de calcul ale calculatoarelor actuale, pentru un număr de membrii mai mic decât 10 pentru matricea redusă M_r , acest timp este foarte mic.

În cele ce urmează se prezintă implementarea în limbajul Prolog a metodei de determinare a MHS descrisă mai sus.

```
detMHS(Start, Nr):-          % determină Minimal Hitting Set
                           % Nr - numărul mulțimilor de conflicte
    testeaza(Nr, 1, Start), !, % testează dacă Start este chiar MHS
                           % și dacă da oprește recursivitatea
    salveaza(Start).        % salvează lista Start

detMHS(Start, Nr):-        % Start nu este MHS
    genereaza(MHS, Start), % generează o soluție posibilă pentru MHS
    testeaza(Nr, 1, MHS),  % testează dacă soluția generată este
                           % potrivită, dacă nu se va genera o altă
                           % soluție
    salveaza(MHS),!.       % salvează soluția testată și oprește
                           % recursivitatea

detMHS(_, _):-            % afișează un mesaj dacă nu se poate
                           % determina MHS
    nl,nl,write("Nu există matrice TINTA !"),!.
                           % afișează și șterge apelurile recursive

genereaza(MHS, Start):-    % generează lista MHS pornind de la lista
                           % Start adăugând un element din lista redusă
                           % a membrilor
    lista_reg_cut(Mr),      % identifică lista redusă a membrilor
    apartine(Membru, Mr),  % determină un membru al lui Mr
    MHS=[Membru | Start].  % adaugă membrul determinat la Start

genereaza(MHS, Start):-
```

```
genereaza(Lista, Start),% generează recursiv lista Lista,
                        pornind de la lista Start
lista_reg_cut(Mr),      % identifică lista redusă a membrilor
apartine(Membru, Mr),  % determină un membru al lui Mr
                        % membrul determinat nu trebuie
                        % să aparțină mulțimii Lista
not(apartine(Membru, Lista)),
MHS = [Membru | Lista]. % adaugă membrul determinat la mulțimea Lista
                        % MHS este mulțimea nou formată

testeaza(Nr, N, _) :- N > Nr,!.          % condiția de oprire a apelului
                                        recursiv pentru regula testează

testeaza(Nr, N, MHS) :-                  % testează dacă soluția propusă de regula
                                        generează este corectă
lista_S(N, _, Lista),!, % preia mulțimea de conflicte corespunzătoare
                        simptomului N și oprește recursivitatea
apartine(MHS, Lista), % un element din mulțimea MHS propusa trebuie
                        să fie in mulțimea Lista
NN=N+1, % incrementare contor; se trece la
        următorul simptom
testeaza(Nr, NN, MHS). % apel recursiv pentru regula testează
```

Capitolul 4

INDICATORI FUZZY DE APRECIERE A REGIMURILOR PERMANENTE ALE SEP

4.1 Aspecte teoretice referitoare la mulțimile fuzzy

4.1.1 Considerații generale

Mulțimile fuzzy și logica fuzzy au fost definite ca instrumente pentru lucrul cu incertitudini non-probabilistice legate de structura unei mulțimi de obiecte. Această teorie a fost enunțată în 1965, de către L. A. Zadeh, pe atunci profesor la „University of California – Berkeley”. La început teoria a fost primită cu neîncredere, chiar cu ostilitate, fiind necesari aproape 20 de ani până când datorită avantajelor și posibilităților pe care le oferă să se impună ca o teorie cu nenumărate aplicații. În prezent teoria mulțimilor fuzzy și logica fuzzy este considerată una dintre cele mai importante teorii ale secolului XX iar L. A. Zadeh a primit medalia de onoare acordată de IEEE „pentru pionieratul în dezvoltarea logicii fuzzy și numeroasele și diversele aplicații ale acesteia”.

Teoria mulțimilor fuzzy și logica fuzzy formalizează un mod de operare cu elemente care au un anumit grad de nedeterminare. Propozițiile nu sunt considerate ca fiind în totalitate adevărate sau false. În acest caz valoarea de adevăr a aserțiunilor nu mai este 0 sau 1 ci aparține intervalului real $[0, 1]$, potrivit unor funcții de apartenență. Acest mod de gândire este caracteristic intelectului uman care nu utilizează simboluri discrete și numere pentru reprezentarea realității ci reprezentări calitative și termeni lingvistici.

Marele avantaj al logicii fuzzy este că realizează o legătură între limbajul formal (procesare simbolică) și caracterizările cantitative (procesare numerică), dând o interpretare coerentă incertitudinilor și oferind mijloace de operare cu incertitudini [C8, C32].

4.1.2 Definiția mulțimilor fuzzy

Mulțimile fuzzy pot fi legate conceptual de proprietățile intrinseci de incertitudine ale modelului. Ele fac posibilă formalizarea noțiunii de posibilitate astfel încât posibilitățile individuale ale unor obiecte pot fi încadrate într-un concept semantic. O mulțime fuzzy este definită prin patru componente [C8]:

- un domeniu care reprezintă populația mulțimii fuzzy;
- reprezentările semantice asociate populației fuzzy;
- o scară a gradului de adecvare la semantica specifică a mulțimii (scară a gradului de apartenență la populația mulțimii fuzzy);
- o funcție care explicitează gradul de apartenență al unui element din domeniu la mulțime.

Esența reprezentării fuzzy a informației (denumită și reprezentare vagă) are la bază introducerea unei funcții de apartenență ca măsură a apartenenței unui element la o mulțime.

Definiție: Reprezentarea: $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$ definește *mulțimea fuzzy* A unde:

- X - *mulțimea de bază* (domeniu), o mulțime compactă sau o mulțime cu număr finit de elemente;

- x - valoarea fermă, element al mulțimii de bază;
- $\mu_A(x)$ - funcția de apartenență asociată mulțimii fuzzy A , funcție continuă pe intervale fiind definită astfel: $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$;
- $\mu_A(x_i)$ se numește *grad de apartenență* a valorii ferme $x_i \in X$ la mulțimea fuzzy A , adică $\mu_A(x_i)$ reprezintă gradul de încredere că elementul x_i are proprietatea asociată mulțimii A .

În figura 4.1 se exemplifică definiția mulțimilor fuzzy care caracterizează tensiunea pe bara colectoare a unei stații electrice de 110 kV [C8]. Evaluarea tensiunii este făcută în *termeni lingvistici-semantici* ca fiind: foarte scăzută, scăzută, normală, ridicată și foarte ridicată. Astfel o valoare a tensiunii cuprinsă în intervalul 105-115 kV poate fi apreciată ca *normală* iar o valoare cuprinsă în intervalul 107.5-112.5 kV este în mod apreciată ca *sigur normală*. Valorile din intervalele 100-105 kV și 115-121 kV sunt apreciate ca *scăzute* respectiv *ridicate*. Tensiunile care se plasează sub 100 kV și peste 121 kV sunt apreciate ca fiind *foarte scăzute* respectiv *foarte ridicate*. Gradul de apartenență a unei valori la unul dintre cei cinci termeni lingvistici este o măsură a conformității valorii cu semnificația clasei lingvistice. Gradul de apartenență se calculează cu ajutorul funcției de apartenență. Pentru cazul unor funcții liniare, așa cum se poate observa în figură, la valoarea tensiunii de 108 kV, vor rezulta următoarele grade de apartenență: 0.6 normală și 0.4 scăzută. Funcția de apartenență oferă deci o măsură cantitativă, numerică, a gradului de adecvare a valorii respective cu noțiunea semantică.

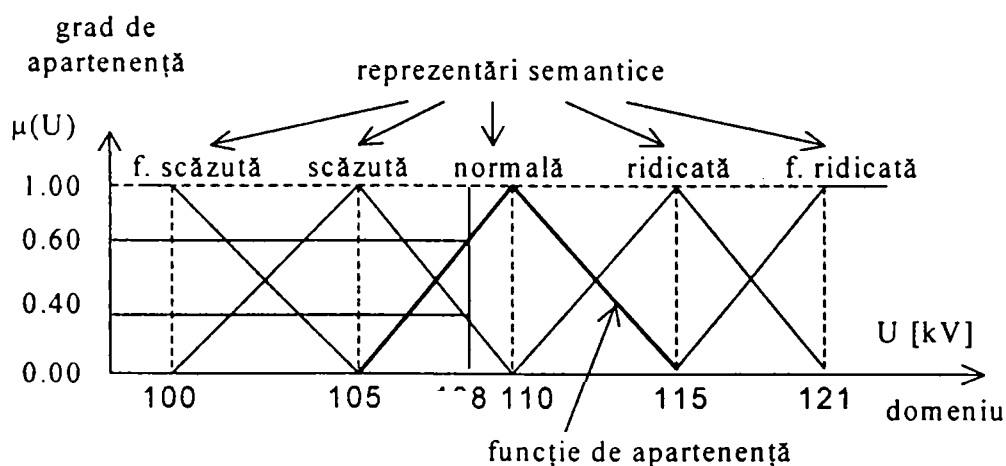


Figura 4.1 Exprimarea tensiunii pe barele de 110 kV cu ajutorul mulțimilor fuzzy

Dacă funcția de apartenență ia valori în intervalul $[0, 1]$ (cazul exemplului de mai sus) se spune că este normalizată. Normalizarea funcțiilor de apartenență este recomandată pentru a putea realiza cu acestea operații fuzzy.

Setul de elemente care compune o mulțime fuzzy, $S(A)$, este alcătuit din acele elemente care aparțin domeniului de definiție și au gradul de apartenență la mulțime (gradul de conformitate cu proprietățile mulțimii) mai mare ca zero:

$$S(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \tag{4.1}$$

Mulțimea elementelor care aparțin cel puțin în măsura α mulțimii fuzzy A se numește tăietura de nivel α a mulțimii fuzzy A :

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \tag{4.2}$$

Mulțimile fuzzy pot fi definite în mai multe feluri:

1. Prin mulțimea perechilor asociate:

$$A = \{(x_1, \mu_{1,A}(x_1)), (x_2, \mu_{2,A}(x_2)), \dots, (x_n, \mu_{n,A}(x_n))\} \quad (4.3)$$

Pentru exemplul de mai sus, perechile asociate pentru mulțimea „tensiune normală” pot fi:

$$A_{normală} = \{(105, 0), (108, 0.6), (110, 1), (111, 0.8), (113, 0.4), (115, 0)\}$$

2. Prin predicate fuzzy date printr-un factor de certitudine f_c .

În exemplul de mai sus, pentru mulțimea fuzzy „tensiune normală”, se pot defini următoarele predicate fuzzy:

$$\mu_{sigur}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } f_c < 0.8 \\ 1 & \text{dacă } 0.8 \leq f_c \leq 1 \end{cases} \quad (4.4)$$

adică valorile cuprinse între 109 și 111 kV;

$$\mu_{necunoscut}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } f_c > 0.2 \\ 1 & \text{dacă } 0 \leq f_c \leq 0.2 \end{cases} \quad (4.5)$$

adică valori din intervalele 105 la 106 kV și 114 la 115 kV;

$$\mu_{sigur \text{ NU } aparține \text{ clasei}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } f_c \in (0, 1] \\ 1 & \text{dacă } f_c \notin (0, 1] \end{cases} \quad (4.6)$$

valorile mai mici de 105 kV și mai mari de 115 kV.

3. Prin relații funcționale (funcții de apartenență):

Pentru exemplul de mai sus, în cazul mulțimii fuzzy „tensiune normală” se poate scrie:

$$\mu_{tensiune \text{ normală}}(U) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } U < 105 \text{ kV} \\ (U - 105)/(110 - 105) & \text{dacă } 105 \leq U \leq 110 \text{ kV} \\ (U - 110)/(115 - 110) & \text{dacă } 110 \leq U \leq 115 \text{ kV} \\ 0 & \text{dacă } U > 115 \text{ kV} \end{cases} \quad (4.7)$$

Mulțimea vidă fuzzy este definită prin funcția de apartenență $\mu_{\emptyset}(x) = 0$.

Forma funcțiilor de apartenență poate fi foarte variată dar este recomandat ca acestea să fie funcții convexe. Convexitatea mulțimilor fuzzy este proprietatea necesară pentru definirea operațiilor cu aceste mulțimi. Mulțimea fuzzy A este convexă dacă:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)); \quad x_1, x_2 \in X; \quad \lambda \in [0, 1] \quad (4.8)$$

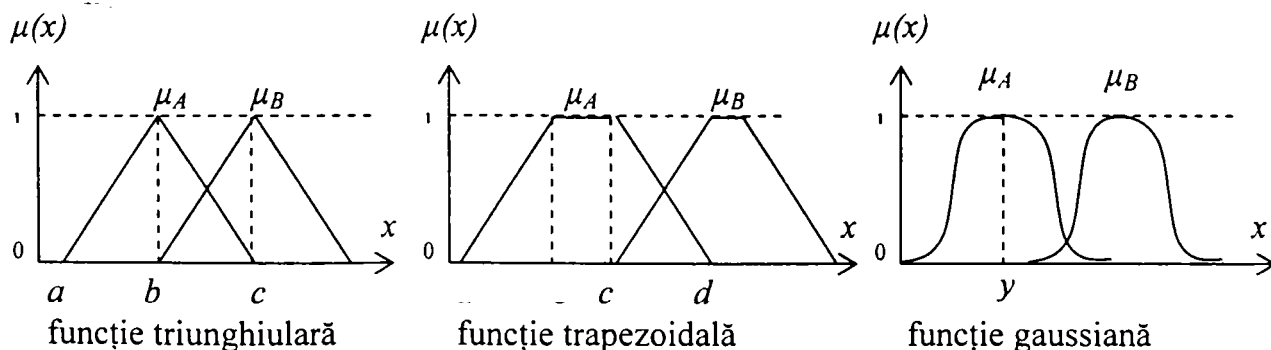


Figura 4.2 Principalele tipuri de funcții de apartenență

În figura 4.2 sunt prezentate formele cele mai frecvent utilizate funcții de apartenență. Ecuatiile de mai jos precizează expresiile acestora.

- funcții de apartenență triunghiulare:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } x < a \\ (x-a)/(b-a) & \text{dacă } a \leq x \leq b \\ 1-(x-b)/(c-b) & \text{dacă } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{dacă } x > c \end{cases} \quad (4.9)$$

- funcții de apartenență trapezoidale:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } x < a \\ (x-a)/(b-a) & \text{dacă } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{dacă } b \leq x \leq c \\ 1-(x-c)/(d-c) & \text{dacă } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{dacă } x > d \end{cases} \quad (4.10)$$

- funcții de apartenență gaussiene:

$$\mu_A(x) = e^{-K(x-x_0)^2} \quad (4.11)$$

4.1.3 Operații cu mulțimi fuzzy

Operațiile cu mulțimi fuzzy reprezintă operații cu funcțiile lor de apartenență. Principalele operații cu mulțimi fuzzy sunt definite astfel [C8]:

1. Egalitatea a două mulțimi fuzzy A și B :

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in U \text{ unde } U \text{ este } A \cup B \quad (4.12)$$

2. Intersecția a două mulțimi fuzzy A și B (figura 4.3):

$$A \cap B \Leftrightarrow C \text{ pentru care } \mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad \forall x \in U \quad (4.13)$$

Intersecția este echivalentul operației logice AND.

3. Reuniunea a două mulțimi fuzzy A și B (figura 4.3):

$$A \cup B \Leftrightarrow C \text{ pentru care } \mu_C(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad \forall x \in U \quad (4.14)$$

Reuniunea corespunde operației logice OR.

4. Cardinalul unei mulțimi fuzzy A :

- în cazul în care mulțimea fuzzy este definită prin valori discrete;

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x) \quad (4.15)$$

- în cazul în care mulțimea fuzzy este definită pe domenii continue.

$$|A| = \int_x \mu_A(x) \quad (4.16)$$

5. Complementara unei mulțimi fuzzy A , corespunzătoare operatorului logic NOT, este notată cu CA și are funcția de apartenență (figura 4.3):

$$\mu_{CA}(x) = 1 - \mu_A(x) \text{ pentru } \forall x \in A \quad (4.17)$$

6. Produsul cartezian a două mulțimi fuzzy A și B :

$$C = A \times B \Leftrightarrow C = \{x \in X | (x, \mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\})\} \quad (4.18)$$

7. Produsul algebraic a două mulțimi fuzzy A și B :

$$C = A \cdot B \Leftrightarrow C = \{x \in X | (\mu_A(x) \cdot \mu_B(x))\} \quad (4.19)$$

8. Puterea unei mulțimi fuzzy A :

$$A^m \text{ pentru care } \mu_{A^m}(x) = [\mu_A(x)]^m \quad (4.20)$$

9. Suma algebraică a două mulțimi fuzzy A și B :

$$A + B = \{x \in X | (\mu_{A+B}(x)) = \mu_A(x) + \mu_B(x) + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)\} \quad (4.21)$$

10. Diferența algebraică a două mulțimi fuzzy A și B :

$$A - B = A \cap CB \quad (4.22)$$

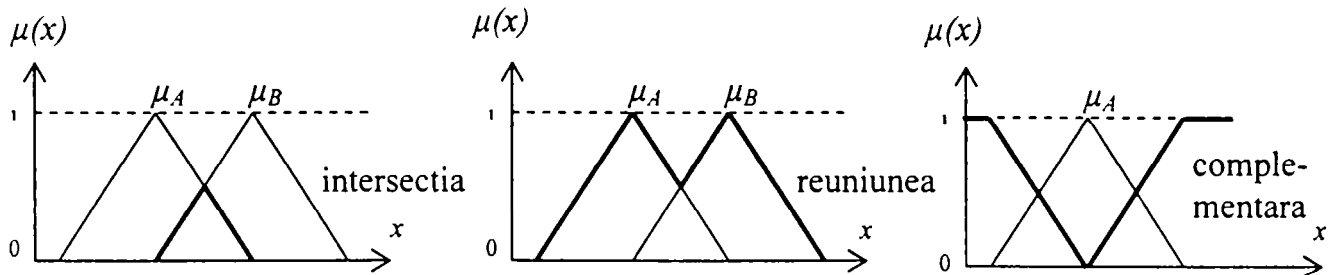


Figura 4.3 Reprezentarea operațiilor de intersecție, reuniune și complement pentru mulțimi fuzzy

4.1.4 Fuzificare și defuzificare

Operația de asociere a unui termen lingvistic și a unui grad de apartenență pentru o valoare numerică dată, astfel obținându-se o mărime fuzzy, poartă numele de **fuzificare**. Procesul invers care asociază unei mărimi fuzzy o valoare numerică precisă poartă numele de **defuzificare**.

Fuzificarea face trecerea din domeniul cuantificărilor numerice, specifice sistemelor tehnice, în domeniul aprecierilor logic cantitative specific gândirii umane. Defuzificarea realizează cuantificarea numerică a aprecierilor logic calitative, făcându-le accesibile sistemelor tehnice și matematice. Fuzificarea este în general un proces subiectiv. Operatorul uman atribuie termeni lingvistici unui domeniul fizic în conformitate cu experiența și cunoștințele proprii.

Pentru defuzificare sunt definite diverse metode care permit obținerea unei valori numerice printr-o expresie care combină funcțiile de apartenență. În continuare vom prezenta cele mai cunoscute procedee de defuzificare.

1. **Metoda centrului de greutate al suprafeței delimitată de maximele locale.** Prin această metodă se localizează centrul de greutate al figurii rezultată prin suprapunerea graficelor funcțiilor de apartenență:

$$x_0 = \frac{\int x \cdot \max\{\mu_{A_k}(x)\} \cdot dx}{\int \max\{\mu_{A_k}(x)\} \cdot dx} \quad (4.23)$$

2. **Metoda centrului de greutate al suprafeței rezultată prin însumarea valorilor individuale.** În acest caz se localizează centrul de greutate al figurii rezultată prin însumarea graficelor funcțiilor de apartenență:

$$x_0 = \frac{\int x \cdot \sum_k \mu_{A_k}(x) \cdot dx}{\int \sum_k \mu_{A_k}(x) \cdot dx} \quad (4.24)$$

3. **Metoda centrului de greutate al ariei convexe maxime.** Localizează centrul de greutate al ariei maxime:

$$x_0 = \frac{\int_{\text{arie convexă maximă}} x \cdot \max_k \{ \mu_{A_k}(x) \} \cdot dx}{\int_{\text{arie convexă maximă}} \max_k \{ \mu_{A_k}(x) \} \cdot dx} \quad (4.25)$$

4. **Metoda ponderării centrelor de greutate ale suprafețelor individuale.** Determină abscisa centrului de greutate prin medierea ponderată cu suprafața a centrelor de greutate ale ariilor graficelor funcțiilor de apartenență individuale:

$$x_0 = \frac{\sum_k \left(\int x \cdot (\mu_{A_k}(x)) \cdot dx \right)}{\sum_k \int \mu_{A_k}(x) \cdot dx} \quad (4.26)$$

5. **Metoda primului maxim absolut.** Selectează primul punct din domeniul numeric de definiție pentru care funcția de apartenență are valoarea maximă:

$$x_0 = \inf_x \{ x | \mu_A(x) = \max_x (\mu_A(x)) \} \quad (4.27)$$

6. **Metoda medierii maximelor locale.** Determină coordonatele punctelor din domeniul de definiție pentru care funcția de apartenență înregistrează maxime locale și face o mediere a acestor coordonate:

$$x_0 = \frac{\sum x}{nr. \max \text{ locale } \mu_A(x)} \quad (4.28)$$

4.1.5 Raționamentul fuzzy

Se știe că în logica booleană propozițiile sunt afirmații ce pot lua valoarea de *adevărat* sau *fals* și de asemenea că logica predicatelor este o extensie a logicii propozițiilor.

Elementele de bază ale unui model fuzzy sunt propozițiile fuzzy care lucrează cu variabile fuzzy. Propozițiile fuzzy stabilesc relațiile dintre termenii lingvistici și domeniul numeric de definiție. Acestea sunt de forma "x este A cu gradul de apartenență $\mu_A(x)$ ", unde x este o valoare scalară aparținând domeniul numeric Y și A este termenul lingvistic, iar evaluarea măsurii în care propoziția este adevărată se realizează cu ajutorul funcției de apartenență $\mu_A(x \in Y)$.

Elementul esențial al logicii fuzzy sunt *propozițiile condiționale*.

În logica clasică forma generală a unei propoziții condiționale este:

DACĂ <premise> **ATUNCI** <concluzie>

În logica fuzzy, premisele și concluzia sunt propoziții fuzzy:

DACĂ <premise fuzzy> **ATUNCI** <concluzie fuzzy>

Deci propoziția condițională fuzzy este:

DACĂ x este A cu gradul de apartenență $\mu_A(x)$

ATUNCI a este B cu gradul de apartenență $\mu_B(a)$

Formularea fuzzy echivalentă propoziției de mai sus este “ x aparține lui A cu gradul de apartenență $\mu_A(x)$ atunci a este un membru a lui B cu gradul de apartenență $\mu_B(a)$ ”.

Raționamentul fuzzy cuprinde toate legile și procedeele care permit determinarea gradului de adevăr al inferențelor care au ca obiect o submulțime fuzzy. Se pot identifica două categorii de raționamente fuzzy :

- *raționamentul monoton proporțional* lucrează numai cu implicațiile intrinseci ale propozițiilor condiționale fără a defini alte legi de inferență . Se poate considera că el funcționează ca o funcție proporțională între două submulțimi fuzzy. Un raționament de acest tip este regula *modus ponens generalizat* :

DACĂ < x este Y >

și

DACĂ < x este Y > **ATUNCI** < a este B >

atunci rezultă

< a este B >

- *raționamentul bazat pe regulile de compoziție a inferențelor* presupune definirea unei relații logico-matematice prin intermediul căreia se face transferul din spațiul premise-date, ca o submulțime fuzzy, în spațiul concluziilor care este de asemenea o mulțime fuzzy. Această relație de compoziție fuzzy are proprietăți specifice care fac diferența dintre ea și o funcție matematică. Legile de compoziție a inferenței sunt denumite “implicații fuzzy”. De exemplu, implicația *Kleene-Dienes* sau *implicația booleană* a fost definită prin analogie cu logica bivalentă, în care sunt posibile doar situațiile *adevărate* = 1 și *false* = 0 și adevărul inferenței $p \rightarrow q$ este evaluat cu relația $p \rightarrow q = \overline{p} \vee q$, reuniunea este obținută prin maximul dintre valorile:

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \max[(1 - \mu_A(u)), \mu_A(v)] \quad (4.29)$$

sau :

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = [(1 - \mu_A(u)) \vee \mu_A(v)] \quad (4.30)$$

Unul din instrumentele foarte importante în raționamentul fuzzy bazat pe reguli de compoziție a inferenței este principiul general pentru determinarea submulțimilor fuzzy ca rezultat al anumitor proceduri care lucrează cu submulțimi fuzzy. Este numit și *principiul de extensie*, *regula MINMAX* sau *principiul de încredere în rezultat*. Principiul general de extensie este definit:

Dacă $x_1, x_2, \dots, x_r = \underline{X}$ este produsul cartezian al spațiilor x_i , A_1, A_2, \dots, A_r sunt submulțimile fuzzy asociate spațiilor x_i și f este o funcție $f: \underline{X} \rightarrow Y, y = f(x_1, x_2, \dots, x_r)$, atunci submulțimea fuzzy B asociată spațiului Y este definit prin :

$$B = \{(y, \mu_B(y)) \mid y = f(x_1, x_2, \dots, x_r); (x_1, x_2, \dots, x_r) \in \underline{X}\} \quad (4.31)$$

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \sup(\min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_r}(x_r)\}) & \text{dacă} \\ f^{-1}(y) \neq \emptyset \text{ și } (x_1, x_2, \dots, x_r) \in f^{-1}(y); \\ 0 & \text{în caz contrar} \end{cases} \quad (4.32)$$

Gradul de apartenență a rezultatului la submulțimea fuzzy B nu poate fi mai mare ca și cel mai mic grad de apartenență a variabilelor fuzzy care conduc la acest rezultat. Altfel spus, valoarea de adevăr a rezultatului nu poate depăși valoarea minimă de adevăr a factorilor individuali care au contribuit la stabilirea lui. Dacă se ajunge la același rezultat pe mai multe căi (în mai multe situații) valoarea de adevăr a acestuia este echivalentă cu cea mai mare valoare găsită între valorile aferente a fiecărei căi (situații) în parte. Acest principiu este o extensie a implicației lui Kleene-Dienes.

4.2 Determinarea mărimilor de referință folosite la diagnoză

4.2.1 Stabilirea regimurilor de bază

La diagnoza regimurilor permanente de funcționare ale SEP trebuie apreciate valorile mărimilor electrice corespunzătoare regimului luat spre analiză: tensiunile în nodurile sistemului, puterile generate în nodurile generatoare, circulațiile de putere pe laturile SEP, pierderi de putere pe elementele de sistem etc. în raport cu principalele criterii de evaluare folosite: economicitate, stabilitate, fiabilitate etc. În urma analizei se face o apreciere globală a regimului considerat.

Analiza unui regim permanente al SEP poate fi realizată simplu numai pe baza existenței unor valori de referință la care se raportează mărimile electrice ale regimului considerat. Aceste mărimi de referință, corespunzând unei situații optime în raport cu obiectivele propuse, trebuie calculate pentru fiecare regim în parte.

Metoda clasică de determinare a mărimilor de referință este optimizarea regimului staționar curent cu ajutorul unor programe specializate în acest sens. În general, se acceptă ca optimizarea să se facă după criteriul cheltuielilor totale orare minime, rezultând mărimile electrice referite ca fiind optime: valorile tensiunilor în nodurile generatoare și compensatoare, valorile puterilor active generate și poziția ploturilor transformatoarelor și autotransformatoarelor. Deci, dacă pentru un regim oarecare se cunosc tensiunile optime corespunzătoare în toate nodurile și puterile active generate optime pentru toate generatoarele, atunci se poate aprecia, printr-un procedeu oarecare, dacă mărimile electrice ale regimului curent sunt sau nu "apropiate" de cele optime. În acest fel se poate acorda regimului în cauză un calificativ global care să oglindească situația lui în raport cu cea optimă.

La conducerea operativă a SEP, metoda prezentată mai sus, nu se poate aplica direct deoarece ea implică un volum foarte mare de calcul cauzat de necesitatea optimizării în timp real a regimului permanent de funcționare. Dar se știe că problema de optimizare se referă la ansamblul sistemului de putere considerat, având deci mari dimensiuni, motiv pentru care nu poate fi rezolvată în timp real. Prin urmare este absolut necesară introducerea unor simplificări importante privind stabilirea regimului optim, care totuși să nu reducă sensibil precizia rezultatelor.

În acest scop s-a elaborat metodologia descrisă în continuare.

Din totalitatea regimurilor staționare posibile, pentru un anumit SEP, se alege un număr mic de regimuri reprezentative, trei, numite **regimuri de bază**, care optimizate cu un

program de optimizare, furnizează trei seturi de mărimi electrice optime. Interesează tensiunile în noduri și puterile active furnizate de generatoare.

În cazul unui regim oarecare, al aceluiași sistem, printr-un procedeu simplu, se calculează mărimile electrice corespunzătoare denumite mărimi cvasi-optime. Desigur mărimile electrice cvasi-optime vor diferi într-o măsură oarecare de cele care s-ar obține prin optimizarea efectivă a regimului oarecare. Totuși din studiile efectuate și prezentate în capitolele următoare se constată că această diferență este foarte mică și nu influențează mult concluziile diagnozei.

Mărimile electrice cvasi-optime, tensiuni și puteri active generate, se obțin prin interpolare liniară între valorile optime ale celor două regimuri de bază cel mai apropiat situate de regimul oarecare considerat. Aproximarea se determină pe baza distanței euclidiene dintre puterea activă totală consumată în regimul oarecare considerat și puterile totale consumate în regimurile de bază. Stabilirea valorilor cvasi-optime se face foarte rapid, în timp real, deoarece calculele implicate sunt extrem de puține și simple.

Regimurile de bază se aleg pe baza curbei zilnice de sarcină a sistemului (figura 4.4). Ele se păstrează pe durata unui sezon, atâta timp cât curbele de sarcină zilnice nu diferă mult de la o zi la alta. În cazul în care curbele de sarcină zilnice ale consumatorilor se modifică semnificativ trebuie ales un nou set de regimuri de bază. Durata unui sezon se apreciază în funcție de anotimp, perioadele de concediu etc.

Regimurile de bază se pot schimba nu numai în funcție de sezon ci și de timpul zile în cadrul săptămânii: zile lucrătoare ale săptămânii, zilele de sfârșit ale săptămânii, perioadele de sărbători legale etc.

În studiile efectuate în continuare s-a ales un singur set de regimuri de bază pentru o configurație dată a SEP și pentru valori fixe ale consumatorilor (reprezentare prin putere constantă), considerându-se că datele disponibile aparțin unui singur tip de sezon. Prin aceasta nu s-a afectat gradul de generalitate al studiului.

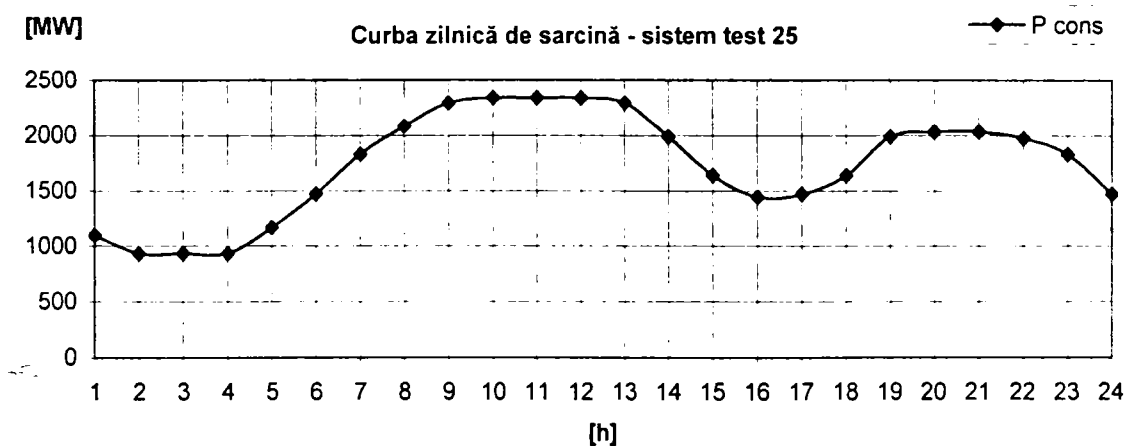


Figura 4.4 Curba zilnică de sarcină pentru sistemul test cu 25 de noduri

Regimurile de bază alese sunt următoarele:

- **regimul de încărcare maximă (H)** – este regimul în care sistemul se află la vârful de sarcină zilnic;
- **regimul de încărcare minimă (L)** – este regimul corespunzător golului de sarcină zilnic pentru sistem; pentru curba zilnică de sarcină a sistemului test cu 25 de noduri regimul minim este la 40 % din nivelul regimului maxim;
- **regimul de încărcare medie (M)** – este regimul în care consumatorii funcționează la nivele diferite de încărcare astfel încât pentru sistemul întreg rezultă o încărcare medie

între regimul maxim și cel minim; pentru sistemul test cu 25 de noduri regimul mediu este la 70 % din sarcina regimului maxim.

Tabelul 4.1 Valorile costurilor orare și puterilor activă și reactivă totale consumate pentru cele trei regimuri de bază ale sistemului test cu 25 de noduri.

Regimul de bază			Total putere consumată		Puterea activă raportată față de regimul H [%]	Cost total orar [\$/h]
Sarcină	Simbol	Fișier	P [MW]	Q [MVar]		
Maximă	H	T25HOPT.CNW	2341	811	100	42756
Medie	M	T25MOPT.CNW	1638,7	567,7	70	33289
Minimă	L	T25LOPT.CNW	936,4	324,4	40	17401

Valorile procentuale, raportate la regimul de bază maxim, pentru regimurile de bază mediu și minim diferă în funcție de sistem și de sezon. Ele trebuie apreciate pe bază de experiență în fiecare caz în parte.

După stabilirea lor, cele trei regimuri de bază (tabelul 4.1), se optimizează folosind criteriul cheltuielilor totale orare minime. Se obțin trei seturi de valori optime: tensiuni optime în nodurile sistemului și puteri generate optime în nodurile generatoare. Ele vor fi folosite, conform procedurii descris mai jos, pentru calcularea valorilor cvasi-optime pentru oricare regim curent.

4.2.2 Stabilirea mărimilor electrice cvasi-optime pentru un regim oarecare

Pentru regimul curent, stabilirea mărimilor electrice cvasi-optime se face după următorul procedeu.

Etapa I-a

Se calculează distanța euclidiană relativă la care se află regimul curent față de cel mai apropiat dintre cele trei regimuri de bază.

Notații utilizate:

- P_{ic} - puterea activă totală consumată pentru regimul oarecare;
- $P_{icH}, P_{icM}, P_{icL}$ - puterile totale consumate pentru regimurile de bază maxim (H), mediu (M) și respectiv minim (L);
- D_R - distanța euclidiană relativă în putere activă consumată a regimului oarecare față de regimul de bază R , $R \in \{H, M, L\}$.

Dacă:

1. $P_{ic} \geq \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2}$ atunci distanța se calculează față de regimul de bază maxim:

$$D_H = \frac{P_{icH} - P_{ic}}{P_{icH} - P_{icM}} = \frac{(1 - \frac{P_{ic}}{P_{icH}})}{(1 - \frac{P_{icM}}{P_{icH}})} = 3.333 \cdot (1 - \frac{P_{ic}}{P_{icH}}) \quad (4.33)$$

2. $P_{ic} < \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2}$ și $P_{ic} \geq \frac{P_{icM} + P_{icL}}{2}$ atunci distanța se calculează față de regimul de bază mediu:

$$D_M = \frac{P_{icM} - P_{ic}}{P_{icH} - P_{icM}} = 3.333 \cdot \left(0.7 - \frac{P_{ic}}{P_{icH}}\right) \quad (4.34)$$

3. $P_{ic} < \frac{P_{icM} + P_{icL}}{2}$ distanța se calculează față de regimul de bază minim:

$$D_L = \frac{P_{icL} - P_{ic}}{P_{icM} - P_{icL}} = 3.333 \cdot \left(0.4 - \frac{P_{ic}}{P_{icH}}\right) \quad (4.35)$$

Etapa II-a

Se calculează mărimile cvasi-optime. În acest scop se folosește distanța relativă calculată în etapa I.

Procedeul de calcul pentru tensiunile în noduri este descris în cele ce urmează.

Notații utilizate:

U_{opt_i} – tensiunea cvasi-optimă din nodul i pentru regimul oarecare;

$U_{optH_i}, U_{optM_i}, U_{optL_i}$ – tensiunile optime pentru nodul i , pentru regimurile de bază maxim, mediu respectiv minim;

unde $i \in N$, N este mulțimea nodurilor SEP.

Dacă:

$$\bullet \quad P_{ic} \geq \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2} : \quad U_{opt_i} = U_{optH_i} \cdot \left(1 - D_H \cdot \left(1 - \frac{U_{optM_i}}{U_{optH_i}}\right)\right) \quad (4.36)$$

$$\bullet \quad P_{ic} \geq P_{icM} \quad \text{și} \quad P_{ic} < \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2} : \quad U_{opt_i} = U_{optM_i} \cdot \left(1 + D_M \cdot \left(1 - \frac{U_{optM_i}}{U_{optH_i}}\right)\right) \quad (4.37)$$

$$\bullet \quad P_{ic} \geq \frac{P_{icL} + P_{icM}}{2} \quad \text{și} \quad P_{ic} < P_{icM} : \quad U_{opt_i} = U_{optM_i} \cdot \left(1 - D_M \cdot \left(1 - \frac{U_{optL_i}}{U_{optM_i}}\right)\right) \quad (4.38)$$

$$\bullet \quad P_{ic} < \frac{P_{icL} + P_{icM}}{2} : \quad U_{opt_i} = U_{optL_i} \cdot \left(1 + D_L \cdot \left(1 - \frac{U_{optM_i}}{U_{optL_i}}\right)\right) \quad (4.39)$$

Aceste formule au fost stabilite în ipoteza variației liniare a valorilor tensiunilor cvasi-optime în noduri între cele trei regimuri de bază. Așa cum se poate vedea în subcapitolul 7.1 diferențele introduse de ipoteza adoptată sunt mici, ele ne-influențând rezultatul diagnozei.

Pentru puterile active cvasi-optime generate procedeul este asemănător. Calculul se face pentru fiecare dintre nodurile generatoare.

Notații utilizate:

P_{opt_i} – puterea cvasi-optimă din nodul i pentru regimul oarecare;

$P_{optH_i}, P_{optM_i}, P_{optL_i}$ – puterile optime pentru nodul i , pentru regimurile de bază;

unde $i \in NG$, NG este mulțimea nodurilor SEP.

Dacă:

$$\bullet \quad P_{ic} \geq \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2} : \quad P_{opt_i} = P_{optH_i} \cdot \left(1 - D_H \cdot \left(1 - \frac{P_{optM_i}}{P_{optH_i}}\right)\right) \quad (4.40)$$

- $P_{ic} \geq P_{icM}$ și $P_{ic} < \frac{P_{icH} + P_{icM}}{2}$: $P_{opt_i} = P_{optM_i} \cdot (1 + D_M \cdot (1 - \frac{P_{optM_i}}{P_{optH_i}}))$ (4.41)

- $P_{ic} \geq \frac{P_{icL} + P_{icM}}{2}$ și $P_{ic} < P_{icM}$: $P_{opt_i} = P_{optM_i} \cdot (1 - D_M \cdot (1 - \frac{P_{optL_i}}{P_{optM_i}}))$ (4.42)

- $P_{ic} < \frac{P_{icL} + P_{icM}}{2}$: $P_{opt_i} = P_{optL_i} \cdot (1 + D_L \cdot (1 - \frac{P_{optM_i}}{P_{optL_i}}))$ (4.44)

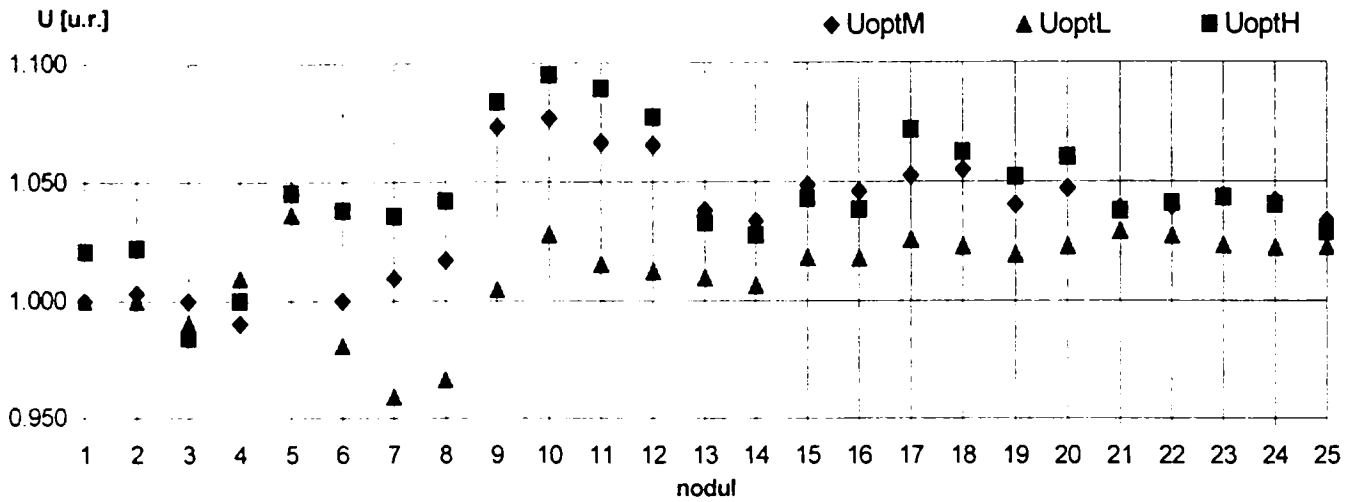


Figura 4.5 Tensiunile din noduri pentru regimurile optime *H, M, L*

În figura 4.5 se prezintă valorile tensiunilor optime din nodurile sistemului test cu 25 de noduri și 29 de laturi [C14], prezentat în Anexa 2, în cazul regimurilor de bază, *H, M, L*. Valorile tensiunilor se dau în unități relative. S-au folosit următoarele prescurtări: *UoptH, UoptM, UoptL* – tensiunile corespunzătoare regimurilor de bază optimizate *H, M, L*.

De asemenea, în figura 4.6 sunt prezentate valorile puterilor generate în nodurile generatoare pentru cele trei regimuri optime: *H, M, L*.

Pentru sistemul test cu 25 de noduri, nodurile de la 1 la 5 sunt noduri generatoare, nodul 6 este nod compensator iar celelalte noduri sunt noduri pasive sau consumatoare. Există 3 nivele de tensiune pentru liniile de transport: nodurile 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 la nivel de 220 kV; nodurile 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 și 25 la nivel de 110 kV (Anexa 2).

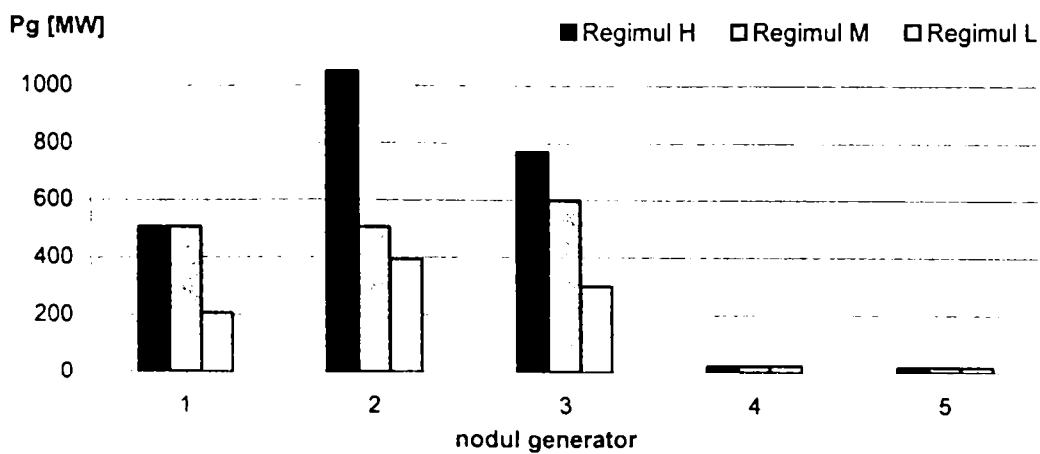


Figura 4.6 Puterile generate în cele trei regimuri optime *H, M, L*

În cazul regimului de bază *H*, regimul de încărcare maximă, tensiunile în nodurile generatoare sunt ridicate pentru a impune un nivel ridicat de tensiune în sistem. Aceasta este

necesar pentru a asigura valori normale (cât mai aproape de nominal) pentru tensiunile din nodurile consumatoare în condițiile pierderilor mari de tensiune pe liniile de transport. De asemenea un nivel ridicat de tensiune este potrivit și pentru păstrarea rezervei de tensiune din punct de vedere al stabilității de tensiune în nodurile consumatoare și pentru reducerea pierderilor de putere activă și reactivă în sistem. În figura 4.5 se poate observa că nivelul tensiunilor la generatoare este cel mai ridicat dintre cele trei regimuri dar pentru nodurile consumatoare nu se mai poate spune același lucru din cauza pierderilor mari pe liniile electrice foarte încărcate.

Pentru regimul M , regimul de încărcare medie, nivelul tensiunilor la generatoare este mai coborât decât cel pentru regimul H , dar cu toate acestea, în nodurile consumatoare tensiunea atinge valori mai ridicate datorită pierderilor mai mici de tensiune pe linii. Diferența între tensiunile din nodurile sistemului pentru cele două regimuri de bază H și M este mică.

Pentru regimul L , regimul de încărcare mică, efectul de auto-compensare al liniilor de transport determină menținerea tensiunilor în nodurile generatoare la un nivel scăzut. În nodurile consumatoare nivelul tensiunilor este normal. Diferența dintre tensiunile din noduri pentru regimurile M și L este mai mare decât pentru regimurile H și M .

Nivelul tensiunilor în nodurile generatoare mai depinde și de zona de sistem în care se află acestea. Dacă zona este deficitară în putere reactivă generate, adică este o zonă de consum, atunci chiar și pentru regimul de bază L este necesar un nivel ridicat de tensiuni în nodurile din acea zonă. De asemenea, în zonele cu nivelul de 110 kV pentru liniile de transport sunt potrivite tensiuni ridicate în nodurile zonei. Pentru sistemul test cu 25 de noduri există două zone cu nivelul de 110 kV: zona nodurilor 5, 21, 22, 23, 24 și 25 și zona nodurilor 17, 19, și 20. Se poate observa în nodul generator 5 că tensiunea este ridicată în toate cele trei regimuri de bază. În zonele cu linii la nivel de 220 kV, în regimul L încărcările liniilor sunt sub puterea naturală a lor și deci este necesară adoptarea unei politici de nivel scăzut pentru tensiuni. În cazul liniilor de 400 kV, în sistemul test cu 25 de noduri linia 7-8 (Anexa 2), nivel scăzut pentru tensiuni se adoptă și pentru regimul M datorită încărcării mult sub puterea naturală a liniei.

Puterile generate optime pentru cele trei regimuri de bază sunt prezentate în figura 4.6. Valorile acestora depind de costul orar al generării specific fiecărei centrale generatoare și desigur de valoarea sarcinii sistemului. După cum se va preciza și în paragraful 4.4, puterea activă generată de o anumită centrală trebuie să se încadreze între limitele minimă și maximă ale acesteia. Limita maximă este desigur puterea nominală iar limita minimă este 0 pentru CHE și o valoare pozitivă stabilită pentru fiecare tip de centrală în cazul centralelor CTE pe gaz sau pe cărbune și al CNE. De aceea, unele centrale chiar dacă au cu prețuri ridicate de producere a energiei active totuși din motive tehnice nu se pot descărca sub anumite limite (aici pot interveni și alte restricții de ordinul siguranței în funcționare).

În figura 4.6 se pot observa valori ridicate ale puterii generate pentru nodul 2, CHE – preț de producere 8 \$/MWh, în cazul tuturor regimurilor de bază. De asemenea în nodul 5, CHE – preț de producere 6 \$/MWh, aflat într-o zonă de consum și cu un cost mic de producere este menținut la un nivel ridicat în toate regimurile. Nodul 4, CTE – preț de producere 40 \$/MWh, cu un cost ridicat de producere este menținut la nivelul minim tehnic de încărcare. Nodul 3, CTE – preț de producere 30 \$/MWh, cu un cost ridicat de producere are încărcarea în funcție de valorile consumului din zona limitrofă. Nodul 1, CNE – preț de producere 20 \$/MWh, este nodul de echilibrare al sistemului.

4.3. Indicatori fuzzy pentru diagnoza tensiunii în nodurile SEP

Pentru diagnoza tensiunii în nodurile SEP s-au definit indicatori fuzzy cu 5 mulțimi fuzzy pentru nodurile de la înaltă și foarte înaltă tensiune și indicatori cu 3 mulțimi fuzzy pentru nodurile de la medie tensiune. Termenii lingvistici corespunzători modelului cu 5 mulțimi fuzzy sunt: tensiune cvasi-optimă, tensiune ridicată, tensiune scăzută, tensiune foarte ridicată și tensiune foarte scăzută. Termenii lingvistici corespunzători modelului cu 3 mulțimi fuzzy sunt: tensiune cvasi-optimă, tensiune ridicată și tensiune scăzută. Mulțimile fuzzy sunt definite pe baza tensiunilor cvasi-optime calculate conform algoritmului descris în paragraful 4.2 și a limitelor admisibile ale benzilor de tensiune pentru fiecare nod în parte.

4.3.1. Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii

Modelul cu 3 mulțimi fuzzy este utilizat pentru diagnoza tensiunii din nodurile tip consumator și pasive, reprezentate la medie tensiune. Forma funcțiilor de apartenență este cea triunghiulară.

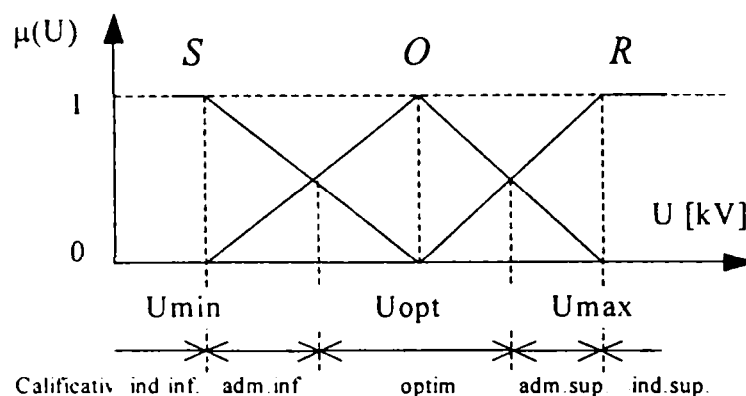


Figura 4.7 Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii.

Pentru termenii lingvistici s-au făcut următoarele prescurtări:

- O - mulțimea fuzzy a tensiunilor cvasi-optime;
- R - mulțimea fuzzy a tensiunilor ridicate;
- S - mulțimea fuzzy a tensiunilor scăzute.

Cunoscând tensiunea cvasi-optimă calculată U_{opt} , tensiunile limită minimă U_{min} și limită maximă U_{max} ale benzii admisibile de tensiune ($\pm 10\%$ față de U_n la ÎT și MT și $\pm 5\%$ față de U_n la FÎT) corespunzătoare pentru fiecare nod al SEP din categoria menționată mai sus, cele 3 mulțimi fuzzy se definesc astfel:

$$\begin{aligned} O &= \{(U, \mu_O(U)) \mid U \in [U_{min}, U_{max}]\} \\ R &= \{(U, \mu_R(U)) \mid U \geq U_{opt}\} \\ S &= \{(U, \mu_S(U)) \mid U \leq U_{opt}\} \end{aligned} \quad (4.45)$$

Funcțiile de apartenență sunt următoarele:

$$\mu_O(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{min} \\ \frac{U - U_{min}}{U_{opt} - U_{min}} & U_{min} \leq U \leq U_{opt} \\ \frac{U_{max} - U}{U_{max} - U_{opt}} & U_{opt} \leq U \leq U_{max} \\ 0 & U > U_{max} \end{cases} \quad (4.46)$$

$$\mu_S(U) = \begin{cases} 1 & U < U_{min} \\ \frac{U_{opt} - U}{U_{opt} - U_{min}} & U_{min} \leq U \leq U_{opt} \\ 0 & U > U_{opt} \end{cases} \quad (4.47)$$

$$\mu_R(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{opt} \\ \frac{U - U_{opt}}{U_{max} - U_{opt}} & U_{opt} \leq U \leq U_{max} \\ 1 & U > U_{max} \end{cases} \quad (4.48)$$

În figura 4.7 se observă 5 domenii în care se poate afla tensiunea formate prin definirea mulțimilor fuzzy. Aceste domenii corespund unor calificative lingvistice care vor fi acordate tensiunii. Calificativele sunt stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a tensiunii, la mulțimile fuzzy definite.

Calificativele se stabilesc astfel:

- inadmisibil inferior (*ind. inf.*) pentru $\mu_S(U) = 1$;
- admisibil inferior (*adm. inf.*) pentru $0.5 < \mu_S(U) < 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(U) \geq 0.5$;
- admisibil superior (*adm. sup.*) pentru $0.5 < \mu_R(U) < 1$;
- inadmisibil superior (*ind. sup.*) pentru $\mu_R(U) = 1$.

Metoda de diagnoză constă deci în calcularea gradelor de apartenență $\mu_K(U_i)$ a valorii ferme a tensiunii U_i din fiecare nod a sistemului la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{S, O, R\}$) și acordarea calificativului corespunzător domeniului în care se află tensiunea pentru fiecare nod $i \in N$, N este mulțimea nodurilor sistemului.

4.3.2. Modelul cu 5 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii

Modelul cu 5 mulțimi fuzzy a fost adoptat pentru:

- nodurile tip generator reprezentate la medie tensiune, la înaltă și foarte înaltă tensiune;
- nodurile consumatoare și pasive reprezentate la înaltă și foarte înaltă tensiune.

Această alegere a fost făcută în concordanță cu importanța nodului și cu posibilitățile de reglare a tensiunii în nod. Forma funcțiilor de apartenență este cea triunghiulară.

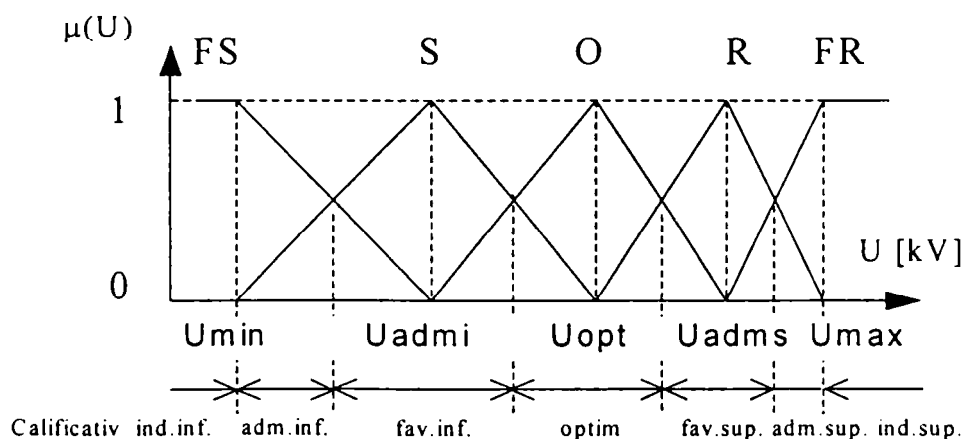


Figura 4.8 Modelul cu 5 mulțimi fuzzy pentru diagnoza tensiunii.

Pentru termenii lingvistici s-au făcut următoarele prescurtări:

- O - mulțimea fuzzy a tensiunilor cvasi-optime;
- R - mulțimea fuzzy a tensiunilor ridicate;
- S - mulțimea fuzzy a tensiunilor scăzute.

- FR - mulțimea fuzzy a tensiunilor foarte ridicate;
- FS - mulțimea fuzzy a tensiunilor foarte scăzute.

Cunoscând valorile cvasi-optime, admisibile și limitele benzii corespunzătoare de tensiune, pentru fiecare nod din categoria menționată mai sus, cele 5 mulțimi fuzzy sunt definite astfel:

$$\begin{aligned}
 O &= \{(U, \mu_O(U)) \mid U \in [U_{admi}, U_{adms}]\} \\
 R &= \{(U, \mu_R(U)) \mid U \in [U_{opt}, U_{adms}]\} \\
 FR &= \{(U, \mu_{FR}(U)) \mid U > U_{adms}\} \\
 S &= \{(U, \mu_S(U)) \mid U \in [U_{admi}, U_{opt}]\} \\
 FS &= \{(U, \mu_{FS}(U)) \mid U < U_{admi}\}
 \end{aligned} \tag{4.49}$$

Funcțiile de apartenență sunt:

$$\mu_O(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{admi} \\ \frac{U - U_{admi}}{U_{opt} - U_{admi}} & U_{admi} \leq U \leq U_{opt} \\ \frac{U_{adms} - U}{U_{adms} - U_{opt}} & U_{opt} \leq U \leq U_{adms} \\ 0 & U > U_{adms} \end{cases} \tag{4.50}$$

$$\mu_R(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{opt} \\ \frac{U - U_{opt}}{U_{adms} - U_{opt}} & U_{opt} \leq U \leq U_{adms} \\ \frac{U_{max} - U}{U_{max} - U_{adms}} & U_{adms} \leq U \leq U_{max} \\ 0 & U > U_{max} \end{cases} \tag{4.51}$$

$$\mu_S(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{min} \\ \frac{U - U_{min}}{U_{admi} - U_{min}} & U_{min} \leq U \leq U_{admi} \\ \frac{U_{opt} - U}{U_{opt} - U_{admi}} & U_{admi} \leq U \leq U_{opt} \\ 0 & U > U_{opt} \end{cases} \tag{4.52}$$

$$\mu_{FR}(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{adms} \\ \frac{U - U_{adms}}{U_{max} - U_{adms}} & U_{adms} \leq U \leq U_{max} \\ 1 & U > U_{max} \end{cases} \tag{4.53}$$

$$\mu_{FS}(U) = \begin{cases} 1 & U < U_{min} \\ \frac{U - U_{admi}}{U_{admi} - U_{min}} & U_{min} \leq U \leq U_{admi} \\ 0 & U > U_{admi} \end{cases} \tag{4.54}$$

În figura 4.8 se observă cele 7 domenii de tensiune corespunzătoare calificativelor acordate tensiunii. Acestea au fost stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a tensiunii la mulțimile fuzzy. Calificativele sunt: inadmisibil inferior, admisibil inferior, favorabil inferior, optim, favorabil superior, admisibil superior și inadmisibil superior.

Calificativele se stabilesc astfel:

- inadmisibil inferior (*ind. inf.*) pentru $\mu_{FS}(U) = 1$;
- admisibil inferior (*adm. inf.*) pentru $0.5 < \mu_{FS}(U) < 1$;
- favorabil inferior (*fav. inf.*) pentru $0.5 < \mu_S(U) \leq 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(U) \geq 0.5$;
- favorabil superior (*fav. sup.*) pentru $0.5 < \mu_R(U) \leq 1$;
- admisibil superior (*adm. sup.*) pentru $0.5 < \mu_{FR}(U) < 1$;
- inadmisibil superior (*ind. sup.*) pentru $\mu_{AS}(U) = 1$.

Limitele maximă și minimă ale benzilor de tensiune pentru medie și înaltă tensiune au valorile cu 10 % mai mari respectiv cu 10% mai mici față de tensiunea nominală a benzii. Pentru benzile de foarte înaltă tensiune limitele sunt la $\pm 5\%$ față de tensiunea nominală.

În tabelul 4.2 sunt prezentate limitele minime și maxime pentru benzile de tensiune luate în considerare.

Tabelul 4.2 Valorile limitelor minime și maxime pentru benzile de tensiune.

Un [kV]	6	10	15	20	26	35	110	220	300	400	750
Umin [kV]	5,4	9	13,5	18	23,4	31,5	100	200	270	380	717,5
Umax [kV]	6,6	11	16,5	22	28,6	38,5	121	242	330	420	785,5

Referitor la tensiunile admisibile inferior și superior am apreciat că acestea pot fi la jumătatea intervalelor dintre tensiunea cvasi-optimă calculată și limitele inferioară respectiv superioară ale benzii de tensiune corespunzătoare. Ele au fost calculate cu formulele următoare:

$$U_{admi} = U_{opt} - \Delta U_{min} \quad (4.55)$$

$$U_{adms} = U_{opt} + \Delta U_{min} \quad (4.56)$$

unde:

$$\Delta U_{min} = \min \left\{ \frac{U_{max} - U_{opt}}{2}, \frac{U_{opt} - U_{min}}{2} \right\} \quad (4.57)$$

Pentru tensiunea din fiecare nod al sistemului se calculează gradele de apartenență $\mu_K(U_i)$ a valorii ferme a tensiunii, U_i , la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{FS, S, O, R, FR\}$) $i \in N$, N mulțimea nodurilor sistemului și se acordă calificativului corespunzător domeniului în care se află tensiunea.

Metoda de diagnoză a tensiunii constă deci în compararea valorii curente ale tensiunii dintr-un nod al SEP cu valoarea cvasi-optimă calculată. Compararea se face în sensul teoriei mulțimilor fuzzy rezultatul fiind un calificativ lingvistic (cel corespunzător domeniului) și valori ale gradelor de apartenență a tensiunii la mulțimile fuzzy definite.

În final, pentru tensiunile din nodurile sistemului se calculează și distanța euclidiană procentuală relativă la tensiunea nominală, d_i^U , dintre tensiune curentă U_i din nodul i și tensiunea cvasi-optimă corespunzătoare U_{opt} , astfel:

$$d_i^U = 100 \cdot \sqrt{(U_i - U_{opt,i})^2} / U_{n,i} [\%] \quad (4.58)$$

Pentru un anumit nod din sistem, cu cât această distanță este mai mică cu atât tensiunea curentă se află mai aproape de tensiunea cvasi-optimă corespunzătoare.

După analiza tuturor tensiunilor SEP se vor calcula indicatorii globali pentru regim:

- distanța euclidiană relativă dintre tensiunile curențe din noduri și tensiunile cvasi-optime corespunzătoare;
- indicatorul global fuzzy pentru tensiuni.

Distanța euclidiană relativă dintre tensiunile curențe din noduri și tensiunile cvasi-optime D^U se calculează pe baza distanțelor procentuale individuale:

$$D^U = \sqrt{\sum_{i \in N} (d_i^U / 100)^2} \quad [\text{u.r.}] \quad (4.59)$$

unde: N este mulțimea nodurilor sistemului;

Cu cât această distanță este mai mică cu atât tensiunile curențe din nodurile SEP se află mai aproape de tensiunile cvasi-optime corespunzătoare.

Pentru aprecierea globală a regimului din punctul de vedere al tensiunilor în noduri se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii;

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă tensiunile din nodurile SEP au doar calificative *optim*, *favorabil inferior* sau *favorabil superior* atunci regimul este declarat *OPTIM* cu gradele de apartenență:

$$\mu_{Optim}^U = \min_{i \in N} \{ \max[\mu_{O_i}(U_i), \mu_{F_i}(U_i)] \} \quad (4.60)$$

$$\mu_{Admisibil}^U = \max_{i \in N} \{ \min[\mu_{O_i}(U_i), \mu_{F_i}(U_i)] \} \quad (4.61)$$

unde: N este mulțimea nodurilor sistemului;
 $F \in \{S, R\}$.

2. Dacă tensiunile din nodurile SEP au calificative *optim*, *favorabil inferior*, *favorabil superior*, *admisibil inferior* sau *admisibil superior* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL* și are gradele de apartenență:

$$\mu_{Admisibil}^U = \min_{i \in N} \{ \max[\mu_{O_i}(U_i), \mu_{F_i}(U_i), \mu_{A_i}(U_i)] \} \quad (4.62)$$

$$\mu_{Optim}^U = \max_{i \in N} \{ \min[\mu_{O_i}(U_i), \mu_{F_i}(U_i), \mu_{A_i}(U_i)] \} \quad (4.63)$$

unde: N este mulțimea nodurilor sistemului;
 $F \in \{R, S\}$ și $A \in \{FR, FS\}$.

3. Dacă există cel puțin o tensiune are calificativul *inadmisibil* (a depășit banda admisibilă) atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* cu gradele de apartenență: $\mu_{Inadmisibil}^U = 1$, $\mu_{Admisibil}^U = 0$, $\mu_{Optim}^U = 0$.

Interpretarea calificativelor acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) în ceea ce privește nivelul de tensiune din sistem.

- Dacă regimul primește calificativul *INADMISIBIL* atunci el este unul de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare a lui în ceea ce privește nivelul de tensiune din sistem.

În capitolul 5 se descrie metoda de determinare a măsurilor necesare reparării sau/și îmbunătățirii regimului din punctul de vedere al tensiunilor în nodurile sistemului.

4.4. Indicatori fuzzy pentru diagnoza puterilor active și reactive generate

Pentru diagnoza regimurilor permanente ale SEP centralele electrice se reprezintă prin tensiunea la bornele generatorului echivalent și puterea activă generată. Uneori tensiunea la borne se poate reduce la înaltă tensiune adică la tensiunea din secundarul transformatorului bloc echivalent. Adoptând aceasta reprezentare, un prim nivel de analiză a nodurilor generatoare din punctul de vedere al puterilor generate înseamnă verificarea încadrării puterilor activă și reactivă în limitele tehnice corespunzătoare. Diagnoza din punct de vedere al tensiunii s-a realizat în subcapitolul 4.3.

Pentru puterea activă generată, o analiză mai precisă este compararea cu valoarea cvasi-optimă a puterii calculată pe baza valorilor optime ale puterilor corespunzătoare din regimurile de bază, după procedeul descris în subcapitolul 4.2. Adică, se calculează distanța euclidiană, în putere activă totală consumată, D_R $R \in \{H, M, L\}$, față de cel mai apropiat regim de bază. Cu valorile puterilor active optime din regimurile de bază și cu valoarea distanței D_R se vor calcula puterile cvasi-optimă generate în nodurile generatoare corespunzătoare regimului curent analizat. Situația cea mai favorabilă, cvasi-optimă, se consideră a fi atunci când puterile generate în regimul curent sunt egale cu valorile cvasi-optimă corespunzătoare.

Pentru stabilirea limitei minime a puterii active generate se are în vedere tipul centralei, de fapt capacitatea grupurilor generatoare ale acesteia (cele care sunt în funcțiune) de a funcționa la o încărcare scăzută. Valorile minime pentru puterile active generate, pe tipuri de centrale, în valori procentuale față de puterea activă nominală a generatorului echivalent, sunt afișate în tabelul 4.3 [C23].

Tabelul 4.3 Puterile procentuale minime generate pe tipuri de centrale generatoare

Tipul Centralei	CHE	CTE - cărbune	CTE - gaz	CNE
$\frac{P_{min}}{P_n}$ [%]	0	50	25	50

Limita maximă a puterii active generate este desigur puterea nominală. Valorile care depășesc puterea nominală se exclud dintre cele normale de funcționare deoarece diagnoza se referă la regimuri permanente iar acestea sunt permise doar pe perioade scurte de timp.

Pentru puterea reactivă generată considerăm că încărcarea este optimă în situația când generatoarele funcționează la factorul de putere nominal. În accepțiunea că puterea activă generată este cea optimă atunci încărcarea cu putere reactivă optimă se calculează folosind factorul de putere nominal al generatoarelor. Limitele minimă și maximă a puterii reactive generate se calculează cu formulele cunoscute din literatura de specialitate [C23].

Revenind la **diagnoza puterii active generate**, vom adopta un model cu trei mulțimi fuzzy după cum se poate observa și în figura 4.9. Un nod generator sau o centrala generatoare

poate avea unul sau mai multe grupuri generatoare. În continuare toate mărimile electrice se vor referi la generatorul echivalent corespunzător.

Notații:

P_n – puterea activă nominală a centralei;

P_{opt} – puterea activă cvasi-optimală a centralei (calculată);

P_{min} – puterea minimă la care poate funcționa centrala (conform tabelului 4.2).

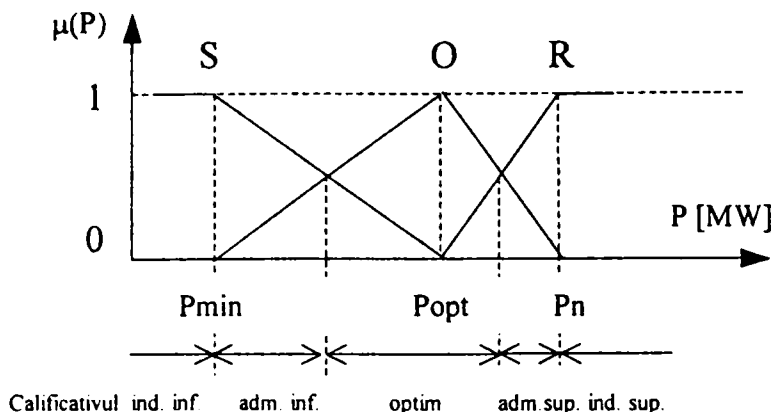


Figura 4.9 Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza puterii active generate.

Pentru termenii lingvistici s-au făcut următoarele prescurtări:

- O - mulțimea fuzzy a valorilor cvasi-optime a puterilor active;
- S - mulțimea fuzzy a valorilor mici a puterilor active;
- R - mulțimea fuzzy a valorilor mari a puterilor active.

Cunoscând valorile puterilor active cvasi-optime și limitele maximă și minimă ale puterii generate, cele 3 mulțimi sunt definite astfel:

$$O = \{(P, \mu_O(P)) \mid P \in [P_{min}, P_n]\}$$

$$R = \{(P, \mu_R(P)) \mid P > P_{opt}\} \tag{4.64}$$

$$S = \{(P, \mu_S(P)) \mid P < P_{opt}\}$$

Funcțiile de apartenență sunt următoarele:

$$\mu_O(P) = \begin{cases} 0 & P < P_{min} \\ \frac{P - P_{min}}{P_{opt} - P_{min}} & P_{min} \leq P \leq P_{opt} \\ \frac{P_n - P}{P_n - P_{opt}} & P_{opt} \leq P \leq P_n \\ 0 & P > P_n \end{cases} \tag{4.65}$$

$$\mu_S(P) = \begin{cases} 1 & P < P_{min} \\ \frac{P_{opt} - P}{P_{opt} - P_{min}} & P_{min} \leq P \leq P_{opt} \\ 0 & P > P_{opt} \end{cases} \tag{4.66}$$

$$\mu_R(P) = \begin{cases} 0 & P < P_{opt} \\ \frac{P - P_{opt}}{P_n - P_{opt}} & P_{opt} \leq P \leq P_n \\ 1 & P > P_n \end{cases} \tag{4.67}$$

Se formează 5 domenii corespunzătoare celor cinci calificative acordate puterii active generate. Calificativele se stabilesc în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a puterii la mulțimile fuzzy definite.

Calificativele se stabilesc astfel:

- inadmisibil inferior (*ind. inf.*) pentru $\mu_S(P) = 1$;
- admisibil inferior (*adm. inf.*) pentru $0.5 < \mu_S(P) < 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(P) \geq 0.5$;
- admisibil superior (*adm. sup.*) pentru $0.5 < \mu_R(P) < 1$;
- inadmisibil superior (*ind. sup.*) pentru $\mu_R(P) = 1$.

Pentru valoarea fermă a puterii active generate curente P_i , dintr-un nod al sistemului, se calculează gradelor de apartenență $\mu_K(P_i)$ la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{S, O, R\}$) și se acordă calificativului corespunzător domeniului puterii, $i \in NG$, NG mulțimea nodurilor generatoare ale sistemului.

Metoda de diagnoză a puterilor generate constă deci în compararea valorii curente ale puterii generate din nodurile al SEP cu valori limită stabilite pentru fiecare nod în parte. Compararea se face aplicând teoria mulțimilor fuzzy, rezultatul fiind un calificativ lingvistic și valorile gradelor de apartenență ale puterii active generate la mulțimile fuzzy definite.

În final, pentru fiecare putere activă generată se calculează și distanța euclidiană procentuală relativă la puterea cvasi-optimă d_i^p dintre puterea generată curentă P_i din nodul i și puterea cvasi-optimă corespunzătoare P_{opt} , astfel:

$$d_i^p = 100 \cdot \sqrt{(P_i - P_{opt,i})^2} / P_{opt,i} \quad [\%] \quad (4.68)$$

Pentru un anumit nod i al sistemului, cu cât această distanță este mai mică cu atât puterea curentă generată se află mai aproape de puterea cvasi-optimă.

După analiza tuturor puterilor active generate în nodurile generatoare ale SEP se vor calcula indicatorii globali pentru regim: distanța euclidiană relativă dintre puterile generate curente și puterile active generate cvasi-optimă și indicatorul global fuzzy pentru puterile active generate.

Distanța euclidiană relativă dintre puterile active generate curente și puterile active generate cvasi-optimă D^p se calculează pe baza distanțelor procentuale individuale:

$$D^p = \sqrt{\sum_{i \in NG} (d_i^p / 100)^2} \quad [\text{u.r.}] \quad (4.69)$$

unde: NG este mulțimea nodurilor generatoare din sistem.

Cu cât această distanță este mai mică cu atât puterile active generate curente din nodurile SEP se află mai aproape de puterile active generate cvasi-optimă corespunzătoare.

Pentru aprecierea globală a regimului, din punctul de vedere al puterilor active generate, se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii;

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optimă;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă puterile active generate din nodurile generatoare au doar calificativ *optim* atunci regimul este declarat *OPTIM*.

Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Optim}^p = \min_{i \in NG} \{ \mu_{O_i}(P_i) \} \quad (4.70)$$

$$\mu_{Admisibil}^p = \max_{i \in NG} \{ \mu_{A_i}(P_i) \} \quad (4.71)$$

unde: NG este mulțimea nodurilor generatoare ale sistemului iar $A \in \{S, R\}$.

2. Dacă puterile active generate din nodurile generatoare au calitative *optim*, *admisibil inferior* sau *admisibil superior* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL*.

Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Admisibil}^P = \min_{i \in NG} \{ \max[\mu_{O_i}(P_i), \mu_{A_i}(P_i)] \} \quad (4.72)$$

$$\mu_{Optim}^P = \max_{i \in NG} \{ \min[\mu_{O_i}(P_i), \mu_{A_i}(P_i)] \} \quad (4.73)$$

unde: NG este mulțimea nodurilor generatoare ale sistemului iar $A \in \{S, R\}$.

3. Dacă există cel puțin o putere activă generată are calificativul *inadmisibil* (a depășit limitele admisibile) atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* iar are gradele de apartenență au valorile: $\mu_{Inadmisibil}^P = 1$, $\mu_{Admisibil}^P = 0$, $\mu_{Optim}^P = 0$.

Interpretarea calificativelor acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui în ceea ce privește valorile puterilor active generate din sistem.
- Dacă regimul primește calificativul *INADMISIBIL* atunci el este unul de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare a lui.

În capitolul 5 se descrie modul de determinare a măsurilor necesare reparării sau/și îmbunătățirii regimului din punctul de vedere al puterilor active generate în nodurile sistemului.

În cazul **puterii reactive generate** în nodurile generatoare, valoarea optimă, Q_{opt} , se consideră cea corespunzătoare puterii active cvasi-optimă, calculată cu factorul de putere nominal al generatorului echivalent.

Pentru nodurile compensatoare de putere reactivă (reactanță variabilă – FACTS – sau compensator sincron), nu se poate preciza o valoare optimă pentru puterea reactivă injectată ci se precizează un interval optim, care este de fapt intervalul de la zero până la puterea nominală a compensatorului.

În cele ce urmează se prezintă cazul nodurilor generatoare.

În acest caz limitele maximă și minimă admisibile pentru puterea reactivă generată, Q_{min} și Q_{max} , sunt extrase din diagrama de încărcare a generatoarelor cu putere activă și reactivă [C23]. De asemenea se calculează puterea reactivă nominală – Q_n – corespunzătoare puterii active nominale și puterea reactivă corespunzătoare puteri active minime – Q_1 – ambele la factor de putere nominal. Formulele de calcul sunt prezentate mai jos.

$$Q_{max} = \frac{U_e \cdot U_b}{X_s} \cdot \cos \delta - \frac{U_b^2}{X_s} \quad (4.74)$$

$$Q_{min} = -\frac{U_b^2}{X_s} \quad (4.75)$$

$$Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg}\{ \ar \cos[\cos(\varphi_n)] \} \quad (4.76)$$

$$Q_{opt} = P_{opt} \cdot \operatorname{tg}\{ \ar \cos[\cos(\varphi_n)] \} \quad (4.77)$$

$$Q_1 = P_{min} \cdot \operatorname{tg}\{ \ar \cos[\cos(\varphi_n)] \} \quad (4.78)$$

unde:

U_e, U_b – tensiunile electromotoare și respectiv la borne ale generatorului echivalent;

δ – unghiul intern al generatorului echivalent;

X_s – reactanța sincronă a generatorului echivalent;

$\cos(\phi_n)$ – factorul de putere nominal al generatorului echivalent.

Pentru fiecare nod generator din sistem se stabilește un model cu patru mulțimi fuzzy după cum se poate observa și în figura 4.10. Termenii lingvistici utilizați și prescurtările corespunzătoare sunt:

- O - mulțimea fuzzy a valorilor cvasi-optime;
- R - mulțimea fuzzy a valorilor ridicate;
- S - mulțimea fuzzy a valorilor scăzute;
- FS - mulțimea fuzzy a valorilor foarte scăzute.

Fiind calculate valorile celor cinci puteri reactive de mai sus, mulțimile fuzzy sunt definite astfel:

$$\begin{aligned} O &= \{(Q, \mu_O(Q)) \mid Q \in [Q_1, Q_{max}]\} \\ R &= \{(Q, \mu_{AS}(Q)) \mid Q \in [Q_n, Q_{max}]\} \\ S &= \{(Q, \mu_S(Q)) \mid Q \in [Q_{min}, Q_{opt}]\} \\ FS &= \{(Q, \mu_{AI}(Q)) \mid Q \in [Q_{min}, Q_1]\} \end{aligned} \quad (4.79)$$

După cum se observă și în figura 10, se formează 6 domenii în care se poate afla puterea reactivă generată. Domeniile corespund calificativelor acordate puterii reactive generate. Acestea se stabilesc în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a puterii reactive la mulțimile fuzzy. Calificativele sunt: inadmisibil inferior, admisibil inferior, favorabil inferior, optim, favorabil superior, admisibil superior și inadmisibil superior.

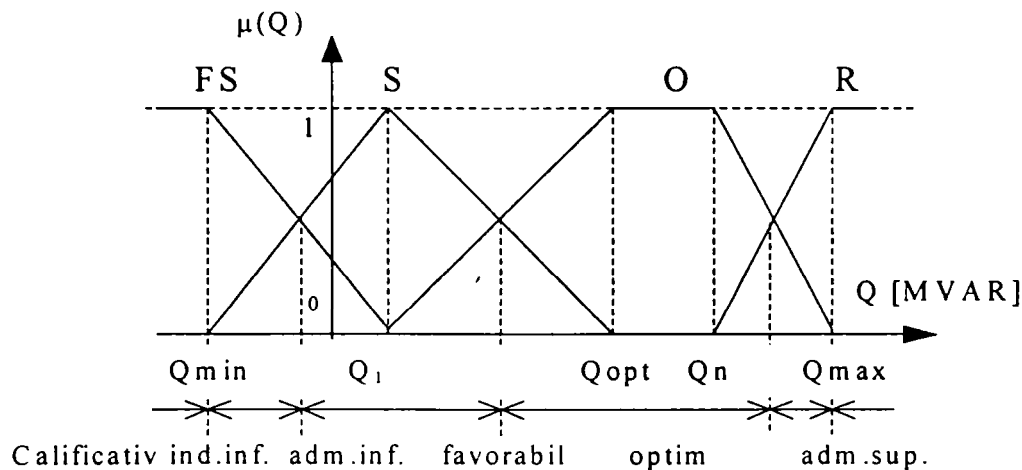


Figura 4.10 Modelul cu 4 mulțimi fuzzy pentru diagnoza puterii reactive generate.

Calificativele se stabilesc astfel:

- inadmisibil inferior (*ind. inf.*) pentru $\mu_{FS}(Q) = 1$;
- admisibil inferior (*adm. inf.*) pentru $0.5 < \mu_{FS}(Q) < 1$;
- favorabil (*fav.*) pentru $0.5 < \mu_S(Q) \leq 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(Q) \geq 0.5$;
- admisibil superior (*adm. sup.*) pentru $0.5 < \mu_R(Q) < 1$;
- inadmisibil superior (*ind. sup.*) pentru $\mu_R(Q) = 1$.

Funcțiile de apartenență sunt:

$$\mu_o(Q) = \begin{cases} 0 & Q < Q_1 \\ \frac{Q - Q_1}{Q_{opt} - Q_1} & Q_1 \leq Q \leq Q_{opt} \\ 1 & Q_{opt} < Q < Q_n \\ \frac{Q_{max} - Q}{Q_{max} - Q_n} & Q_n \leq Q \leq Q_{max} \\ 0 & Q > Q_{max} \end{cases} \quad (4.80)$$

$$\mu_s(Q) = \begin{cases} 0 & Q < Q_{min} \\ \frac{Q - Q_{min}}{Q_1 - Q_{min}} & Q_{min} \leq Q \leq Q_1 \\ \frac{Q_{opt} - Q}{Q_{opt} - Q_1} & Q_1 \leq Q \leq Q_{opt} \\ 0 & Q > Q_{opt} \end{cases} \quad (4.81)$$

$$\mu_R(Q) = \begin{cases} 0 & Q < Q_n \\ \frac{Q - Q_n}{Q_{max} - Q_n} & Q_n \leq Q \leq Q_{max} \\ 1 & Q > Q_{max} \end{cases} \quad (4.82)$$

$$\mu_{FS}(Q) = \begin{cases} 1 & Q < Q_{min} \\ \frac{Q_1 - Q}{Q_1 - Q_{min}} & Q_{min} \leq Q \leq Q_1 \\ 0 & Q > Q_1 \end{cases} \quad (4.83)$$

Pentru valoarea fermă a puterii reactive generate curente dintr-un nod generator al sistemului se calculează gradele de apartenență $\mu_K(Q_i)$ a valorii ferme la mulțimile fuzzy K definite unde $K \in \{FS, S, O, R\}$ iar $i \in NG$, NG este mulțimea nodurilor generatoare.

În cazul compensatoarelor de putere reactivă se definesc două mulțimi fuzzy (figura 4.11) care folosesc următorii termeni lingvistici:

- N – mulțimea valorilor normale;
- R – mulțimea valorilor ridicate.

Mulțimile fuzzy sunt definite astfel:

$$N = \{(Q, \mu_N(Q)) \mid Q \in [0, Q_n]\} \quad (4.84)$$

$$R = \{(Q, \mu_R(Q)) \mid Q > 0.95 \cdot Q_n\}$$

După cum se observă și în figura 4.11, se formează 3 domenii în care se poate afla puterea reactivă. Domeniile corespund calificativelor acordate puterii reactive compensate. Acestea au fost stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a puterii reactive la mulțimile fuzzy. Calificativele sunt: normal, admisibil superior și inadmisibil superior.

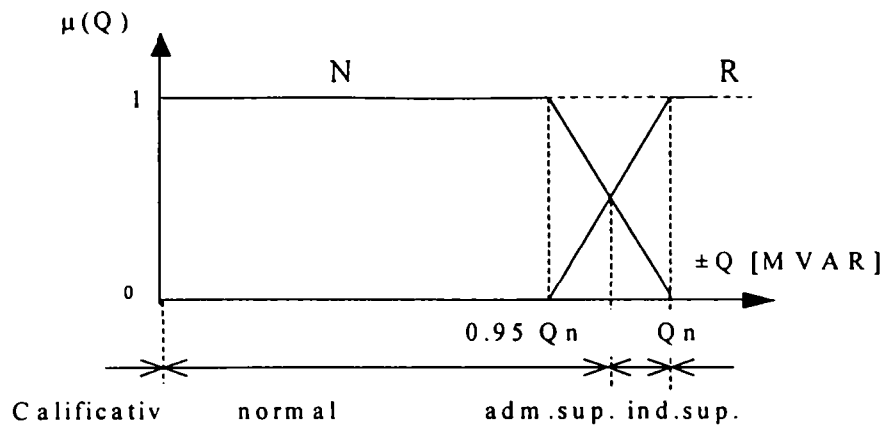


Figura 4.11 Modelul cu 2 mulțimi fuzzy pentru diagnoza puterii reactive compensate.

Calificativele se stabilesc astfel:

- normal pentru $\mu_N(Q) \geq 0.5$;
- admisibil superior (*adm. sup.*) pentru $0.5 < \mu_R(Q) < 1$;
- inadmisibil superior (*ind. sup.*) pentru $\mu_R(Q) = 1$.

Funcțiile de apartenență sunt:

$$\mu_N(Q) = \begin{cases} 1 & 0 < Q < 0.95 \cdot Q_n \\ \frac{Q_n - Q}{Q_n - 0.95 \cdot Q_n} & 0.95 \cdot Q_n \leq Q \leq Q_n \\ 0 & Q > Q_n \end{cases} \quad (4.85)$$

$$\mu_R(Q) = \begin{cases} 0 & Q < 0.95 \cdot Q_n \\ \frac{Q - 0.95 \cdot Q_n}{Q_n - 0.95 \cdot Q_n} & 0.95 \cdot Q_n \leq Q \leq Q_n \\ 1 & Q > Q_n \end{cases} \quad (4.86)$$

Pentru valoarea fermă a puterii reactive compensate se calculează gradele de apartenență $\mu_K(Q_i)$ a valorii ferme la mulțimile fuzzy K definite unde $K \in \{N, R\}$ iar $i \in NGC$, NGC este mulțimea nodurilor compensatoare.

Metoda de diagnoză a puterilor reactive generate constă deci în compararea valorii curente a puterii reactive generate dintr-un nod al SEP cu valori limită stabilite pentru fiecare nod în parte. Compararea se face aplicând teoria mulțimilor fuzzy, rezultatul fiind un calificativ lingvistic (cel corespunzător domeniului puterii) și valori ale gradelor de apartenență ale puterii reactive generate la mulțimile fuzzy definite.

În final, pentru fiecare putere reactivă generată se mai calculează distanța euclidiană procentuală relativă la puterea optimă d_i^Q dintre puterea curentă Q_i din nodul i și puterea cvasi-optimă corespunzătoare $Q_{opt,i}$, astfel:

$$d_i^Q = 100 \cdot \sqrt{(Q_i - Q_{opt,i})^2} / Q_{opt,i} \quad [\%] \quad (4.87)$$

Pentru un anumit nod din sistem, cu cât această distanță este mai mică cu atât puterea reactivă generată curentă se află mai aproape de puterea reactivă generată cvasi-optimă.

Pentru puterile reactive compensate distanța de mai sus are valoare zero dacă puterea compensată nu a depășit puterea nominală a compensatorului altfel are valoarea 100 %.

După analiza tuturor puterilor reactive generate în nodurile generatoare și compensatoare ale SEP se vor calcula indicatorii globali pentru regim: distanța euclidiană

relativă dintre puterile reactive generate curente și puterile reactive generate cvasi-optime și indicatorul global fuzzy pentru puterile reactive generate.

Distanța euclidiană relativă dintre puterile reactive generate curente și puterile reactive generate cvasi-optime D^Q se calculează pe baza distanțelor procentuale individuale:

$$D^Q = \sqrt{\sum_{i \in NGC} (d_i^Q / 100)^2} \quad [\text{u.r.}] \quad (4.88)$$

unde: NGC este mulțimea nodurilor generatoare și compensatoare din sistem.

Cu cât această distanță este mai mică cu atât puterile reactive generate curente se află mai aproape de puterile reactive generate cvasi-optime corespunzătoare.

Pentru aprecierea globală a regimului din punctul de vedere al puterilor reactive generate în noduri se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii;

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cavsi-optime;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISISBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă puterile reactive generate au doar calificative *optim* sau *favorabil* atunci regimul este declarat *OPTIM* și are gradele de apartenență:

$$\mu_{Optim}^Q = \min_{i \in NGC} \{ \max[\mu_{O_i}(Q_i), \mu_{S_i}(Q_i)] \} \quad (4.89)$$

$$\mu_{Admisibil}^Q = \max_{i \in NGC} \{ \min[\mu_{O_i}(Q_i), \mu_{S_i}(Q_i)] \} \quad (4.90)$$

unde: NGC este mulțimea nodurilor generatoare și compensatoare din sistem.

2. Dacă puterile reactive generate au doar calificative *optim*, *favorabil*, *admisibil inferior* sau *admisibil superior* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL* și are gradele de apartenență:

$$\mu_{Admisibil}^Q = \min_{i \in NGC} \{ \max[\mu_{O_i}(Q_i), \mu_{S_i}(Q_i), \mu_A(Q_i)] \} \quad (4.91)$$

$$\mu_{Optim}^Q = \max_{i \in NGC} \{ \min[\mu_{O_i}(Q_i), \mu_{S_i}(Q_i), \mu_A(Q_i)] \} \quad (4.92)$$

unde: NGC este mulțimea nodurilor generatoare și compensatoare;
 $A \in \{FS, R\}$.

3. Dacă există cel puțin o putere reactivă generată are calificativ *inadmisibil* (care a depășit limita admisibilă) atunci regimul este declarat *INADMISISBIL* și are gradele de apartenență:

$$\mu_{Inadmisibil}^Q = 1, \mu_{Admisibil}^Q = 0, \mu_{Optim}^Q = 0.$$

Interpretarea calificativelor acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui în ceea ce privește valorile puterilor reactive generate din sistem.
- Dacă regimul primește calificativul *INADMISISBIL* atunci el este un regim de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare a lui.

4.5 Indicatori fuzzy pentru aprecierea regimului de funcționare a transformatoarelor și autotransformatoarelor

Mărimea electrică cea mai importantă la diagnoza funcționării unui transformator, în cazul diagnozei regimurilor permanente, este puterea aparentă vehiculată pe transformator. Analiza valorii acestei mărimi presupune compararea ei cu anumite valori limită cunoscute. Valoarea limită superioară se consideră puterea aparentă nominală. Pentru regimurile permanente nu se acceptă depășiri ale puterii nominale. Limita inferioară este desigur zero. Pentru determinarea intervalului de funcționare în regim optim trebuie analizată caracteristica pierderilor active ale transformatorului.

4.5.1 Funcționarea transformatoarelor după criteriul pierderilor active minime

Pentru un transformator sau autotransformator se poate calcula sarcina economică de funcționare pentru care pierderile de putere activă raportate la puterea cedată rețelei sunt minime [C25]. Prin multiplicare cu numărul de transformatoare identice în paralel se poate calcula sarcina economică – S_{ec} – pentru transformatorul echivalent. Intervalul dintre puterea aparentă economică și puterea aparentă nominală se consideră a fi intervalul de încărcare optimă. Totuși pentru puterea nominală se acceptă o rezervă de 5% (raportat la puterea nominală) astfel că intervalul optim (cu gradul de încredere 1) este de fapt $[S_{ec}, 0.95S_n]$. Încărcările sub puterea economică și peste $0.95S_n$ sunt optime dar cu un grad mai mic de încredere sau pentru valori apropiate de limite sunt admisibile. Încărcările peste puterea nominală sunt inadmisibile.

În continuare se prezintă modul de calcul a puterii economice pentru o latură tip transformator sau autotransformator.

Pentru un transformator pierderile de putere activă se calculează astfel [C25]:

$$\Sigma p = p_{Fent} + p_{Cunt} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \quad (4.93)$$

$$p_{Fent} = p_{Fen} + k_e \cdot q_{Fen} \quad (4.94)$$

$$p_{Cunt} = p_{Cun} + k_e \cdot q_{Cun} \quad (4.95)$$

unde:

p_{Fen} - pierderile nominale de putere activă în miezul feromagnetic; mărime de catalog;

\tilde{p}_{Cun} - pierderile nominale de putere activă în bobinaj; mărime de catalog;

q_{Fen} - pierderile de putere reactivă nominale în miezul feromagnetic; ele se calculează cu ajutorul curentului de mers în gol $i_0^{\%}$;

q_{Cun} - pierderile de putere reactivă nominale în bobinaj; se calculează cu ajutorul tensiunii de scurtcircuit $u_{sc}^{\%}$;

k_e - echivalentul energetic al puterii reactive, aparține intervalului 0.02 – 0.15 și este ales în funcție de configurația rețelei [C25];

p_{Fent} - pierderile de putere activă în miezul transformatorului plus pierderile de putere activă în miez datorate circulației de putere reactivă pe elementele de sistem din amonte;

p_{Cunt} - pierderile de putere activă în înfășurările transformatorului plus pierderile de putere activă în înfășurări datorate circulației de putere reactivă pe elementele de sistem din amonte.

Pierderile active raportate la puterea aparentă cedată sunt:

$$\frac{\Sigma p}{S} = \frac{P_{Fent}}{S} + \frac{P_{Cunt}}{S_n^2} \cdot S \quad (4.96)$$

Din condiția anulării primei derivate în raport cu S rezultă sarcina economică S_{ec} :

$$S_{ec} = S_n \cdot \sqrt{\frac{P_{Fent}}{P_{Cunt}}} = S_n \cdot \sqrt{\frac{P_{Fen} + k_e \cdot q_{Fen}}{P_{Cun} + k_e \cdot q_{Cun}}} \quad (4.97)$$

Pentru n transformatoare identice în paralel sarcina economică va fi:

$$S_{ect} = n \cdot S_{ec} \quad (4.98)$$

Tabelul 4.4 Transformatoare bloc cu două înfășurări

Nr. Crt.	S_n [MVA]	U_{ni}/U_{nj} [kV]	Δp_{scn} [kW]	Δp_{gn} [kW]	u_{scn} [%]	i_{gn} [%]	q_{in} [kVar]	q_{Fen} [kVar]	S_{ec}	
									[MVA]	[%]
1	60	121/10.5	300	95	11.5	0.65	6.9	0.39	33.7	56
2	120	121/10.5	483	114	10.5	0.45	12.6	0.54	58.2	48
3	180	121/10.5	660	330	10.5	0.65	18.9	1.17	127.1	70
4	240	121/10.5	700	340	10.5	0.6	25.2	1.44	166.9	69
5	80	242/10.5	320	105	11	0.6	8.8	0.48	45.8	57
6	190	242/10.5	500	150	11.7	0.6	22.23	1.14	103.9	54
7	250	242/10.5	947	282	14	1.2	35	3	136.2	54
8	400	242/10.5	1100	270	14.1	0.45	56.4	1.8	197.7	49

Tabelul 4.5 Autotransformatoare cu două înfășurări

Nr. Crt.	S_n [MVA]	U_{ni}/U_{nj} [kV]	Δp_{scn} [kW]	Δp_{gn} [kW]	u_{scn} [%]	i_{gn} [%]	q_{in} [kVar]	q_{Fen} [kVar]	S_{ec}	
									[MVA]	[%]
1	80	231/121	240	60	11	0.5	8.8	0.4	39.9	49
2	100	231/121	265	75	11	0.5	11	0.5	53.1	53
3	160	231/121	380	100	11	0.5	17.6	0.8	85.3	53
4	200	231/121	708	147	15.6	0.7	31.2	1.4	90.9	45
5	400	400/231	1020	290	11.5	0.5	46	2	212.9	53

Tabelul 4.6 Transformatoare de distribuție cu două înfășurări

Nr. Crt.	S_n [MVA]	U_{ni}/U_{nj} [kV]	Δp_{scn} [kW]	Δp_{gn} [kW]	u_{scn} [%]	i_{gn} [%]	q_{in} [kVar]	q_{Fen} [kVar]	S_{ec}	
									[MVA]	[%]
1	10	110/6.3	69	19	11	1.1	1.1	0.11	5.2	52
2	40	110/6.3	180	52	12	1	4.8	0.4	7.5	53
3	10	110/11	69	19	11	1.1	1.1	0.11	5.2	52
4	40	110/11	180	52	12	1	4.8	0.4	21.5	53
5	10	110/22	69	19	11	1.1	1.1	0.11	5.2	52
6	40	110/22	180	52	12	1	4.8	0.4	21.5	53
7	90	220/11	400	120	11	2	9.9	1.8	49.3	55
8	200	220/11	505	300	11.5	1.2	23	2.4	153.8	77
9	90	220/11	400	120	11	2	9.9	1.8	49.3	55
10	200	220/22	505	300	11.5	1.2	23	2.4	153.8	77
11	400	220/22	1150	280	14.1	0.48	56.4	1.8	196.9	49

În tabelele 4.4, 4.5. și 4.6 sunt prezentate valorile sarcinilor economice pentru mai multe tipuri de transformatoare și autotransformatoare. Echivalentul energetic al puterii reactive s-a considerat $k_e = 0.1$.

Din tabelele 4.4, 4.5, 4.6 se poate observa că sarcina economică de funcționare a transformatoarelor și autotransformatoarelor variază aproximativ în intervalul 45% până la 75% din puterea lor nominală.

4.5.2 Diagnoza funcționării transformatoarelor și autotransformatoarelor

Pentru diagnoza funcționării transformatoarelor în ceea ce privește încărcarea cu putere aparentă, se aplică un model cu 3 mulțimi fuzzy (figura 4.12). Acestea se stabilesc pentru fiecare latură transformator din sistem. Termenii lingvistici utilizați și prescurtările corespunzătoare sunt:

- O - mulțimea fuzzy a valorilor cvasi-optime;
- R - mulțimea fuzzy a valorilor mari;
- S - mulțimea fuzzy a valorilor mici.

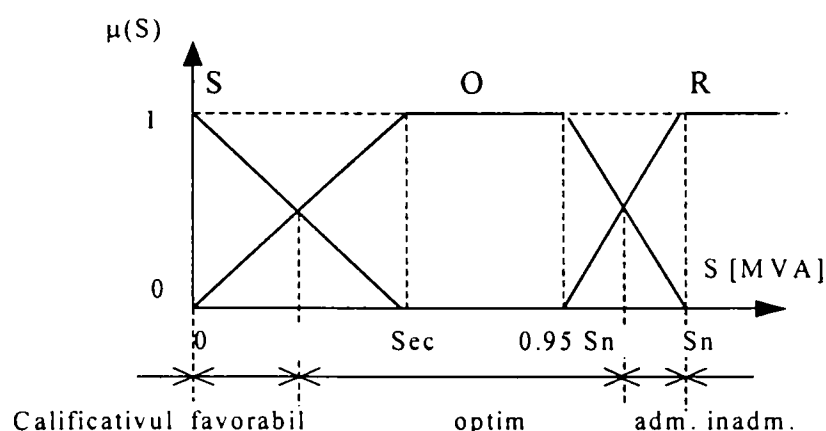


Figura 4.12 Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza încărcării transformatoarelor.

Cunoscând puterile aparente nominală și economică ale transformatorului echivalent cele 3 mulțimi sunt definite astfel:

$$\begin{aligned} O &= \{(S, \mu_O(S)) \mid S \in [0, S_n]\} \\ R &= \{(S, \mu_R(S)) \mid S > 0.95 \cdot S_n\} \\ S &= \{(S, \mu_S(S)) \mid S \in [0, Sec]\} \end{aligned} \quad (4.99)$$

Funcțiile de apartenență sunt:

$$\mu_O(S) = \begin{cases} \frac{S}{Sec} & 0 \leq S \leq Sec \\ 1 & S \in [Sec, 0.95 \cdot S_n] \\ \frac{S_n - S}{0.05 \cdot S_n} & 0.95 \cdot S_n \leq S \leq S_n \\ 0 & S > 1.05 S_n \end{cases} \quad (4.100)$$

$$\mu_S(S) = \begin{cases} \frac{Sec - S}{Sec} & 0 \leq S \leq Sec \\ 0 & S > Sec \end{cases} \quad (4.101)$$

$$\mu_R(S) = \begin{cases} 0 & S < 0.95 \cdot S_n \\ \frac{S - 0.95 \cdot S_n}{0.05 \cdot S_n} & 0.95 \cdot S_n \leq S < S_n \\ 1 & S \geq S_n \end{cases} \quad (4.102)$$

În figura 4.12 se observă cele 4 domenii ale puterii aparente. Aceste domenii corespund calificativelor lingvistice care se acordă încărcării pe o latură transformator din sistem. Calificativele au fost stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a puterii aparente la mulțimile fuzzy definite.

Calificativele se stabilesc astfel:

- favorabil (*favorabil*) pentru $0.5 < \mu_S(S) \leq 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(S) \geq 0.5$;
- admisibil (*adm.*) pentru $0.5 < \mu_R(S) < 1$;
- inadmisibil (*inadm.*) pentru $\mu_R(S) = 1$.

Pentru valoarea fermă a puterii aparente vehiculate S_i se calculează gradele de apartenență $\mu_K(S_i)$ la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{S, O, R\}$) și se acordă calificativul corespunzător domeniului în care se află puterea pentru fiecare latură transformator $i \in LT$, LT mulțimea laturilor transformator ale sistemului.

Metoda de diagnoza a puterilor aparente vehiculate pe laturile transformator constă deci în compararea valorii curențe cu valori limită stabilite pentru fiecare latură în parte. Compararea se face aplicând teoria mulțimilor fuzzy, rezultatul fiind un calificativ lingvistic (cel corespunzător domeniului) și valori ale gradelor de apartenență ale puterii aparente la mulțimile fuzzy definite.

De asemenea, se calculează și distanța euclidiană procentuală relativă la puterea economică d_i^T , dintre puterea aparentă curentă de circulație S_{ij} pe latura tip transformator $i - j$ și puterea economică corespunzătoare Sec_{ij} astfel:

$$d_{ij}^T = 100 \cdot \sqrt{(S_{ij} - Sec_{ij})^2} / Sec_{ij} \quad [\%] \quad (4.103)$$

Pentru o anumită latură a sistemului, cu cât această distanță este mai mică cu atât puterea aparentă curentă de circulație se află mai aproape de puterea economică.

După analiza tuturor puterilor aparente de circulație pe laturile transformator ale SEP se vor calcula indicatorii globali pentru regim: distanța euclidiană relativă dintre puterile aparente curențe de circulație și puterile aparente economice pentru laturile transformator și indicatorul global fuzzy corespunzător.

Distanța euclidiană relativă pentru regim D^T se calculează pe baza distanțelor procentuale individuale:

$$D^T = \sqrt{\sum_{i \in TR} (d_i^T / 100)^2} \quad [\text{u.r.}] \quad (4.104)$$

unde: TR este mulțimea laturilor transformator din sistem;

Cu cât această distanță este mai mică cu atât puterile aparente de circulație pe laturile transformator ale SEP se află mai aproape de puterile aparente economice corespunzătoare.

Pentru aprecierea globală a regimului din punctul de vedere al puterilor aparente de circulație pe laturile tip transformator se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii:

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISISBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă puterile aparente de circulație au doar calificative *optim* sau *favorabil* atunci regimul este declarat *OPTIM*. Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Optim}^{TR} = \min_{i \in TR} \{ \max[\mu_{O_i}(S_i), \mu_{S_i}(S_i)] \} \quad (4.105)$$

$$\mu_{Favorabil}^{TR} = \max_{i \in TR} \{ \min[\mu_{O_i}(S_i), \mu_{S_i}(S_i)] \} \quad (4.106)$$

unde: TR este mulțimea nodurilor generatoare ale sistemului.

2. Dacă puterile aparente de circulație au calificative *optim*, *favorabil* și cel puțin una *admisibil* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL*. Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Admisibil}^{TR} = \min_{i \in TR} \{ \max[\mu_{O_i}(S_i), \mu_{S_i}(S_i), \mu_{R_i}(S_i)] \} \quad (4.107)$$

$$\mu_{Optim}^{TR} = \max_{i \in TR} \{ \min[\mu_{O_i}(S_i), \mu_{S_i}(S_i), \mu_{R_i}(S_i)] \} \quad (4.108)$$

unde: TR este mulțimea nodurilor generatoare ale sistemului.

3. Dacă există cel puțin o putere aparentă de circulație are calificativul *inadmisibil* (a depășit limitele admisibile) atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* iar are gradele de apartenență au valorile: $\mu_{Inadmisibil}^{TR} = 1$, $\mu_{Favorabil}^{TR} = 0$, $\mu_{Admisibil}^{TR} = 0$, $\mu_{Optim}^{TR} = 0$.

Interpretarea calificativelor acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui în ceea ce privește valorile puterilor aparente de circulație.
- Dacă regimul primește calificativul *INADMISIBIL* atunci el este unul de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare a lui.

4.6 Indicatori fuzzy pentru aprecierea regimului de funcționare a liniilor electrice transport

4.6.1 Stabilirea valorilor limită pentru încărcarea liniilor electrice de transport

La diagnoza laturilor tip linie electrică aeriană (LEA) și linie electrică subterană (LES) mărimea electrică de interes este curentul de fază corespunzător puterii aparente de circulație pe latură. De aceea trebuie determinate valori limită cu care se va compara curentul de fază.

După cum se știe, pentru laturile tip LEA, regimul de putere naturală este regimul pierderilor minime. În consecință, se alege un interval în jurul valorii curentului de fază corespunzător puterii naturale, interval în care încărcarea LEA se va considera optimă.

Limita superioară de încărcare trebuie determinată dintre: limita termică, limita de stabilitate a tensiunii și limita de stabilitate statică. Desigur, pentru linii cu lungimi reduse, ultimele două limite nu sunt deloc restrictive, dar pentru linii lungi există posibilitatea ca limita stabilității tensiunii sau chiar limita de stabilitate statică să fie mai coborâte decât limita termică.

Pentru laturile tip LES, valorile puterilor naturală, limită de stabilitate a tensiunii și limită de stabilitate statică sunt foarte mari cu atât mai mult cu cât lungimile LES sunt de obicei mai reduse decât ale LEA. Prin urmare singura limită utilizată este limita termică.

a. Calculul puterii naturale pentru liniile electrice de transport

Pentru LEA, încărcarea optimă din punct de vedere al pierderilor de putere activă, este încărcarea în regim de putere naturală [C2]. Valoarea puterii naturale P_{nat} se calculează cunoscând modulul impedanței de undă Z_n , aceasta se poate calcula cu relația simplificată (4.110) obținută din relația exactă (4.109) în ipoteza raportului $R/X \ll 1$.

$$\underline{Z}_n = \sqrt{\frac{R_{d0} + jX_{d0}}{G_{d0} + jB_{d0}}} \quad [\Omega] \tag{4.109}$$

$$Z_n = \sqrt{\frac{X_{d0}}{B_{d0}}} \quad [\Omega] \tag{4.110}$$

unde:

\underline{Z}_n - impedanța de undă [Ω];

$R_{d0}, X_{d0}, G_{d0}, B_{d0}$ - rezistența, reactanța, conductanța și susceptanța de secvența directă, pe unitatea de lungime a liniei; unitățile de măsură sunt [Ω/km] respectiv [S/km].

Având în vedere că în regim de putere naturală LEA nu absoarbe și nu debitează putere reactivă (în ipoteza liniei fără pierderi), se poate calcula curentul de fază natural astfel:

$$P_{nat} = \frac{U_n^2}{Z_n} \quad [\text{MW}] \tag{4.111}$$

$$I_{nat} = \frac{P_{nat}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot 1000} \quad [\text{A}] \tag{4.112}$$

unde: U_n – tensiunea nominală a liniei [kV];

I_{nat} – curentul de fază natural al liniei;

În tabelul 4.7 sunt date valorile puterii naturale și a curentului de fază corespunzător la tensiune nominală, pentru câteva tipuri de LEA a căror parametrii sunt prezentați în Anexa 1, tabelul A1.2.

Tabelul 4.7 Valorile puterii naturale și a curentului natural

LEA	110 SC	110 DC	220 SC	220 DC	400 SC	400 DC
P_{nat} [MW]	33	67	134	251	495	980
I_{nat} [A]	174	350	351	660	715	1417

SC – simplu circuit DC – dublu circuit

b. Calculul limitei de stabilitate a tensiunii pentru puterea de transport pe LEA

Din punctul de vedere al stabilității tensiunii în nodurile SEP, în [BE99] se prezintă o formulă de calcul a puterii aparente maxime S_{max} de circulație pe o latură tip LEA în condițiile păstrării stabilității tensiunii în nodul de la sfârșitul ei (figura 4.13). Aceasta se stabilește în următoarele ipoteze: tensiunea nodului 1 este fixă (subsistem de putere infinită), se neglijează parametrii transversali ai liniei și în nodul 2 se consideră un consumator echivalent cu factorul de putere $\cos\varphi$ cunoscut.

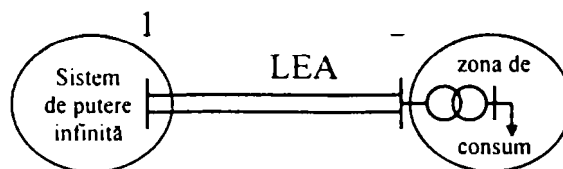


Figura 4.13 Alimentarea cu energie electrică a unei zone de consum

Relația de calcul a puterii aparente maxime de circulație este următoarea:

$$S_{\max} = \frac{U_1^2}{2(R \cos \phi + X \sin \phi + Z)} \quad [\text{MVA}] \quad (4.113)$$

unde:

U_1 – modulul tensiunii la începutul liniei – [kV];

R, X, Z – parametrii longitudinali ai liniei: rezistență, reactanță și impedanță – [Ω];

$\cos \phi, \sin \phi$ – factorul de putere al consumatorului de la sfârșitul liniei și sinusul corespunzător.

Curentul maxim corespunzător puterii aparente maxime $I_{adm.stab.tens.}$ se poate calcula luând în considerare și o rezervă de 30 % raportată la puterea maximă:

$$I_{adm.stab.tens.} = 0.7 \cdot \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad [\text{A}] \quad (4.114)$$

În cazul unei configurații buclate, sau în cazul existenței unei compensări în nodul 2, situația este mai puțin periculoasă decât cea enunțată.

În figurile 4.15 la 4.17 sunt prezentate variația cu lungimea liniei a puterilor admisibile, de stabilitate a tensiunii și termice, pentru linii de 110 kV, 220 kV și 400 kV simplu circuit. Calculele au fost făcute în accepțiunea factorului de putere la consumator 0.98. Parametrii liniilor se află în Anexa 1, tabelul A1.2.

c. Calculul limitei de stabilitate statică pentru puterea de transport pe LEA

Vom considera cazul unui generator echivalent care debitează putere într-un sistem de putere infinită printr-o legătură transformator bloc și LEA. Schema echivalentă în care s-au neglijat parametrii transversali și în care toți parametrii sunt reprezentați la același nivel de tensiune este prezentată în figura 4.14.

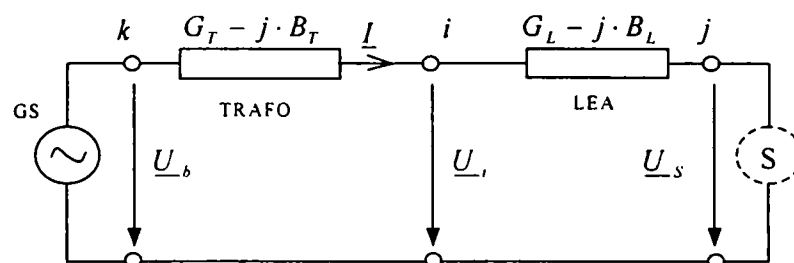


Figura 4.14 Schema echivalentă simplificată pentru legătura GS la Sistem

Puterea aparentă de circulație pe linie se poate determina cu formula:

$$S_{ij} = U_i \cdot (U_i^* - U_j^*) \cdot Y_{Lij}^* \quad (4.115)$$

iar puterea activă de circulație se poate determina cu formula:

$$P_{ij} = U_i^2 \cdot \cos(-\psi_{ij}) - U_i \cdot U_j \cdot Y_{Lij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \psi_{ij}) \quad (4.116)$$

unde:

$U_i, U_j, \delta_i, \delta_j$ – modulele și respectiv fazele tensiunilor de la cele două capete ale laturii;

Y_{Lij}, ψ_{ij} – modulul și respectiv argumentul admitanței longitudinale a laturii.

Dacă se consideră tensiunile U_k , U_i , U_j aproximativ egale cu cele nominale și pierderile active se neglijează, adică $\psi_{ij} \approx -\pi/2$, atunci expresia puterii active de circulație devine:

$$P_{ij} = U_n^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) - U_n^2 \cdot B_{L_{ij}} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j + \frac{\pi}{2}) = U_n^2 \cdot B_{L_{ij}} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (4.117)$$

Puterea maximă care se poate transporta pe linie, în condițiile simplificatorii adoptate este:

$$P_{ij \max} = U_n^2 \cdot B_{L_{ij}} \quad (4.118)$$

Reactanța longitudinală a transformatorului bloc echivalent, în cel mai defavorabil caz poate fi aproximativ egală cu reactanța longitudinală a liniei (de regulă este mai mare). Ca urmare puterea maximă de schimb între nodurile k și j se poate calcula:

$$P_{kj \max} = U_n^2 \cdot B_{kj} \quad (4.119)$$

Rezerva de stabilitate statică se calculează cu formula:

$$R_{ss \, kj} = \frac{P_{kj \max} - P_{kj}}{P_{kj \max}} = 1 - \frac{P_{kj}}{P_{kj \max}} \quad (4.120)$$

Pentru o rezervă de stabilitate statică de 10 % rezultă puterea activă admisibilă care se poate transporta pe LEA (se poate accepta și din motive euristice):

$$P_{ij \, adm} = 0.9 \cdot P_{kj \max} = 0.9 \cdot U_n^2 \cdot B_{L_{ij}} / 2 \quad (4.121)$$

Curentul admisibil din punct de vedere al stabilității statice în accepțiunea factorului de putere unitar este:

$$I_{adm. \, stab. \, stat} = \frac{P_{ij \, adm}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (4.122)$$

În figurile 4.15 la 4.17 sunt prezentate variația cu lungimea liniei a puterilor admisibile la stabilitatea statică, pentru linii de 110 kV, 220 kV și 400 kV simplu circuit. Puterea admisibilă a fost calculată în accepțiunea unei rezerve de 10 % raportat la puterea maximă.

d. Stabilirea limitei termice de încărcare a LEA

Cea de-a treia limitare care apare la încărcările liniilor electrice este curentul maxim admisibil termic $I_{adm. \, termic}$. Acesta este o mărime de catalog dată pentru fiecare tip de conductor în funcție de secțiunea lui și temperatura mediului ambiant. În Anexa 1, tabelul A1.1, sunt prezentate valorile curentului admisibil termic pentru diferite tipuri și secțiuni de conductoare. El se calculează din considerente de încălzire a conductorului la o temperatură de referință a mediului exterior de 20 °C.

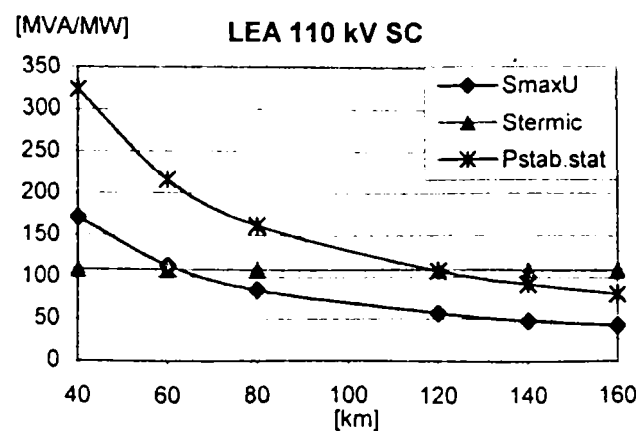


Figura 4.15 Puterile admisibile pentru LEA 110 kV

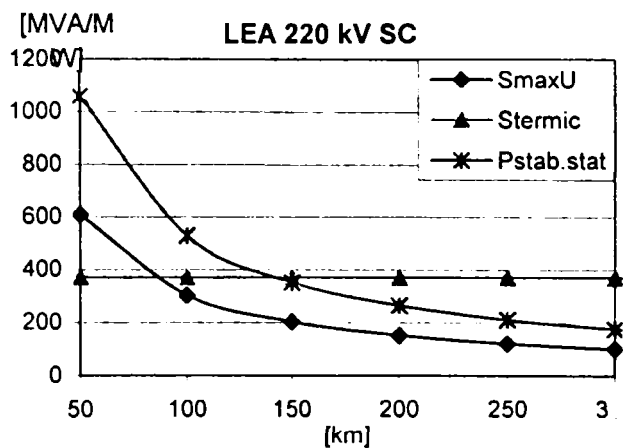


Figura 4.16 Puterile admisibile pentru LEA 220 kV

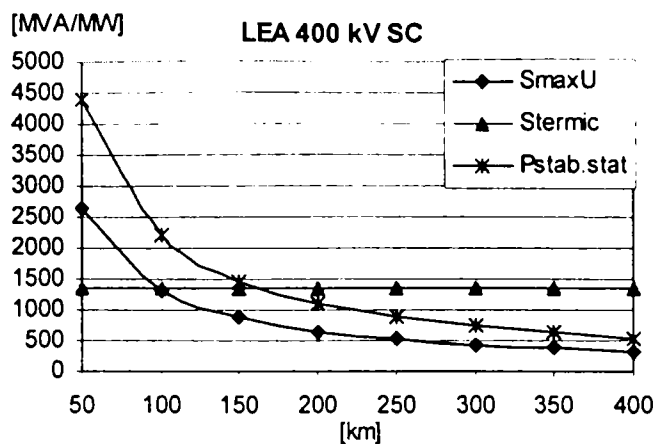


Figura 4.17 Puterile admisibile pentru LEA 400 kV

4.6.2 Diagnoza regimului de funcționare al LEA

Pentru diagnoza LEA sa adoptat un model fuzzy cu trei mulțimi (figura 4.18). Termenii lingvistici corespunzători celor trei mulțimi sunt: valori cvasi-optime, valori mici și valori mari. Valorile ferme în jurul cărora se definesc aceste mulțimi fuzzy sunt: curentul natural corespunzător puterii aparente naturale pentru optim, zero pentru valorile mici și curentul maxim admisibil pentru valorile mari.

Regimul de încărcare maximă admisibilă pentru o anumită LEA corespunde valorii minime dintre: curentul admisibil din punctul de vedere al stabilității de tensiune (*I_{adm. stab. tens.}*), curentul admisibil din punct de vedere al stabilității statice (*I_{adm. stab. stat.}*) și curentul admisibil termic (*I_{adm. termic.}*). Deci valoare utilizată la diagnoza încărcării LEA este:

$$I_{adm} = \min(I_{adm. termic}, I_{adm. stab. tens.}, I_{adm. stab. stat.}) \quad (4.123)$$

Pentru termenii lingvistici s-au făcut următoarele prescurtări:

- *O* - mulțimea fuzzy a valorilor cvasi-optime;
- *R* - mulțimea fuzzy a valorilor mari;
- *S* - mulțimea fuzzy a valorilor mici.

Cunoscând valorile curenților natural și admisibil mulțimile fuzzy se definesc astfel:

$$\begin{aligned} O &= \{(I, \mu_O(I)) \mid I \in [0, I_{adm}]\} \\ R &= \{(I, \mu_R(I)) \mid I > 1.5 \cdot I_{nat}\} \\ S &= \{(I, \mu_S(I)) \mid I < 0.5 \cdot I_{nat}\} \end{aligned} \quad (4.124)$$

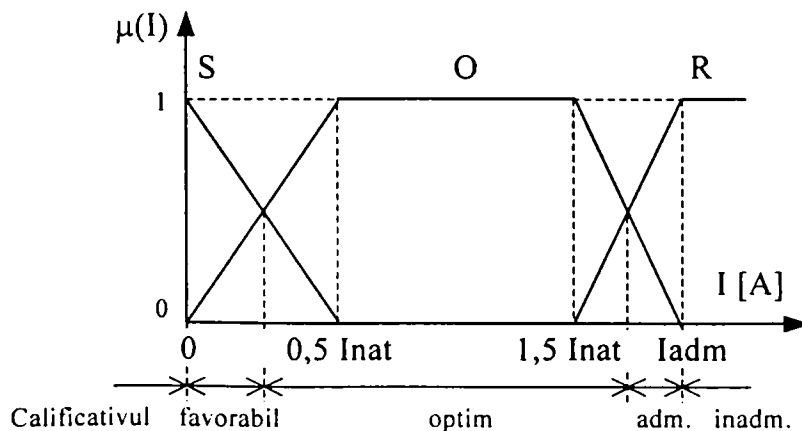


Figura 4.18 Modelul cu 3 mulțimi fuzzy pentru diagnoza încărcării LEA

Funcțiile de apartenență la cele trei mulțimi fuzzy sunt:

$$\mu_O(I) = \begin{cases} \frac{I}{0.5 \cdot Inat} & 0 \leq I \leq 0.5 \cdot Inat \\ 1 & 0.5 \cdot Inat \leq I \leq 1.5 \cdot Inat \\ \frac{Iadm - I}{Iadm - 1.5 \cdot Inat} & 1.5 \cdot Inat < I \leq Iadm \\ 0 & I > Iadm \end{cases} \quad (4.125)$$

$$\mu_S(I) = \begin{cases} \frac{0.5 \cdot Inat - I}{0.5 \cdot Inat} & 0 \leq I \leq 0.5 \cdot Inat \\ 0 & I > 0.5 \cdot Inat \end{cases} \quad (4.126)$$

$$\mu_R(I) = \begin{cases} 0 & I < 1.5 \cdot Inat \\ \frac{I - 1.5 \cdot Inat}{Iadm - 1.5 \cdot Inat} & 1.5 \cdot Inat < I \leq Iadm \\ 1 & I > Iadm \end{cases} \quad (4.127)$$

În figura 4.18 se observă cele 4 domenii ale curentului de fază. Aceste domenii corespund calificativelor lingvistice care vor fi acordate circulației pe o latură tip LEA. Calificativele au fost stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a curentului la mulțimile fuzzy definite:

- favorabil (*favorabil*) pentru $0.5 < \mu_S(I) \leq 1$;
- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(I) \geq 0.5$;
- admisibil (*adm.*) pentru $0.5 < \mu_R(I) < 1$;
- inadmisibil (*inadm.*) pentru $\mu_R(I) = 1$.

Metoda de diagnoză constă deci în calcularea gradelor de apartenență $\mu_K(I_i)$ a valorii ferme a curentului I_i la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{S, O, R\}$) și acordarea calificativul corespunzător domeniului în care se află curentul pentru fiecare latură $i \in LEA$, LEA mulțimea laturilor LEA din sistem.

Pentru aprecierea globală a regimului din punctul de vedere al puterilor aparente de circulație pe laturile tip LEA se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii;

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă circulațiile au doar calificative *optim* sau *favorabil* atunci regimul este declarat *OPTIM*.

Gradele de apartenență se calculează astfel:

$$\mu_{Optim}^{LEA} = \min_{i \in LEA} \{ \max [\mu_O(I_i), \mu_S(I_i)] \} \quad (4.128)$$

$$\mu_{Favorabil}^{LEA} = \max_{i \in LEA} \{ \min [\mu_O(I_i), \mu_S(I_i)] \} \quad (4.129)$$

unde: LEA este mulțimea laturilor tip linie electrică ale sistemului.

2. Dacă cel puțin o circulație pe o latură LEA are calificativul *admisibil* și nici un calificativul *inadmisibil* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL*.

Gradele de apartenență se calculează astfel:

$$\mu_{Admisibil}^{LEA} = \min_{i \in LEA} \{ \max [\mu_O(I_i), \mu_S(I_i), \mu_R(I_i)] \} \quad (4.130)$$

$$\mu_{Optim}^{LEA} = \max_{i \in LEA} \{ \min [\mu_O(I_i), \mu_S(I_i), \mu_R(I_i)] \} \quad (4.131)$$

unde: LEA este mulțimea laturilor tip linie electrică ale sistemului.

3. Dacă cel puțin o circulație are calificativul *inadmisibil* atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* și are gradele de apartenență: $\mu_{Inadmisibil}^{LEA} = 1$, $\mu_{Favorabil}^{LEA} = 0$, $\mu_{Admisibil}^{LEA} = 0$, $\mu_{Optim}^{LEA} = 0$.

4.6.3 Diagnoza regimului de funcționare al LES

După cum s-a precizat mai sus, pentru LES curentul maxim admisibil este considerat întotdeauna curentul admisibil termic (I_{adm}). Curentul natural are o valoare mult mai mare decât curentul maxim admisibil termic. De asemenea curenții maximi admisibili din punct de vedere al stabilității tensiunii și al stabilității statice au valori foarte mari.

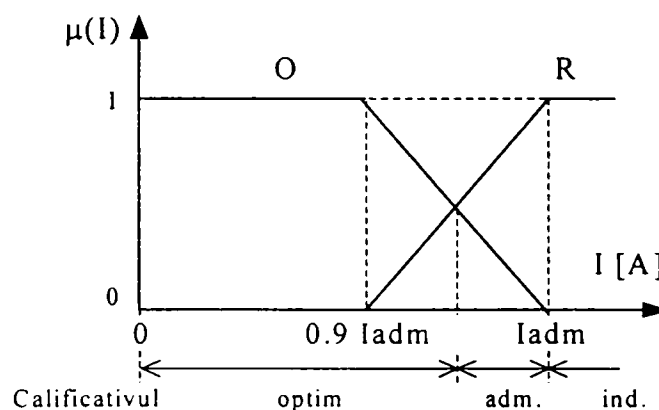


Figura 4.19 Modelul cu 2 mulțimi fuzzy pentru diagnoza încărcării LES

Diagnoza încărcării LES se realizează după model fuzzy din figura 4.19.

Mulțimile fuzzy sunt definite prin definite prin următorii termeni lingvistici:

- O - mulțimea fuzzy a valorilor cvasi-optime;
- R - mulțimea fuzzy a valorilor mari.

Cunoscând valoarea curentului admisibil, mulțimile fuzzy se definesc astfel:

$$R = \{ (I, \mu_R(I)) \mid I > 0.9 \cdot I_{adm} \} \quad (4.132)$$

$$\bar{O} = \{ (I, \mu_O(I)) \mid I \leq I_{adm} \}$$

Funcțiile de apartenență sunt:

$$\mu_O(I) = \begin{cases} 1 & I \leq 0.9 \cdot I_{adm} \\ \frac{I_{adm} - I}{0.1 \cdot I_{adm}} & 0 \leq I \leq I_{adm} \\ 0 & I > I_{adm} \end{cases} \quad (4.133)$$

$$\mu_R(I) = \begin{cases} 0 & I < 0.9 \cdot I_{adm} \\ \frac{I - 0.9 \cdot I_{adm}}{0.1 \cdot I_{adm}} & 0.9 \cdot I_{adm} < I \leq I_{adm} \\ 1 & I > I_{adm} \end{cases} \quad (4.134)$$

În figura 4.19 se observă cele 3 domenii ale încărcării. Aceste domenii corespund calificativelor lingvistice care vor fi acordate circulației pe latura tip LES. Calificativele au

fost stabilite în funcție de valorile gradelor de apartenență a valorii ferme a curentului de fază la mulțimile fuzzy definite.

Calificativele se stabilesc astfel:

- optim (*opt.*) pentru $\mu_O(I) \geq 0.5$;
- admisibil (*adm.*) pentru $0.5 < \mu_R(I) < 1$;
- inadmisibil (*ind.*) pentru $\mu_R(I) = 1$.

Metoda de diagnoză constă deci în calcularea gradelor de apartenență $\mu_K(I_i)$ a valorii ferme a curentului I_i , $i \in LES$, LES mulțimea laturilor LES din sistem, la mulțimile fuzzy K definite ($K \in \{O, R\}$) și acordarea calificativului corespunzător domeniului în care se află valoarea curentului.

Pentru aprecierea globală a regimului din punctul de vedere al puterilor aparente de circulație pe laturile tip LES se definesc 3 mulțimi fuzzy. Termenii lingvistici sunt următorii;

- *OPTIM* - mulțimea fuzzy a regimurilor cvasi-optime;
- *ADMISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor admisibile;
- *INADMISISIBIL* - mulțimea fuzzy a regimurilor inadmisibile.

Mulțimile fuzzy sunt definite cu ajutorul următoarelor reguli:

1. Dacă toate încărcările au calificative *optim* atunci regimul este declarat *OPTIM*. Gradele de apartenență se calculează:

$$\mu_{Optim}^{LES} = \min_{i \in LES} \{ \mu_O(I_i) \} \quad (4.135)$$

$$\mu_{Admisibil}^{LES} = \max_{i \in LES} \{ \mu_R(I_i) \} \quad (4.136)$$

unde: LES este mulțimea laturilor tip LES din sistem.

2. Dacă toate încărcările au calificative *optim*, *admisibil inferior* sau *admisibil superior* atunci regimul este declarat *ADMISIBIL*. Gradele de apartenență se calculează:

$$\mu_{Admisibil}^{LES} = \min_{i \in LES} \{ \max [\mu_O(I_i), \mu_R(I_i)] \} \quad (4.137)$$

$$\mu_{Optim}^{LES} = \max_{i \in LES} \{ \min [\mu_O(I_i), \mu_R(I_i)] \} \quad (4.138)$$

unde: LES este mulțimea laturilor tip LES din sistem.

3. Dacă există cel puțin o încărcare are calificativ *inadmisibil* (a depășit limitele admisibile) atunci regimul este declarat *INADMISISIBIL* și are gradele de apartenență: $\mu_{Inadmisibil}^{LES} = 1$,

$$\mu_{Admisibil}^{LES} = 0, \mu_{Optim}^{LES} = 0.$$

Interpretarea calificativelor, acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy „optim” indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui în ceea ce privește valorile puterilor aparente de circulație.
- Dacă regimul primește calificativul *INADMISISIBIL* atunci el este unul de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare a lui.

În final, pentru fiecare LEA din sistem vom avea valorile gradelor de apartenență la mulțimile fuzzy definite și calificativul lingvistic atribuit. De asemenea se calculează distanța euclidiană procentuală relativă la puterea naturală d_i^{LEA} , dintre puterea aparentă curentă de circulație S_{ij} pe latura $i - j$ și puterea naturală corespunzătoare $Snat_{ij}$ astfel:

$$d_{ij}^{LEA} = 100 \cdot \sqrt{(S_{ij} - Snat_{ij})^2 / Snat_{ij}} \quad [\%] \quad (4.139)$$

Pentru o anumită latură ij a sistemului, cu cât această distanță este mai mică cu atât puterea aparentă curentă de circulație se află mai aproape de puterea naturală.

Pentru LES distanța euclidiană procentuală nu se calculează.

După analiza tuturor puterilor aparente de circulație pe laturile LEA ale SEP se vor calcula indicatorii globali pentru regim: distanța euclidiană relativă dintre puterile aparente curente de circulație și puterile aparente naturale pentru laturile linie electrică aeriană și de asemenea indicatorul global fuzzy corespunzător.

Distanța euclidiană relativă pentru regim D^{LEA} se calculează pe baza distanțelor procentuale individuale:

$$D^{LEA} = \sqrt{\sum_{i \in LEA} (d_i^L / 100)^2} \quad [\text{u.r.}] \quad (4.140)$$

unde: LEA este mulțimea laturilor linii electrice din sistem.

Cu cât această distanță este mai mică cu atât puterile aparente de circulație pe laturile tip LEA din sistem se află mai aproape de puterile naturale corespunzătoare.

4.7 Indicatori globali fuzzy de apreciere a regimurilor permanente ale SEP

Pe baza indicatorilor fuzzy globali pentru tensiune, pentru puterea activă și reactivă generată și compensată se calculează un **indicator global pentru regim corespunzător nodurilor**. Valoarea lui lingvistică și gradele de apartenență se determină conform următoarelor reguli:

1. Dacă indicatorii globali pentru tensiune, putere activă generată și putere reactivă generată au doar calificative *optim* sau *admisibil* atunci regimul este declarat:

- *OPTIM* dacă $\mu_{Optim}^N \geq 0.5$ sau
- *ADMISIBIL* dacă $\mu_{Admisibil}^N > 0.5$

Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Optim}^N = \min\{\mu_{Optim}^U, \mu_{Optim}^P, \mu_{Optim}^Q\} \quad (4.141)$$

$$\mu_{Admisibil}^N = \max\{\mu_{Admisibil}^U, \mu_{Admisibil}^P, \mu_{Admisibil}^Q\} \quad (4.142)$$

2. Dacă există cel puțin unul dintre indicatorii globali pentru tensiune, putere activă generată și putere reactivă generată are calificativul *inadmisibil* atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* iar are gradele de apartenență au valorile: $\mu_{Inadmisibil}^N = 1$, $\mu_{Admisibil}^N = 0$, $\mu_{Optim}^N = 0$.

Pe baza indicatorilor fuzzy pentru circulațiile pe laturile de tip LEA, LES și respectiv transformator s-a calculat un **indicator general pentru regim corespunzător laturilor**. Valoarea lui lingvistică și gradele de apartenență se determină conform următoarelor reguli:

1. Dacă indicatorii globali pentru putere de circulație pe laturi de tip LEA, LES și transformator au doar calificative *optim* și *admisibil* atunci regimul este declarat:

- *OPTIM* dacă $\mu_{Optim}^N \geq 0.5$ sau
- *ADMISIBIL* dacă $\mu_{Admisibil}^N > 0.5$

Gradele de apartenență pentru regim se calculează astfel:

$$\mu_{Optim}^L = \min\{\mu_{Optim}^{LEA}, \mu_{Optim}^{LES}, \mu_{Optim}^{TR}\} \quad (4.143)$$

$$\mu_{Admisibil}^L = \max\{\mu_{Admisibil}^{LEA}, \mu_{Admisibil}^{LES}, \mu_{Admisibil}^{TR}\} \quad (4.144)$$

2. Dacă există cel puțin unul dintre indicatorii globali pentru puterea aparentă de circulație pe laturi de tip LEA, LES și transformator are calificativul *inadmisibil* atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* iar are gradele de apartenență au valorile: $\mu_{Inadmisibil}^L = 1$, $\mu_{Admisibil}^L = 0$, $\mu_{Optim}^L = 0$.

Indicatorul general pentru regim se calculează pe baza indicatorilor globali fuzzy pentru noduri și laturi. Valoarea lui lingvistică și gradele de apartenență se determină conform următoarelor reguli:

1. Dacă indicatorii globali pentru noduri și laturi au doar calificative *optim* sau *admisibil* atunci regimul este declarat:

- *OPTIM* dacă $\mu_{Optim}^{Regim} \geq 0.5$ sau
- *ADMISIBIL* dacă $\mu_{Admisibil}^{Regim} > 0.5$

Gradele de apartenență pentru regim se stabilesc astfel:

$$\mu_{Optim}^{Regim} = \min\{\mu_{Optim}^N, \mu_{Optim}^L\} \quad (4.145)$$

$$\mu_{Admisibil}^{Regim} = \max\{\mu_{Admisibil}^N, \mu_{Admisibil}^L\} \quad (4.146)$$

2. Dacă cel puțin unul dintre indicatorii globali pentru noduri sau laturi are calificativul *inadmisibil* atunci regimul este declarat *INADMISIBIL* iar gradele de apartenență au valorile: $\mu_{Inadmisibil}^L = 1$, $\mu_{Admisibil}^L = 0$, $\mu_{Optim}^L = 0$.

Interpretarea calificativelor acordate unui anumit regim al SEP este următoarea:

- Dacă regimul primește calificativul *OPTIM* atunci nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui; desigur valoare gradului de apartenență la mulțimea fuzzy „optim” indică gradul de încredere în acest calificativ acordat.
- Dacă regimul primește calificativul *ADMISIBIL* atunci el este un regim de atenție pentru care sunt necesare măsuri de îmbunătățire (optimizare) a lui.
- Dacă regimul primește calificativul *INADMISIBIL* atunci el este unul de alarmă și sunt necesare măsuri urgente de reparare.

Capitolul 5

METODĂ DE DIAGNOZĂ A REGIMURILOR PERMANENTE ALE SEP FOLOSIND INDICATORI FUZZY

5.1. Aspecte generale ale metodologiei de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP

Diagnoza regimurilor permanente ale SEP presupune analiza valorilor mărimilor electrice din sistem, tensiuni, curenți și puteri, susceptibile a fi măsurate și apoi estimate. În metoda propusă pentru diagnoză, mărimile electrice folosite sunt: tensiunile nodurilor de rețea, puterile activă și reactivă injectate în nodurile generatoare sau compensatoare și puterile aparente, respectiv curenții de fază, de pe laturile transformator sau autotransformator respectiv linie electrică.

Metoda de diagnoză propusă în această lucrare, folosește pentru fiecare dintre mărimile electrice urmărite un indicator fuzzy local și indicatori fuzzy globali stabiliți conform celor prezentate în capitolul 4. Indicatorii globali — pentru tensiune, putere activă generată, putere reactivă generată, circulații pe linii electrice și circulații pe transformatoare — caracterizează regimul curent acordându-i, corespunzător fiecăruia dintre ei, unul din cele trei calificative posibile: optim, admisibil și inadmisibil. Pe baza indicatorilor globali ai mărimilor urmărite se stabilește calificativul regimului: optim, admisibil și inadmisibil.

Dacă regimului curent i se acordă calificativul optim atunci nu este necesară luarea unor măsuri de corectare a regimului fiind de fapt un regim foarte apropiat de valorile cvasi-optime corespunzătoare calculate pe baza regimurilor optime de bază. Dacă i se acordă calificativul admisibil atunci regimul curent este permis dar el este un regim îndepărtat de valorile cvasi-optime corespunzătoare și deci sunt necesare măsuri de îmbunătățire a lui care să-l aducă în categoria regimurilor cu calificativ optim. Dacă regimul curent are calificativul inadmisibil atunci el este inacceptabil și sunt necesare măsuri urgente de corectare a lui.

În acest capitol se prezintă metodologia propusă de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP bazată pe folosirea indicatorilor fuzzy locali și globali și a calificativelor din capitolul 4. În cadrul acestei metodologii se parcurg două etape:

- calculul indicatorilor și stabilirea calificativelor regimului analizat cu care se apreciază calitatea lui;
- în cazul în care regimul analizat nu are calificativul de optim atunci cu ajutorul instrumentului teoretic dezvoltat în capitolul 3 se identifică măsurile de corecție necesare pentru îmbunătățirea lui.

Măsurile de corecție necesare cuprind acțiuni de reglare a tensiunii în sistem cu ajutorul reguletoarelor de tensiune și acțiuni de reglare a puterii active injectate în nodurile de tip generator.

5.2. Metodologia de diagnoză a tensiunii și puterii active generate

Indicatorilor fuzzy locali pentru tensiunile nodurilor permit identificarea acelor tensiuni în noduri a căror valoare este îndepărtată de valoarea cvasi-optimă corespunzătoare. Ele sunt referite cu termenul de „tensiuni neconforme”. Drept urmare, valorile tensiunilor neconforme vor trebui corectate folosind măsuri adecvate de corecție care să conducă, pentru fiecare tensiune în parte, la valori apropiate de cele cvasi-optime și mai apoi la calificativul optim pentru indicatorul global al tensiunilor.

Pentru corecția tensiunilor neconforme din nodurile sistemului, este necesară intervenția nodurilor reglatoare de tensiune din sistem. Prin nod regulator de tensiune sau mai simplu regulator de tensiune, se înțelege fie un nod generator, fie un nod cu compensator de putere reactivă (reactanță variabilă — FACTS — sau compensator sincron), fie nodurile laturii de tip transformator sau autotransformator care are raportul de transformare reglabil sub sarcină. Caracteristica esențială a unui regulator de tensiune este capacitatea lui de a-și modifica tensiunea la comanda operatorului și prin aceasta de a regla tensiunea în nodurile unei zone înconjurătoare de rețea.

Apariția tensiunilor neconforme este o consecință a valorilor necorespunzătoare a parametrilor de reglare aferenți reglatoarelor de tensiune. Pentru stabilirea reglatoarelor de tensiune a căror parametri de reglaj trebuie modificați, este necesară cunoașterea zonei de influență (de control) a fiecărui regulator în parte. În secțiunea următoare se prezintă o metodă euristică de determinare a zonelor de control pentru reglatoarele de tensiune.

În mod asemănător se realizează diagnoza puterilor active generate. Se calculează indicatorii fuzzy locali și global pentru puterile active generate și se acordă calificativele corespunzătoare. Pe baza lor se identifică puterile active generate ale căror valori sunt mult diferite de valorile cvasi-optime corespunzătoare, referite ca „puteri active generate neconforme”. Nodurile generatoare sunt de fapt reglatoarele de putere activă. Puterile active generate neconforme vor fi corectate, modificându-se astfel încât noile lor valori să fie în apropierea valorilor cvasi-optime corespunzătoare.

5.2.1. Metodă euristică pentru determinarea zonelor de influență a reglatoarelor de tensiune

Cauzele modificării tensiunii în nodurile sistemului, la nivelele de înaltă și foarte înaltă tensiune, este strâns legată de circulația de putere reactivă. Pierderea de tensiune pe o latura ij din sistem, în cazul neglijării parametrilor transversali, se poate calcula astfel [C2]:

$$|\Delta U_{ij}| = \frac{R_{ij} \cdot P_{ji} + X_{ij} \cdot Q_{ji}}{U_j} \quad (5.1)$$

unde: R_{ij} și X_{ij} sunt parametrii longitudinali ai laturii;

\underline{U}_i și \underline{U}_j sunt tensiunile în cele două noduri limitrofe;

$\underline{S}_{ij} = P_{ji} + jQ_{ji}$ este puterea aparentă în nodul j nod terminal al laturii.

Deoarece pentru liniile electrice de transport raportul $X/R \gg 1$, se poate spune că variația modulului tensiunii depinde în principal de raportul $Q_{ji} \cdot X_{ij} / U_j$, adică de valoarea mărimilor Q_{ji} , U_j și X_{ij} .

După cum s-a precizat și în capitolul 2, în [U7] se prezintă o metodă euristică de determinare a impactului reglatoarelor de tensiune asupra tensiunilor din nodurile sistemului.

Fiecare regulator de tensiune, plasat într-un nod al SEP, prin modificarea parametrului de reglare (curent de excitație, prize la transformator etc.), modifică de fapt circulația de putere reactivă din rețea și influențează mai puternic tensiunile din nodurile direct legate cu regulatorul de tensiune. Această influență este direct proporțională cu valoarea reactanței longitudinale a laturii care leagă nodul regulator de nodul vecin. Calea de impedanță minimă (de reactanță minimă) între nodul regulator și un nod vecin este calea pe care va circula cea mai mare parte a puterii reactive debitate de sursă. Această cale se numește “cale de putere reactivă” sau “cale reactivă”. Pentru fiecare nod regulator de tensiune se poate defini o “cale reactivă” care îl leagă de un nod vecin.

Se impune condiția ca în căile reactive să nu fie cuprinse transformatoare deoarece reactanța lor este sensibil mai mare ca a liniilor electrice de lungime normală și deci pierderile de putere activă cauzate de circulația puterii reactive ar fi mult mai mare decât pe linii.

Totuși, în cazul reprezentării generatoarelor la nivelul de medie tensiune, transformatorul de evacuare a puterii din centrală (transformatorul bloc) va face întotdeauna parte din zona de influență a nodului generator respectiv.

Efectul unei surse de putere reactivă este limitat asupra tensiunilor nodurilor zonei învecinate deoarece el se diminuează pe măsură ce ne îndepărtăm de sursă. Prin urmare se poate delimita o zonă învecinată nodului regulator de tensiune pentru care impactul lui este important. Pentru nodurile din afara zonei se consideră că influența nodului regulator de tensiune este neglijabilă.

Zonele de influență a nodurilor reglatoare pot fi determinate rapid utilizând reguli euristice și calcule simple (figura 5.1).

Stabilirea zonelor de influență pentru nodurile reglatoare de tensiune se face în modul următor:

1. Pentru un regulator de tensiune se caută puterea reactivă de circulație maximă Q_{max} pe legăturile cu nodurile imediat învecinate.
2. Se stabilește un prag $\alpha |Q_{max}|$, denumit „nivel suficient” de putere reactivă, unde $\alpha \in (0, 1)$ se numește *factor de suficiență* și este ales din considerente euristice pe baza unor studii de regimuri.
3. Se verifică dacă circulațiile Q_i pe legăturile nodului regulator cu alte noduri învecinate îndeplinesc condițiile:

$$|Q_i| > \alpha |Q_{max}| \quad (5.2)$$

$$Q_i \cdot Q_{max} > 0 \quad (5.3)$$

Circulațiile care satisfac aceste condiții indică nodurile învecinate care ar putea face parte din zona de control a nodului regulator. Circulațiile care nu îndeplinesc condițiile de mai sus indică nodurile învecinate care nu fac parte din zona de influență.

4. Pentru nodurile din zona de influență posibilă stabilită anterior (pasul 3), se verifică dacă circulațiile Q_i^p pe legăturile cu nodurile învecinate care nu fac parte din zona de influență posibilă, îndeplinesc condițiile:

$$|Q_i| > \beta |Q_i^p| \quad (5.4)$$

$$Q_i \cdot Q_i^p < 0 \quad (5.5)$$

unde $\beta \in (0, 1)$ se numește *factor de influență* și este ales din considerente euristice.

Nodurile pentru care se verifică și aceste condiții fac într-adevăr parte din zona de control a nodului regulator considerat, celelalte noduri sunt eliminate din zona de control posibilă.

5. Procedura se repetă pentru fiecare nod regulator din zona de control posibilă până la pasii 3 și 4 pentru nivelul următor de legături.
6. Căutarea se oprește dacă pentru nici o legătură nu sunt îndeplinite condițiile de la pașii 3 și 4 sau dacă se întâlnește un alt nod regulator de tensiune.

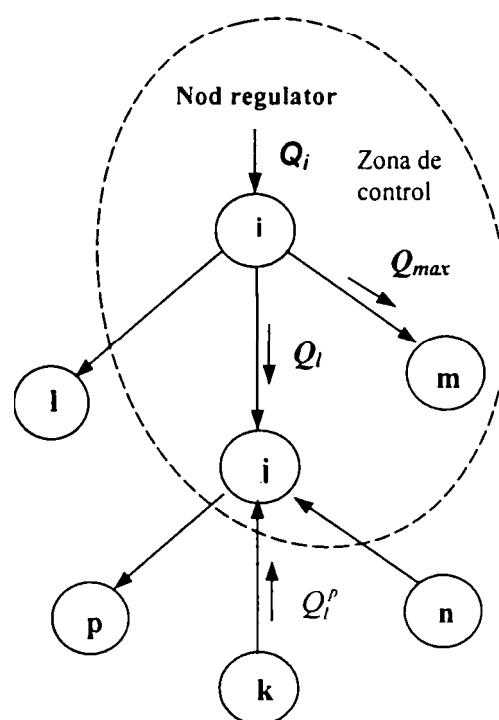


Figura 5.1. Schema explicativă a algoritmului de căutare.

Pentru valori ale factorului de suficiență α apropiate de limita maximă (adică 1) tot mai puține noduri vor fi incluse în zona de control a unui anumit regulator iar în cazul valorilor apropiate de limita minimă (adică 0) vor fi incluse noduri care sunt tot mai îndepărtate electric de nodul regulator .

O valoare mare a indicelui β (apropiată de 1) face ca în zona de control să intre doar noduri al căror nivel de tensiune este puternic influențat de nodul regulator, iar o valoare mai mică (apropiată de 0) face ca zona să cuprindă și noduri al căror nivel de tensiune este influențat într-o măsură mai mare de către alte regulatoare.

Prin alegerea valorilor coeficienților α și β se pot obține zone de control astfel încât să se evite suprapunerea excesivă a acestora sau să se evite rămânerea unor noduri în afara oricărei zone de control. Această metodă a fost implementată într-un program de calcul cu numele RPC și a fost testată pentru sistemul test cu 25 de noduri prezentat în Anexa 2.

5.2.2. Testarea metodei de determinare a zonelor de influență

În scopul unei cât mai complete evaluări a rezultatelor obținute cu metoda descrisă mai sus și pentru găsirea valorilor optime pentru factorul de suficiență și factorul de influență s-a considerat sistemul test cu 25 de noduri (Anexa 2) iar în cadrul acestui sistem s-au luat în considerare trei regimuri de referință adică regimurile de bază definite în subcapitolul 4.2.

În prima etapă, cu ajutorul programului de circulație de puteri CNW, s-au operat modificări asupra valorilor parametrilor de reglaj a reguletoarelor de tensiune și apoi s-a recalculat circulația de puteri, pentru a constata modificările tensiunilor în noduri. Acest lucru s-a făcut pentru fiecare regim de bază iar în cadrul unui regim pentru fiecare regulator de tensiune în parte. Modificările operate au constat în creșterea cu 1 % a tensiunii în nodurile generatoarele sau compensatoare iar în cazul transformatoarelor (autotransformatoarelor) cu reglaj sub sarcină s-a modificat plotul curent de funcționare (s-a trecut pe plotul imediat superior). Modificările descrise s-au efectuat pe rând la fiecare regulator în parte păstrând toate valorile inițiale pentru celelalte regulatoare. Pentru variația amintită a parametrului de reglare s-au considerat a fi afectate doar acele tensiuni care au înregistrat o variație relativă mai mare de 0,3 %. Aceste noduri fac parte din zona de control a regulatorului de tensiune respectiv. Toate celelalte noduri care au o variație relativă a tensiunii sub pragul de 0,3 % și sunt catalogate ca fiind în afara zonei de control. Rezultatele obținute cu programul de circulație de puteri sunt prezentate în tabelele 5.1 la 5.6.

În etapa a doua pentru fiecare regulator de tensiune, s-au stabilit zonele de influență (de control) cu ajutorul programului RPC care implementează metoda euristică prezentată, considerând diferite valori pentru factorii α respectiv β , pentru cele trei regimuri considerate. Rezultatele obținute pentru zonele de influență sunt prezentate în tabelele 5.7 la 5.12.

Tabelul 5.1. Valorile variațiilor relative ale tensiunilor nodurilor [%] pentru regimul L

Nod	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0,74	0,21	0,05	0,01	0,01	0	0,07	1,24	0,01	0,02	0,01	0
8	0,41	0,55	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	3,25	0	0,01	0,03	0,01
9	0,61	0,18	0,18	0,06	0,01	0,01	0,97	1,01	0,03	0,09	0,02	0
10	0,13	0,82	0,04	0	0,03	0,01	0,01	1,38	0	0	0,04	0,01
11	0,04	0,05	0,87	0,03	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01
12	0,29	0,1	0,48	0,15	0,01	0,01	0,45	0,44	0,07	0,24	0,02	0,01

Nod	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
13	0,06	0,28	0,44	0,01	0,14	0,14	0,03	0,43	0,01	0,01	0,24	0,05
14	0,06	0,24	0,54	0,02	0,12	0,12	0,03	0,35	0,01	0,1	0,2	0,04
15	0,08	0,43	0,25	0,01	0,22	0,08	0,01	0,7	0	0,01	0,37	0,08
16	0,07	0,37	0,21	0,01	0,34	0,07	0,01	0,6	0	0	0,72	0,04
17	0,07	0,06	0,8	0,07	0,02	0,02	0,1	0,04	1,05	0,09	0,04	0,01
18	0,2	0,08	0,42	0,32	0,01	0,01	0,32	0,3	0,18	0,68	0,02	0
19	0,08	0,06	0,77	0,1	0,02	0,02	0,12	0,07	0,97	0,16	0,03	0,01
20	0,1	0,06	0,72	0,13	0,02	0,02	0,15	0,1	0,86	0,22	0,03	0,01
21	0,02	0,12	0,07	0	0,78	0,02	0	0,2	0	0	0,41	0,08
22	0,04	0,23	0,13	0	0,6	0,04	0,01	0,37	0	0	0,99	0,02
23	0,07	0,38	0,22	0,01	0,34	0,07	0,01	0,61	0	0	0,25	0,97
24	0,07	0,38	0,22	0,01	0,34	0,07	0,01	0,62	0	0	0,25	0,97
25	0,04	0,24	0,14	0	0,58	0,05	0,01	0,4	0	0	0,11	0,5

Tabelul 5.2. Zonele nodurilor reglatoare determinate cu CNW: regim *L*, prag de sensibilitate 0.3 %

Zonă	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
	7, 8, 9, 12	8, 10, 15, 16, 23, 24	11,12, 13,14, 17,18, 19,20	18	16, 21 22, 23 24, 25	—	9, 12, 18	7, 8, 9,10, 12,13, 14,15, 16,18, 22,23, 24,25	17, 19, 20	18	15, 16, 21, 22	23, 24, 25

Tabelul 5.3. Valorile variațiilor de tensiune ale nodurilor [%] pentru regimul *M*

Nod	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	1,61	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0,71	0,25	0,06	0,01	0,01	0	0,09	2,02	0,01	0,02	0,22	0
8	0,39	0,58	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	4,79	0	0,01	0,03	0,01
9	0,59	0,21	0,2	0,05	0,01	0,01	0,99	1,68	0,03	0,09	0,02	0
10	0,13	0,82	0,04	0	0,03	0,01	0,01	1,06	0	0,01	0,05	0,01
11	0,05	0,06	0,88	0,03	0,02	0,02	0,07	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01
12	0,29	0,12	0,5	0,14	0,02	0,01	0,48	0,8	0,07	0,23	0,03	0,01
13	0,07	0,31	0,48	0,01	0,14	0,14	0,03	0,1	0,01	0,01	0,24	0,05
14	0,07	0,26	0,58	0,02	0,12	0,12	0,04	0,07	0,01	0,01	0,21	0,04
15	0,09	0,45	0,27	0,01	0,22	0,08	0,01	0,21	0	0,01	0,37	0,08
16	0,07	0,39	0,24	0,01	0,33	0,07	0,01	0,04	0	0,01	0,69	0,05
17	0,07	0,07	0,82	0,07	0,02	0,02	0,11	0,16	1,03	0,09	0,04	0,01
18	0,21	0,1	0,46	0,3	0,01	0,01	0,35	0,58	0,18	0,07	0,02	0,01
19	0,09	0,07	0,8	0,1	0,02	0,02	0,14	0,21	0,96	0,16	0,04	0,01
20	0,11	0,08	0,75	0,12	0,02	0,02	0,17	0,26	0,85	0,24	0,04	0,01
21	0,03	0,13	0,08	0	0,78	0,02	0	1,1	0	0	0,38	0,09
22	0,05	0,24	0,15	0	0,59	0,04	0,01	0,66	0	0	0,96	0,02
23	0,08	0,4	0,24	0,01	0,34	0,07	0,01	0,04	0	0,01	0,28	0,98
24	0,08	0,4	0,24	0,01	0,34	0,07	0,01	0,04	0	0,01	0,25	0,98
25	0,05	0,26	0,16	0,01	0,58	0,04	0,01	0,62	0	0	0,1	0,51

Tabelul 5.4. Zonele nodurilor reglatoare determinate cu CNW: regimul M, prag de sensibilitate 0.3 %

Zona	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
	7, 8, 9, 12	8, 10, 13, 15, 16, 23 24	11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20	18	16, 21 22, 23 24, 25	—	9, 12, 18	5,7, 8, 9, 12, 18 21, 22, 25	17, 19 20	12, 18, 19, 20	15, 16, 21, 22	23, 24, 25

Tabelul 5.5. Valorile variațiilor de tensiune ale nodurilor [%] pentru regimul H

Nod	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0,74	0,26	0,07	0,02	0,01	0	0,09	1,96	0,01	0,03	0,02	0
8	0,42	0,59	0,06	0,01	0,02	0,01	0,05	4,58	0	0,01	0,04	0,01
9	0,62	0,23	0,21	0,05	0,01	0,01	1,01	1,63	0,03	0,09	0,02	0
10	0,14	0,83	0,05	0	0,03	0,01	0,01	1,01	0	0,01	0,05	0,01
11	0,06	0,08	0,9	0,03	0,03	0,03	0,08	0,05	0,02	0,01	0,05	0,01
12	0,31	0,14	0,52	0,14	0,02	0,02	0,49	0,76	0,08	0,23	0,03	0,01
13	0,08	0,34	0,52	0,02	0,016	0,15	0,04	0,32	0,01	0,01	0,27	0,05
14	0,08	0,29	0,63	0,02	0,13	0,13	0,05	0,25	0,01	0,01	0,23	0,05
15	0,1	0,49	0,29	0,01	0,23	0,09	0,02	0,54	0,01	0,01	0,39	0,08
16	0,09	0,42	0,26	0,01	0,34	0,08	0,02	0,47	0	0,01	0,73	0,05
17	0,08	0,08	0,84	0,07	0,03	0,03	0,12	0,13	1,04	0,09	0,05	0,01
18	0,23	0,11	0,48	0,31	0,02	0,02	0,36	0,56	0,18	0,71	0,03	0,01
19	0,1	0,09	0,84	0,1	0,03	0,03	0,15	0,18	0,98	0,17	0,05	0,01
20	0,12	0,09	0,78	0,13	0,03	0,02	0,18	0,23	0,86	0,24	0,04	0,01
21	0,03	0,15	0,09	0	0,79	0,03	0,01	0,16	0	0	0,39	0,09
22	0,05	0,26	0,16	0,01	0,61	0,05	0,01	0,29	0	0	0,97	0,02
23	0,09	0,44	0,27	0,01	0,35	0,08	0,02	0,49	0	0,01	0,28	1,01
24	0,09	0,45	0,27	0,01	0,36	0,08	0,02	0,49	0	0,01	0,28	1,02
25	0,06	0,29	0,18	0,01	0,6	0,05	0,01	0,32	0	0	0,09	0,53

Tabelul 5.6. Zonelor nodurilor reglatoare determinate cu CNW: regim H, prag de sensibilitate 0.3 %

Zona	Parametru de reglare a tensiunii											
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	P7-9	P8-10	P11-17	P12-18	P16-22	P15-23
	7, 8, 9, 12	8, 10, 13, 15, 16, 23, 24	11, 12, 13, 14 17, 18, 19 20	18	16, 21 22, 23 24, 25	—	9, 12, 18	7, 8, 9,10, 12,13, 15,16, 18,23, 24, 25	17, 19 20	18	15, 16, 21, 22	23, 24, 25

Trebuie precizat faptul că în cazul transformatoarelor cu reglaj sub sarcină, pentru care parametrul de reglare este raportul de transformare, doar nodurile din secundarul transformatoarelor, în raport cu sensul de circulație al puterii active, au fost considerate noduri reglatoare de tensiune. De altfel acest lucru se poate observa și în analiza efectuată mai sus

pentru sistemul test cu 25 de noduri (Anexa 2), unde la modificarea raportului de transformare s-a modificat în principal tensiunea nodului din secundarul transformatorului.

Există totuși și excepții. De exemplu nodurile 8 și 10 din schema sistemului test cu 25 de noduri (Anexa 2), își modifică ambele tensiunea la modificarea raportului de transformare așa după cum se poate vedea și în tabelele 5.1 la 5.6. De aceea, în astfel de cazuri se vor considera ambele noduri limitrofe transformatorului cu reglaj sub sarcină, ca fiind noduri reglatoare de tensiune. Conform metodei euristice adoptate pentru determinarea zonelor de influență a tensiunii, zonele de control ale acestor noduri nu se intersectează, ele fiind la nivele diferite de tensiune.

În continuare se va studia influența valorilor coeficienților α și β asupra extinderii zonelor de control. În acest fel se vor determina valorile potrivite pentru coeficienții α și β în cazul sistemului test cu 25 de noduri. În cazul altor sisteme, valorile coeficienților vor putea fi diferite.

Pentru fiecare dintre cele trei regimuri de bază, (L , M și H) s-au determinat zonele de control pentru reglatoarele de tensiune considerându-se diferite valori pentru coeficienții α și β . Rezultatele au fost obținute cu programul RPC și sunt prezentate în tabele 5.7 la 5.12.

Tabelul 5.7. Zonele nodurilor reglatoare de tensiune: regim L , α - constant

α	B	Nod regulator de tensiune													
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23	
0.01	0.02	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	10,11, 12, 13, 14,15, 16	17,18 ,20	18, 20	21,22 23,25	23, 24	
	0.05	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	10,11, 12,13, 14,15, 16,	10,11, 12,13, 14, 15, 16	17,18 ,20	18, 20	21,22 23,25	23, 24	
	0.06	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	10,11, 12,13, 14,15, 16	10,11, 12,13, 14, 15, 16	17,20	18, 20	21, 22,25	23, 24	
	0.075	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	10,11, 12,13, 14,15, 16	10,13, 14, 15, 16	17,20	18, 20	21, 22,25	23, 24	
	0.09	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	10,11, 12,13, 14,15, 16	10,13, 14, 15, 16	17,20	18, 20	21, 22,25	23, 24	
	0.1	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	12	10, 13, 14, 15, 16	17, 20	18, 20	21, 22, 25	23, 24	
	0.2	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	12	10	17,20	18, 20	21, 22,25	23, 24	
	0.4	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	12	10	17,20	18, 20	22	23, 24	
	0.8	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	12	10	17,20	18	22	23, 24	
	1	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	12	10	17,20	18	22	23, 24	

Tabelul 5.8. Zonele nodurilor reglatoare: regim L , β - constant.

β	α	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
0.1	0.001	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 14,15, 16	17, 20	18, 20	5, 21, 22,25	23, 24
	0.1	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 13,14, 15,16	17, 20	18, 20	5, 21, 22,25	23, 24
	0.125	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 15, 16	17, 20	18, 20	5, 21, 22,25	23, 24
	0.15	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 15	17, 20	18, 20	5, 21, 22,25	23, 24
	0.2	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,15	17, 20	18, 20	5, 21, 22,25	23, 24
	0.3	7	10	11	18	21, 22	13	-	9, 12	10,15	17, 20	18, 20	5, 21, 22	23, 24
	0.5	7	10	11	18	21	13	-	9, 12	10,15	17, 20	18, 20	5, 21, 22	23, 24
	0.9	7	10	11	18	21	13	-	9, 12	10,15	17, 20	18, 20	5, 21, 22	23, 24
	0.99	7	10	11	18	21	13	-	9, 12	10,15	17, 20	18, 20	5, 21, 22	23, 24
	1	7	10	11	18	—	13	-	9	10	17	18	22	23

Tabelul 5.9. Zonele nodurilor reglatoare regim M , α - constant

α	β	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
0.01	0.02	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9, 11, 12	10,13, 15	17,18 19,20	18, 19, 20	21, 22,23, 25	23, 24 25
	0.07	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 15	17,18 19,20	18, 19, 20	21, 22,23, 25	23, 24 25
	0.1	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 15	17,19 20	18, 19, 20	21, 22,232 5	23, 24 25
	0.3	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9, 12	10,13, 15	17,19 20	18, 19, 20	21 22,25	23, 24 25
	0.4	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9	10,13, 15	17,20	18, 19, 20	22	23, 24 25
	0.5	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	7	9	10,13, 15	17,20	18, 19, 20	22	23, 24 25
	0.6	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	-	9	10,13, 15	17,20	18, 19, 20	22	23, 24 25
	0.7	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	17,18, 19,20	21, 22, 25	13	-	9	10,13, 15	17,20	18, 19, 20	22	23, 24 25

α	β	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
	0.8	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	18	21, 22	13	-	9	10,13, 15	17,20	18	22	23, 24 25
	1	7, 8	10, 13, 15	11, 14	18	—	13	-	9	10,13, 15	17,20	18	22	23, 24 25

Tabelul 5.10. Zonele nodurilor controlere regim M , β - constant

β	α	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
0.1	0.001	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	18, 19, 20	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,19, 20	18, 19, 20	22,22 23,25	23,24 25
	0.01	7, 8	10, 13, 15	11, 13, 14	18, 19, 20	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,19, 20	18, 19, 20	21,22 23,25	23,24 25
	0.1	7	10	11	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,20	18, 19, 20	21,22 23,25	23,24 25
	0.2	7	10	11	18	21, 22	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,20	18, 19, 20	21,22	23,24 25
	0.25	7	10	11	18	21, 22	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,20	18, 19, 20	21,22	23,24
	0.35	7	10	11	18	21	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,20	18, 19, 20	21,2	23,24
	0.5	7	10	11	18	21	13	7	9, 12	10, 13, 15	17,20	18,19, 20	21,22	23,24
	0.9	7	10	11	18	21	13	-	9, 12	10, 13, 15	17,20	18, 19, 20	21,22	23,24
	0.99	7	10	11	18	21	13	-	9, 12	10, 15	17,20	18, 19, 20	21,22	23,24
1	7	10	11	18	—	13	-	9	10,	17	18	22	23	

Tabelul 5.11. Zonele nodurilor reglatoare regim H , α - constant

α	β	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
0.01	0.001	7	10, 15 16	11,12, 13, 14	18	21, 22, 25	13	7	9, 11, 12	10, 15, 16	17,19	18,20	21,22 23,25	23,24 25
	0.05	7	10, 15 16	11,12, 13,14	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 15, 16	17,19	18,20	21,22 23,25	23,24 25
	0.06	7	10, 15 16	11,12, 13,14	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 15, 16	17,19	18,20	22	23,24 25
	0.1	7	10, 15 16	11,12, 13,14	18	21, 22, 25	13	7	9, 12	10, 15, 16	17,19	18,20	22	23,24 25

α	β	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
	0.2	7	10, 15, 16	11,12, 13,14	18	21, 25	13	7	9	10, 15, 16	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.6	7	10, 15, 16	11,12, 13,14	18	21, 25	13	7	9	10, 15, 16	17,19	18	22	23,24, 25
	0.7	7	10, 15, 16	11,12, 13,14	18	21, 25	13	7	9	10, 15, 16	17,19	18	22	23,24, 25
	0.9	7	10, 15, 16	11,12, 13,14	18	21, 25	13	-	9	10, 15, 16	17,19	18	22	23,24, 25
	0.95	7	10	11,12, 14	18	21, 25	13	-	9	10	17,19	18	22	23,24, 25
	1	7	10	11,12, 14	18	21	13	-	9	10	17,19	18	22	23,24, 25

Tabelul 5.12. Zonele nodurilor controlere regim H și β constant

β	α	Nod regulator de tensiune												
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	17	18	22	23
0.1	0.001	7	10, 15, 16	9, 11, 12, 13, 14	18	21, 22, 25	13, 15, 16	7	9,12	10,15, 16	17, 19	18,20	22	23,24, 25
	0.005	7	10, 15, 16	9,11, 12, 13, 14	18	21, 22, 25	13, 15, 16	7	9,12	10,15, 16	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.01	7	10, 15, 16	11,12, 13,14	18	21, 22, 25	13	7	9,12	10,15, 16	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.05	7	10, 15	11,13, 14	18	21, 22, 25	13	7	9,12	10,15, 16	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.1	7	10, 15	11,14	18	21, 25	13	7	9,12	10,15, 16	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.15	7	10, 15	11	18	21, 25	13	7	9,12	10,15	17,19	18,20	22	23,24, 25
	0.2	7	10	11	18	21, 25	13	7	9,12	10,15	17,19	18,20	22	23,24
	0.3	7	10	11	18	21	13	7	9,12	10,15	17,19	18,20	22	23,24
	0.99	7	10	11	18	21	13	-	9,12	10,15	17,19	18,20	22	23,24
	1	7	10	11	18	—	13	-	9	10	17	18	22	23

În figurile 5.2 la 5.10, prezentate în continuare, s-au delimitat zonele de influență a tensiunii, determinate cu cele două metode, pentru fiecare dintre cele trei regimuri de bază. Cu linie continuă sunt delimitate zonele determinate cu „metoda căilor reactive” iar cu linie întreruptă zonele delimitate prin analiza de sensibilitate. Nodul regulator de tensiune este marcat cu aceeași culoare ca și zona de influență corespunzătoare.

Zonele determinate cu metoda euristică și prezentate în figurile de mai jos, sunt cele corespunzătoare valorii de 0.01 pentru α și 0.1 pentru β .

Pentru fiecare regim de bază, H , M și L , sunt câte trei scheme fiecare conținând alte noduri regulatoare. Pentru transformatorul cu reglaj sub sarcină de pe latura 8-10, ambele noduri limitrofe, 8 și 10, sunt noduri regulatoare de tensiune. Ca urmare zonele de control ale acestora au fost figurate cu aceeași culoare.

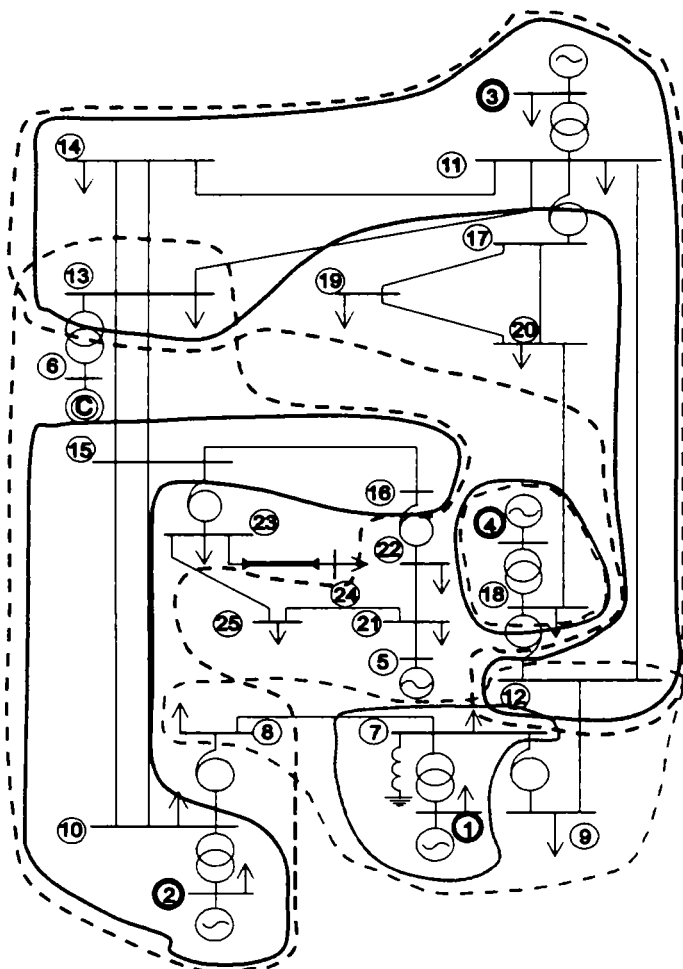


Figura 5.2 Zonele de control pentru regimul H

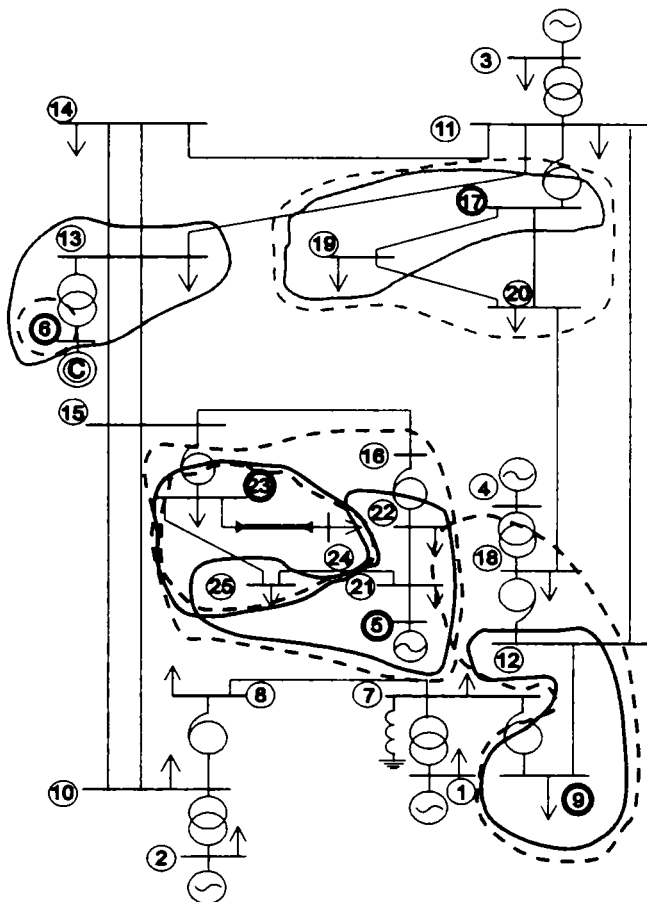


Figura 5.3 Zonele de control pentru regimul H

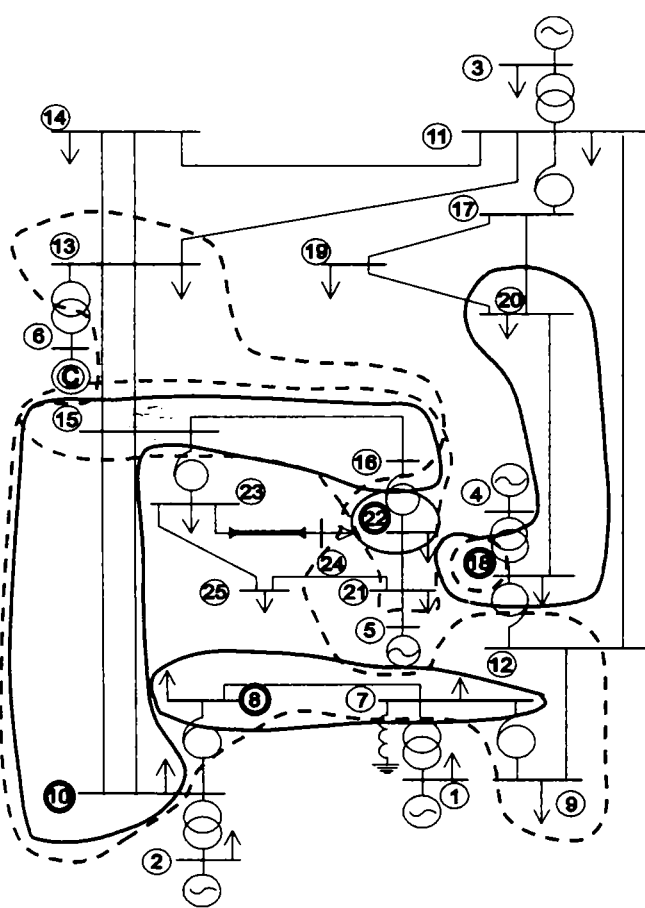


Figura 5.4 Zonele de control pentru regimul H

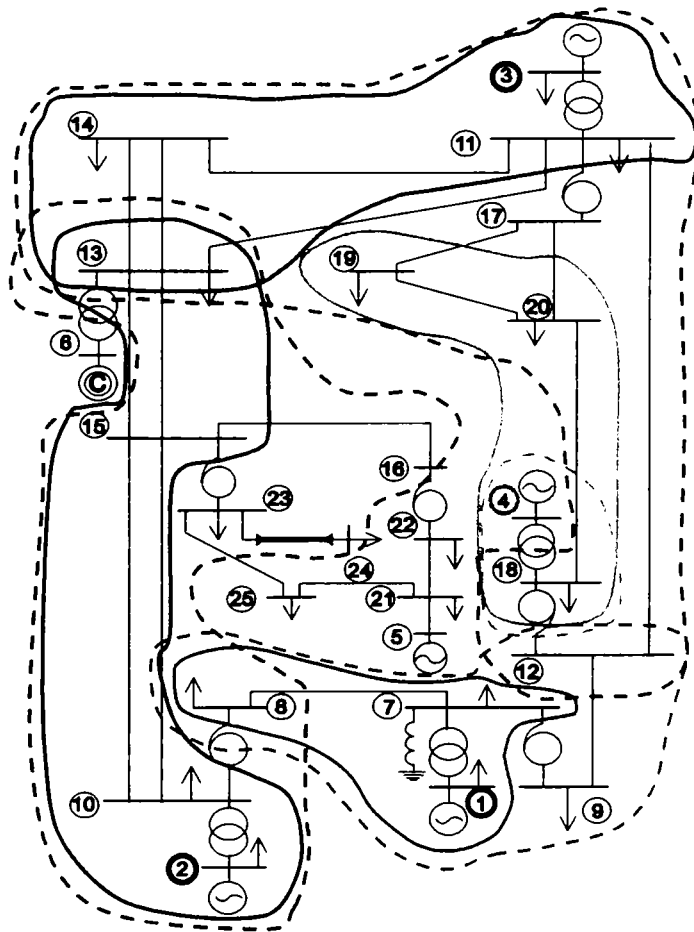


Figura 5.5 Zonele de control pentru regimul M

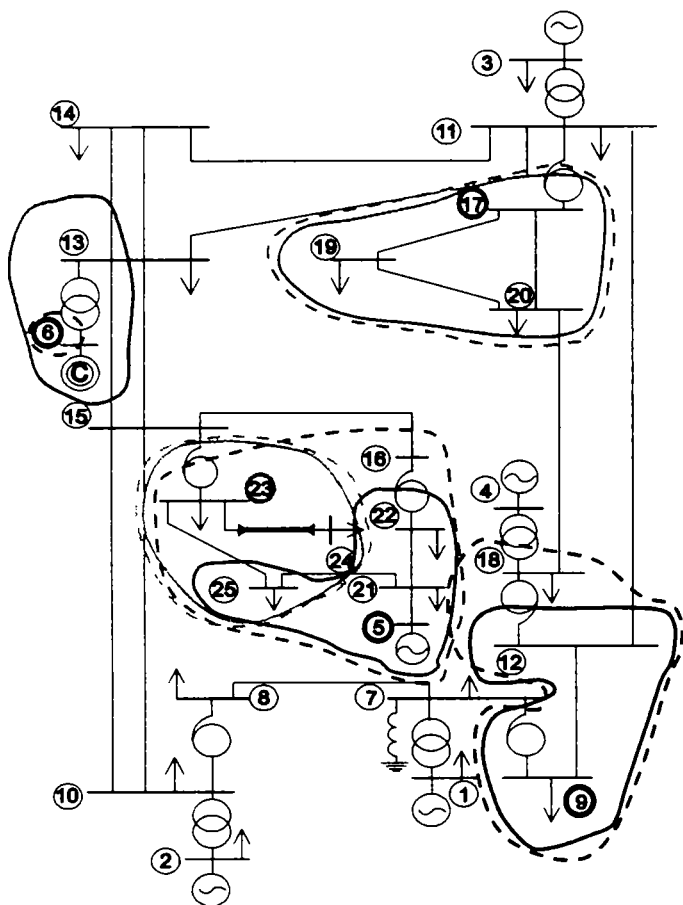


Figura 5.6 Zonele de control pentru regimul M

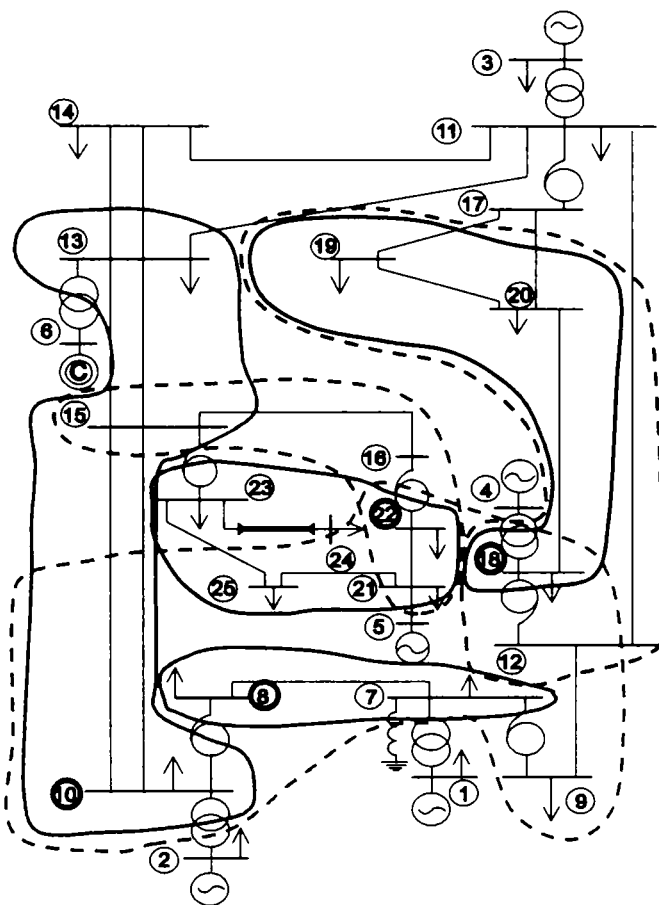


Figura 5.7 Zonele de control pentru regimul M

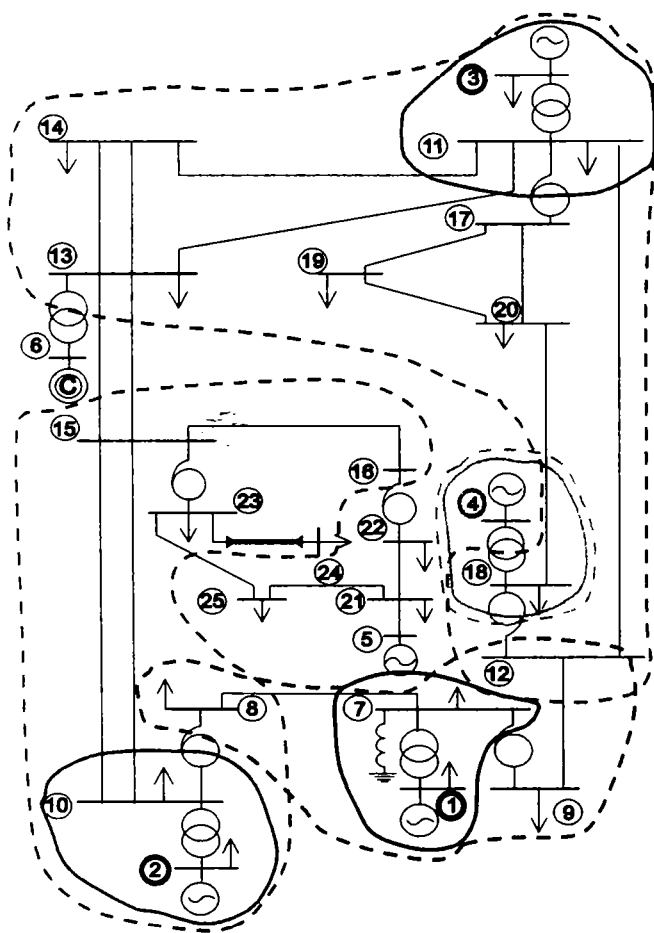


Figura 5.8 Zonele de control pentru regimul L

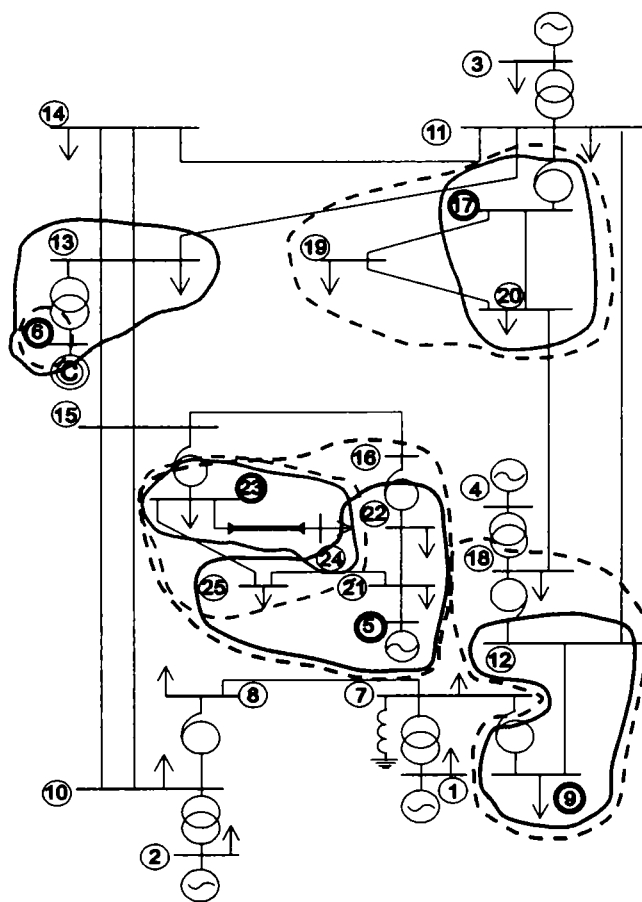


Figura 5.9 Zonele de control pentru regimul L

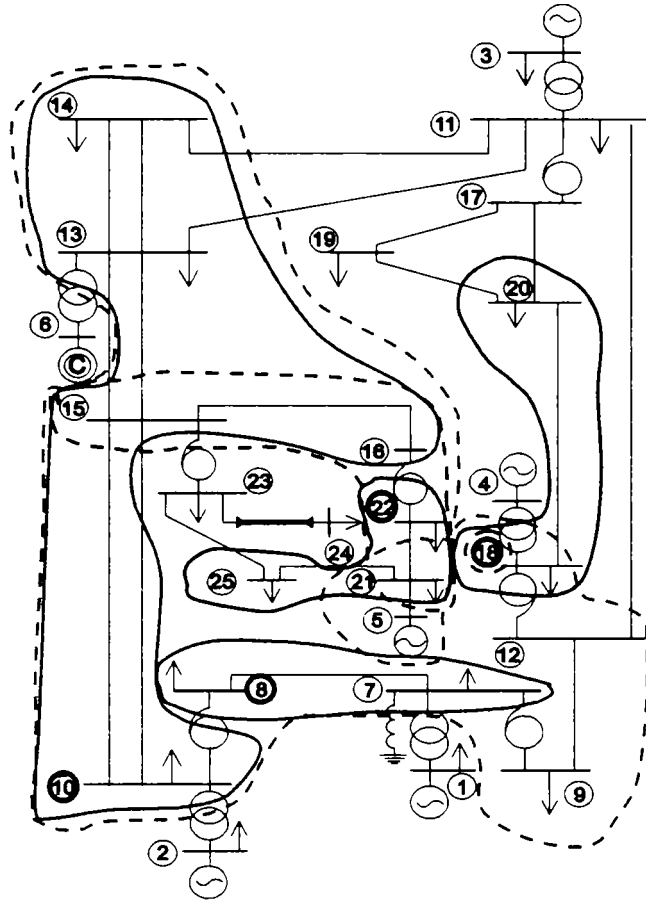


Figura 5.10 Zonele de control pentru regimul L

Analizând rezultate prezentate în tabelele 5.1 la 5.12 și prezentate grafic în figurile 5.2 la 5.10 se pot desprinde următoarele concluzii:

- Zonele de influență determinate cu metoda euristică sunt mai restrânse decât zonele reale de influență (determinate cu programul de circulație de puteri cu pragul de influență acceptat) deoarece ele nu se extind pe mai multe nivele de tensiune. Acest lucru este pozitiv pentru stabilirea măsurilor de reglare a tensiunii, de asemenea se evită măsuri de control contradictorii.
- La creșterea coeficientului α zonele se restrâng astfel că pentru o valoare de 0.3 zonele vor cuprinde doar nodurile cu o dependență foarte mare de nodul regulator. Valoarea potrivită pentru α este 0.01.
- Pentru coeficientul β valoarea cea mai potrivită este 0.1. Creșterea acesteia conduce la restrângerea zonelor până la excluderea nodurilor mai puțin sensibile la acțiunea reguletoarelor lucru nedorit.
- Zonele de influență determinate în cazul celor trei regimuri de bază analizate diferă deoarece există diferențe mari ale încărcărilor laturilor. Pentru regimuri foarte descărcate de sarcină, zonele de influență determinate pot fi uneori mai restrânse decât în cazul regimurilor încărcate cu sarcină, ceea ce poate sporii dificultatea controlului tensiunii în sistem.

Pentru realizarea diagnozei tensiunii în noduri, în cazul sistemului test 25, se utilizează zonele de influență determinate cu metoda euristică de mai sus, cu valorile 0.01 pentru factorul de suficiență α și 0.1 pentru factorul de influență β , pentru regimurile de bază. Pentru un regim oarecare luat în analiză, se identifică regimul de bază cel mai apropiat prin procedeul descris în subcapitolul 4.2.2. și se vor adopta zonele de influență respective pentru reguletoarele de tensiune.

5.2.3. Determinarea măsurilor pentru reglarea tensiunii și a puterii active generate în scopul îmbunătățirii regimului analizat

Conform teoriei generale prezentată în capitolul 3, la diagnoza regimurilor permanente ale unui SEP trebuie precizate mulțimile de formule ale logicii propozițiilor care precizează: descrierea sistemului (SD), presupuzițiile că toate elementele sistemului funcționează corect (ASS) și observațiile achiziționate din sistem (OBS). Modul în care sunt definite aceste mulțimi determină în mod direct complexitatea diagnozei și calitatea rezultatelor. În funcție de sistemul luat spre analiză, se pot accepta reprezentări cu diverse nivele de simplificare care să conducă la rezolvarea problemei de diagnoză și care să facă un compromis între ușurința de obținere a rezultatelor și gradul de detaliere a problemei considerate. Pentru dispecerii SEP este important ca efortul de calcul să scadă până la un nivel la care diagnoza să poată fi făcută în timp real, fără a scăpa din vedere aspectele esențiale urmărite.

Pentru diagnoza regimurilor permanente ale SEP reprezentarea sistemului se face considerând:

- tipuri de obiecte:
 - nod generator și nod consumator;
 - latură linie electrică și latură transformator;
 - tensiune, curent, putere activă, reactivă și aparentă;
 - nod regulator de tensiune, nod regulator de putere activă;
- relații între obiecte: configurația sistemului precizată prin nodurile limitrofe fiecărei laturi;
- asocieri cantitative:
 - asocierea la noduri a tensiunilor și puterilor injectate;
 - asocierea laturilor la curenții și puterile active și reactive de pe transformatoare și linii electrice;
- tipuri de comportare în funcționare:
 - regimuri optime,
 - cvasi-optime,
 - admisibile
 - inadmisibile;
- datele sistemului: configurația sistemului luat spre analiză și valorile parametrilor electrici;
- datele situației:
 - valorile tensiunilor în noduri și a puterilor active și reactive injectate în noduri;
 - circulațiile pe laturi pentru regimul curent al sistemului;
- legi de bază: legile circuitelor electrice și magnetice;

Descrierea sistemului (SD), așa cum este ea folosită la diagnoză, conține formule ale logicii propozițiilor având valoarea „adevărat”, de forma:

Tensiunea din nodul X are calificativul optim.

Puterea activă injectată în nodul Y are calificativul optim.

Puterea reactivă injectată în nodul Z are calificativul optim sau favorabil.

Curentul pe latura L are calificativul optim sau admisibil.

Puterea aparentă de circulație pe latura T are calificativul optim sau admisibil.

pentru oricare X care aparține mulțimii nodurilor, Y care aparține mulțimii nodurilor generatoare, Z care aparține mulțimii nodurilor generatoare sau compensatoare, L care aparține mulțimii laturilor tip linie electrică, T care aparține mulțimii laturilor tip transformator.

Mărimilor electrice cuprinse în descrierea sistemului, tensiuni în noduri, puteri injectate, puteri și curenți pe laturi, au calificativul optim deoarece valorile lor sunt cvasi-optime adică se încadrează într-un domeniu de valori considerat a fi suficient de apropiat de valorile optime corespunzătoare. Valorile cvasi-optime se calculează pe baza valorilor optime ale regimurilor de bază așa cum este precizat în subcapitolul 4.22.

Mulțimea observațiilor (OBS) realizate asupra sistemului, conține de asemenea formule ale logicii propozițiilor cu valoarea „adevărat”, referitoare la mărimile electrice urmărite și sunt de forma:

- pentru tensiunile în nodurile sistemului:

Tensiunea observată în nodul X are calificativul „calificativ1”.

Ansamblul tensiunilor observate în nodurile SEP are calificativul „calificativ2”.

unde: X aparține la mulțimii nodurilor sistemului, „calificativ1” poate fi: optim, favorabil, admisibil sau inadmisibil, „calificativ2” poate fi optim, admisibil sau inadmisibil.

- pentru puterile active injectate în nodurile generatoare ale sistemului:

Puterea activă injectată observată în nodul Y are calificativul „calificativ1”.

Ansamblul puterilor active injectate observate în nodurile generatoare are calificativul „calificativ2”.

unde: Y aparține mulțimii nodurilor generatoare, „calificativ1” și „calificativ2” pot fi optim, admisibil sau inadmisibil.

- pentru puterile reactive injectate în nodurile generatoare sau compensatoare ale sistemului:

Puterea reactivă injectată observată în nodul Z are calificativul „calificativ1”.

Ansamblul puterilor reactive injectate observate în nodurile generatoare și compensatoare are calificativul „calificativ2”.

unde: Z aparține mulțimii nodurilor generatoare și compensatoare, „calificativ1” poate fi optim, favorabil, admisibil sau inadmisibil iar „calificativ2” poate fi optim, admisibil sau inadmisibil.

- pentru circulațiile pe laturile sistemului:

Curentul de fază observat pe latura L are calificativul „calificativ1”.

Puterea aparentă observată pe latura T are calificativul „calificativ2”.

Ansamblul circulațiile pe laturile LEA ale sistemului are calificativul „calificativ3”.

Ansamblul circulațiilor pe laturile TRAF0 ale sistemului are calificativul „calificativ4”.

unde: L aparține mulțimii laturilor tip LEA, T aparține mulțimii laturilor tip transformator, „calificativ1”, „calificativ2”, „calificativ3” și „calificativ4” pot fi optim, admisibil și inadmisibil.

Observațiile se obțin din indicatorii fuzzy locali și globali cu următoarea procedură:

- pentru regimul curent, se măsoară mărimile electrice din sistem care apoi prin algoritmul de estimare generează întreaga bază de date corecte necesare diagnozei regimului;
- cu ajutorul sumei valorilor estimate ale puterile active consumate din nodurile sistemului se stabilesc valorile cvasi-optime ale puterilor active generate și ale tensiunilor în noduri;
- pentru regimul curent, folosind valorile estimate și valorile cvasi-optime, se calculează indicatorii fuzzy locali și globali și calificativele corespunzătoare;
- pe baza calificativelor deja stabilite se enunță formulele propoziționale care constituie mulțimea observațiilor.

Mulțimea presupuzițiilor (ASS) conține variabile propoziționale (okX) de forma:

Tensiunea din nodul regulator X are calificativul optim.

Putere activă generată în nodul Y are calificativul optim.

unde: X aparține mulțimii nodurilor de reglaj a tensiunii, Y aparține mulțimii nodurilor de reglaj a puterii active.

Mulțimea presupuzițiilor conține câte o propoziție pentru fiecare regulator de tensiune sau de putere activă din sistem și se presupune că are valoarea logică adevărat. Dacă apar contradicții între observații și descrierea sistemului atunci unele dintre presupuneri vor trebui negate (adică nu vor fi adevărate) pentru a îndepărta inconsistența dintre mulțimea SD și mulțimea OBS (definiția 2 din subcapitolul 3.1.1).

Pentru apariția unei contradicții referitoare la tensiunile nodurilor, trebuie ca reguli de tipul:

„Tensiunea în nodul X are calificativul optim.”

ȘI

„Tensiunea observată în nodul X nu are calificativul optim.”

să fie adevărate pentru cel puțin un nod X din sistem, ceea ce este echivalent cu:

„Tensiunea observată în nodul X are calificativul favorabil.”

SAU

„Tensiunea observată în nodul X are calificativul admisibil.”

SAU

„Tensiunea observată în nodul X are calificativul inadmisibil.”

Pentru apariția unei contradicții în ceea ce privește puterile active generate, trebuie ca reguli de tipul:

„Puterea activă generată în nodul Y are calificativul optim.”

ȘI

„Puterea activă generată observată în nodul Y nu are calificativul optim.”

să fie adevărate pentru cel puțin un nod generator Y din sistem, ceea ce este echivalent cu:

„Puterea activă generată observată în nodul Y are calificativul admisibil.”

SAU

„Puterea activă generată observată în nodul Y are calificativul inadmisibil.”

Dacă nu există contradicții, diagnoza oferă rezultatul că „regimul este optim”. Altfel, „regimul este admisibil” sau regimul este inadmisibil” după caz. În cazurile admisibil sau inadmisibil, trebuie identificate cauzele acestei situații, adică nodurile reglatoare pentru care

negând presupunerea că tensiunea, respectiv puterea activă, are calificativul optim (corect reglată), conduc la observații lipsite de contradicții în raport cu descrierea sistemului. Aceasta înseamnă că trebuie determinată mulțimea minimă de regulatoare care modificate corespunzător, influențează favorabil mărimile electrice ce au condus la contradicții și astfel înlătură inconsistența dintre descrierea sistemului și observații.

Pot exista cazuri în care în urma modificării unui anumit nod regulator de tensiune, tensiunile din nodurile cu contradicții să fie corectate corespunzător, dar în același timp prin reglajul centralizat efectuat, alte tensiuni să-și schimbe valoarea într-un mod nedorit, conducând la noi contradicții. Din acest motiv, după realizarea diagnozei trebuie din nou verificată consistența dintre descrierea sistemului și noile observații. Dacă se constată că încă mai sunt contradicții atunci diagnoza trebuie repetată. În asemenea cazuri diagnoza devine un proces iterativ care în final va aduce regimul curent foarte aproape de regimul optim corespunzător. Numai pentru regimuri foarte îndepărtate de regimul optim corespunzător pot fi necesare mai mult de două iterații.

Calculul efectiv al diagnozei după metodologia prezentată se face după cum urmează:

- a) Pentru diagnoza tensiunii se calculează indicatorii fuzzy locali și global ai tensiunilor nodurilor.

Indicatorul global al tensiunilor servește la stabilirea situației dacă în sistem există tensiuni ale căror valori sunt îndepărtate de valorile cvasi-optimale corespunzătoare și referite ca „tensiuni neconforme”. Dacă indicatorul global al tensiunilor are calificativul admisibil sau inadmisibil atunci el reprezintă un simptom care arată că există „tensiuni neconforme”. Desigur calificativul admisibil indică un regim de atenție care este acceptat și care poate fi îmbunătățit, iar calificativul inadmisibil indică un regim de alarmă care nu poate fi acceptat și pentru care trebuie luate necondiționat și imediat măsuri de reparare.

Identificarea nodurilor cu tensiuni neconforme se face cu ajutorul calificativelor acordate tensiunilor nodurilor. Dacă o tensiune dintr-un nod are calificativul diferit de optim atunci ea este declarată „tensiune neconformă”. Tensiunile neconforme fac implicit parte din una sau mai multe zone de control ale nodurilor reglatoare de tensiune din sistem. Problema diagnozei constă în a găsi mulțimea minimă de noduri reglatoare de tensiune, care prin modificarea corespunzătoare a parametrului de reglaj, să poată aduce toate tensiunile neconforme din sistem într-un domeniu de valori apropiat de domeniul tensiunilor cvasi-optimale, astfel încât indicatorii fuzzy locali și cel global să conducă doar la calificative optime, fără a strica tensiunile în nodurile în care tensiunile sunt optime. În acest scop se aplică metodologia prezentă în subcapitolul 3.4 și se obține mulțimea nodurilor reglatoare care trebuie modificate corespunzător.

În continuare se determină valoarea corecției tensiunii de reglaj pentru fiecare nod regulator în parte.

Pentru nodurile reglatoare pentru care tensiunea nu are calificativul optim corecția este diferența dintre tensiunea curentă în nodul regulator și tensiunea cvasi-optimă corespunzătoare.

Pentru nodurile reglatoare de tensiune pentru care tensiunea are calificativul optim și fac parte din mulțimea de diagnoză, corecția este jumătate din diferența dintre valoarea cvasi-optimă și valoarea curentă tensiunii pentru cel mai apropiat nod din zona de reglaj a nodului regulator.

Dacă nodul regulatorul de tensiune, este nod limitrof al unui transformator sau autotransformator cu reglaj sub sarcină, atunci se calculează numărul optim de ploturi corespunzător corecției calculate pentru reglajul tensiunii. Dacă se ajunge în limitare atunci se impune limita atinsă. De regulă nu se vor atinge limitele de reglaj deoarece valorile cvasi-optime ale tensiunilor, calculate din cele trei regimuri optime de bază, nu se găsesc niciodată în această situație. După determinarea corecțiilor tensiunilor ele se vor aplica obținându-se noul regim cu tensiunile reglate.

După cum am precizat anterior, dacă regimul luat în analiză este un regim foarte îndepărtat de valorile cvasi-optime corespunzătoare, atunci vor rezulta un număr foarte mare de tensiuni neconforme și un număr relativ mare de regulatoare de tensiune care vor trebui reglate. Având în vedere că zonele de reglaj includ doar noduri pentru care influența tensiunii este semnificativă (conform ipotezei acceptate în subcapitolul 5.1.2), pot exista noduri care vor fi afectate de reglajele de tensiune fără ca acest lucru să fie necesar. Ca urmare, la recalcularea indicatorilor fuzzy după efectuarea reglajului tensiunilor, pot apare alte tensiuni care sunt identificate ca neconforme. Desigur față de situația anterioară numărul acestora este mult mai redus și deviațiile sunt mai mici. De aceea apare ca necesară o a doua iterație (în unele cazuri foarte dificile chiar mai multe) de reglaj al tensiunilor până în situația în care în urma recalculării indicatorilor fuzzy nu se mai identifică tensiuni neconforme. Bineînțeles, în acest caz, indicatorul global va conduce la calificativul optim arătând că regimul curent (cel ulterior diagnozei) este foarte apropiat de valorile cvasi-optime. Regimul corectat aparține mulțimii regimurilor optime conform gradului de apartenență al indicatorului global fuzzy calculat pentru tensiuni.

- b) Diagnoza valorilor puterii active generate în nodurile generatoare începe cu calculul indicatorilor fuzzy locali și global prezentați în subcapitolul 4.4.

Calificativul admisibil sau inadmisibil acordat ansamblului puterilor active generate este un simptom care indică existența unor puteri active generate îndepărtate față de valorile cvasi-optime corespunzătoare.

Calificativul inadmisibil arată existența unor depășiri ale limitelor tehnice admise pentru puteri generate în regimurile permanente și deci sunt necesare măsuri urgente de reparare a regimului curent.

Indicatorii locali fuzzy, prin calificativele acordate, permit identificarea „puterilor active generate neconforme”. În acest caz mulțimea puterilor active generate neconforme coincide cu mulțimea reguletoarelor de putere activă care vor trebui modificate, deoarece fiecare nod generator este în același timp un nod regulator de putere activă injectată. Deci mai trebuie calculate doar corecțiile valorilor cu care trebuie modificate puterile generate pentru a fi foarte apropiate de cele cvasi-optime.

La reglarea puterii active injectate în nodurile generatoare, fiecare nod poate regla puterea doar pentru el însuși. Valorile impuse ale puterilor active sunt chiar valorile cvasi-optime. În nodul de echilibrare puterea activă generată rezultă în urma bilanțului puterilor active din sistem și este o valoare apropiată de valoarea cvasi-optimă corespunzătoare.

În final se recalculează indicatorii fuzzy locali și global pentru puterile active generate ale regimului corectat și aceștia trebuie să aibă numai calificative optime.

Metodologia de diagnoză dezvoltată mai sus este prezentată sintetic în schema logică din figurile 5.11 și 5.12.

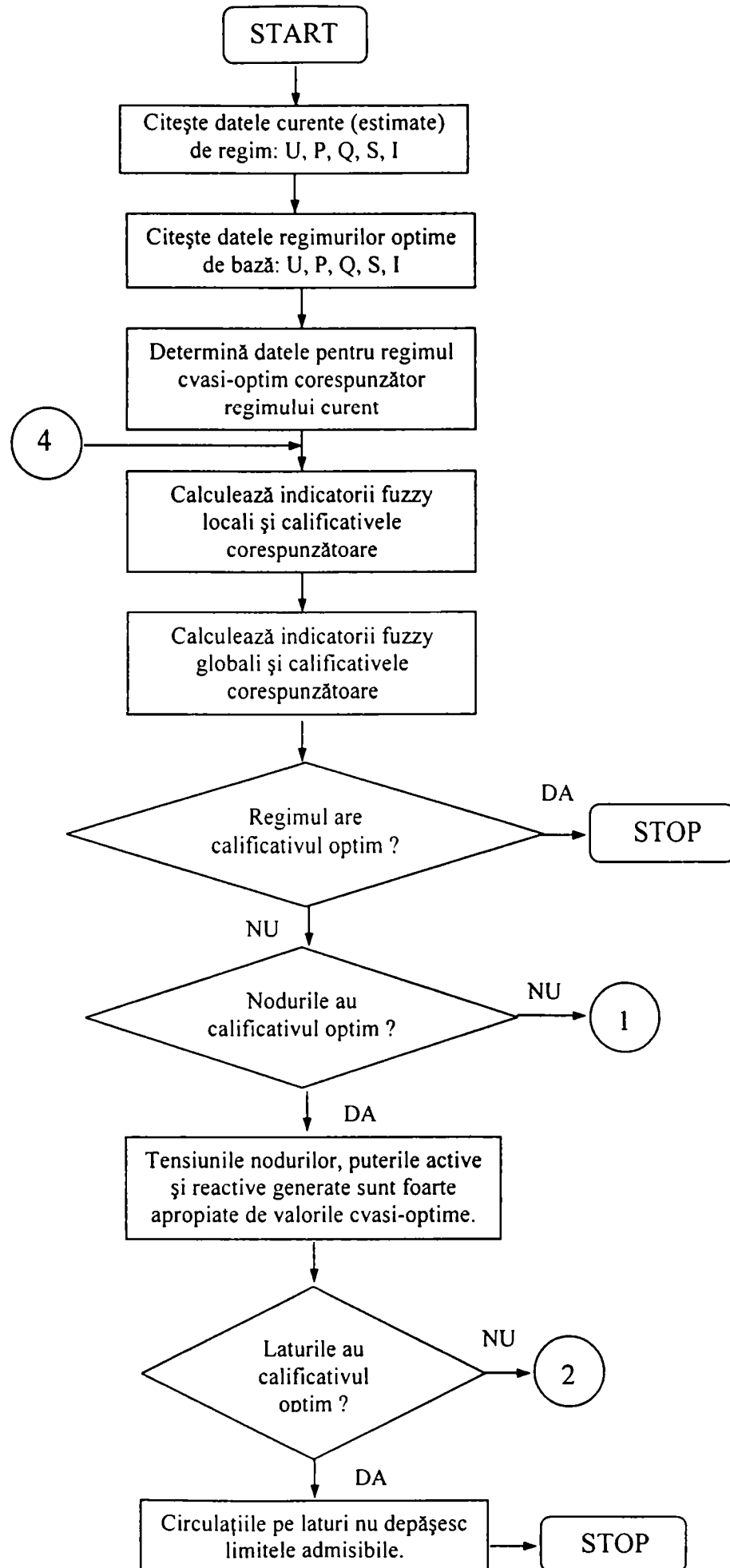


Figura 5.11. Schema logică a metodei de diagnoză a regimurilor staționare ale SEP

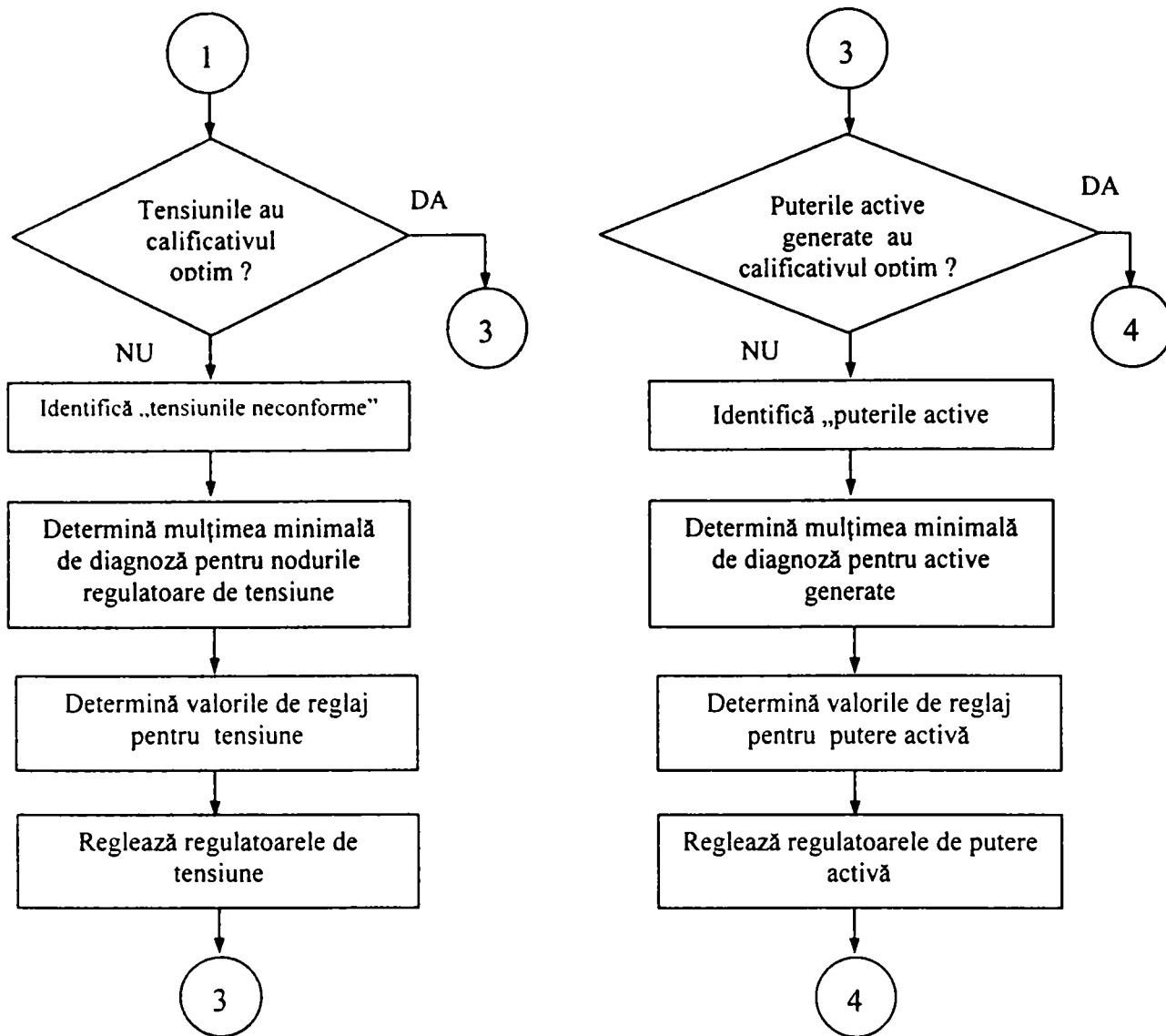


Figura 5.12. Schema logică a metodei de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP

5.3. Metodologia de diagnoză a puterilor reactive generate

Diagnoza valorilor puterilor reactive injectate în nodurile generatoare sau compensatoare se rezumă doar la stabilirea unui calificativ, din acest punct de vedere, pentru regimul curent considerat. Calificativul regimului se stabilește pe baza indicatorilor fuzzy prezentați în subcapitolul 4.4. Pe baza calificativului regimului și a calificativelor nodurilor rezultă concluzii referitoare la puterea reactivă injectată în nodurile respective.

Indicatorul fuzzy global folosit pentru caracterizarea în ansamblu a puterilor reactive injectate în nodurile în nodurile generatoare și compensatoare conduce la trei calificative ale regimului: optim, admisibil și inadmisibil.

Calificativul optim indică o situație apropiată de cea cvasi-optimă și deci regimul se declară optim din acest punct de vedere.

Calificativul admisibil sau inadmisibil indică existența unor puteri reactive generate îndepărtate de valorile cvasi-optimale corespunzătoare. Acest lucru este în corelație cu nivelul tensiunilor din nodurile generatoare și compensatoare. Deci trebuie realizată diagnoza tensiunilor și identificate măsurile de reglaj. Reglajul tensiunii conduce la reglarea implicită a puterilor reactive injectate în noduri.

Calificativul inadmisibil înseamnă de fapt depășirea limitelor tehnice admise pentru regimurile permanente și deci sunt necesare luarea urgentă a unor măsuri de reparație a regimului.

5.4. Metodologia de diagnoză a circulațiilor pe laturile SEP

Diagnoza valorilor circulațiilor pe laturile linie electrică sau transformator din SEP înseamnă calculul indicatorilor fuzzy corespunzători prezentați în subcapitolele 4.5 și 4.6. Pe baza acestora rezultă concluzii în legătură încărcarea liniilor și a transformatoarelor din sistem.

Indicatorul fuzzy global folosit pentru caracterizarea în ansamblu a circulațiilor pe laturile sistemului conduce la trei calificative ale regimului: optim, admisibil și inadmisibil.

Calificativul optim acordat indicatorului fuzzy global indică o situație apropiată optimului tehnic al elementului respectiv și deci regimul se declară optim din acest punct de vedere.

Calificativul admisibil indică existența unor puteri aparente de circulație îndepărtate față de optimul tehnic individual corespunzător care totuși poate fi permis pentru regimuri permanente. În acest caz nu sunt depășite limitele admisibile.

Dacă indicatorului fuzzy global pentru circulațiile pe laturi are calificativul inadmisibil atunci există puteri de circulație care au depășit limitele tehnice admisibile și acestea nu sunt permise pentru regimuri permanente. Regimul este unul de alarmă și sunt necesare măsuri de reparație. Pe baza indicatorilor locali fuzzy se identifică latura sau laturile cu probleme și se vor lua măsuri adecvate pentru înlăturarea depășirii.

5.5 Diagnoza regimului permanent al SEP

Diagnoza regimului se face pe baza calificativelor acordate de indicatorii globali fuzzy ai mărimilor electrice analizate după metodologia prezentată în subcapitolul 4.7. Se calculează un indicator global pentru noduri, unul pentru laturi și în final unul pentru regim.

Indicatorul pentru noduri ține cont de indicatorii globali ai tensiunilor în noduri, puterilor active și puterilor reactive injectate în nodurile generatoare sau compensatoare. Pe baza lui rezultă calificativul nodurilor care poate fi: optim, admisibil sau inadmisibil.

Calificativul optim indică un regim apropiat de cel optim corespunzător.

Calificativul admisibil indică un regim de atenție pentru care se impune identificarea măsurilor de reglaj al tensiunilor în noduri sau/și al puterilor active injectate în nodurile generatoare.

Calificativul inadmisibil indică un regim de alarmă pentru care sunt necesare măsuri urgente de reparație.

Indicatorul global al circulației de puteri pe laturi se calculează din indicatorii globali ai circulațiilor pe linii electrice și pe transformatoare. Se pot obține calificativele: optim, admisibil sau inadmisibil.

Deoarece circulațiile pe laturile sistemului depind în cea mai mare parte de valorile puterilor consumate în noduri și mai puțin de calitatea regimului (faptul de a fi optim sau nu), indicatorul global al circulațiilor pe laturi conduce la calificativul optim pentru regim indiferent dacă are calificativul optim sau admisibil. După cum am precizat în subcapitolul 5.3 doar calificativul inadmisibil pentru circulațiile pe laturi indică depășiri ale limitelor tehnice admisibile și conduce la calificativul inadmisibil pentru regim.

Indicatorul global pentru regimul în ansamblu său se determină pe baza indicatorilor globali pentru noduri și pentru laturi și conduce la următoarele calificative: optim, admisibil și inadmisibil.

Calificativul optim indică un regim pentru care nu sunt necesare măsuri de îmbunătățire.

Calificativul admisibil indică faptul că se pot lua unele măsuri de îmbunătățire a regimului dar aceste măsuri nu sunt urgente. Regimul se declară „Regim de atenție !”.

Calificativul admisibil indică faptul trebuie luate măsuri urgente de reparare a regimului. Regimul se declară „Regim de alarmă !”.

5.6. Exemple de calcul a diagnozei pentru sistemul test cu 25 de noduri

5.6.1. Diagnoza unui regim de sarcină ridicată

Pentru sistemul test cu 25 de noduri [C14] prezentat în Anexa 2, se consideră un regim de sarcină ridicată (fișierul EXEM1T25.CNW) adică un consum total în sistem apropiat de consumul maxim corespunzător regimului de bază H. Datele regimului, tensiuni în noduri, valorile puterilor generate și a puterilor consumate sunt date în Anexa 3a. Rezultatele calculului circulației de puteri au fost obținute cu programul de circulații de puteri CNW.

Aplicarea sistemului expert pentru diagnoză produce rezultatele de mai jos. Indicatorii globali ai regimului sunt prezentați în tabelul 5.13.

Tabelul 5.13. Indicatorii globali ai regimului înainte de reglaj

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.45 Admisibil=0.55	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=0.43 Admisibil=0.57	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri reactive generate	Admisibil =0 Inadmisibil=1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !
Circulații pe LEA	Optim =0.17 Favorabil=0.83	Optim	Regim Optim.
Circulații pe TRAF0	Optim =0.12 Admisibil =0.88	Admisibil	Regim de Alarmă !
Regim	Admisibil=0 Inadmisibil=1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !

Cheltuielile globale orare: 44625.09 \$/h

Situația diferită de cea optimă a indicatorilor se datorează existenței unor „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 5.14 și 5.15.

Tabelul 5.14. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	1,2,3,5,7,8,9,10,11,12,13,14, 15,16,17,18,19,20,21,23,24,25	Favorabil inferior	0,13
Puteri active	1	Admisibil inferior	0,76
Puteri reactive	5,6	Admisibil superior	0,85

Tabelul 5.15. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	11 laturi tip LEA	Favorabil	2,8
Puteri aparente	o latură tip TRAF0	Admisibil	0,97

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru tensiunile în noduri rezultă: mulțimea țintă a reguletoarelor, valorile de reglaj următoarele, numărul de ploturi necesare a fi modificate elemente care sunt prezentate în tabelul 5.16.

Tabelul 5.16. Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	1	2	3	5	9	17	18	22	23
Valoare [kV]	+0.3	+0,4	+0.3	+4,4	+5.7	+2.6	+2.6	+5.2	+2.8
Număr ploturi	-	-	-	-	2	2	2	4	2

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru puterile active generate în noduri rezultă:

- mulțimea țintă a reguletoarelor de putere activă: nodurile 1 și 3
- valorile de reglaj: +178 MW respectiv -180 MW.

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare pentru tensiuni și puteri active rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 5.17.

Tabelul 5.17. Indicatorii globali ai regimului după prima etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.46 Admisibil=0.54	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.61 Admisibil =0.39	Optim	Regim de Optim
Circulații pe LEA	Optim =0.1 Favorabil=0.9	Optim	Regim de Optim
Circulații pe TRAF0	Optim =0.45 Favorabil =0.55	Optim	Regim de Optim
Regim	Optim=0.46 Admisibil=0.54	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 42754 \$/h

După cum se poate observa cheltuielile totale orare au scăzut cu aproape 2000 \$/h adică procentual au scăzut cu 4.3 %, calificativele pentru mărimile electrice urmărite fiind în cel mai defavorabil caz admisibile. Încă mai este necesară repetarea diagnozei până la obținerea calificativului optim pentru regim.

După prima etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 5.18 și 5.19.

Tabelul 5.18. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	7,8 9,10,17,18,19,20	Favorabil inferior Favorabil superior	0.03
Puteri active	-	-	0
Puteri reactive	-	-	0,66

Tabelul 5.19. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	14 laturi tip LEA	Favorabil	3
Puteri aparente	o latură tip TRAF0	Favorabil	0,87

La aplicarea metodei de determinare a mulțimii minime de diagnoză pentru tensiunile în noduri rezultă: mulțimea țintă a reguletoarelor, valorile de reglaj, numărul de ploturi necesare a fi modificate elemente care sunt prezentate în tabelul 5.20.

Tabelul 5.20. Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	8	9	10	17	18
Valoare [kV]	+3,1	-1,7	-0,5	-1,5	-1,4
Număr ploturi	1	1	0	1	1

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare pentru tensiuni rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 5.21.

Tabelul 5.21. Indicatorii globali ai regimului după a doua etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.58 Admisibil=0.42	Optim	Regim de Optim
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.7 Admisibil =0.3	Optim	Regim de Optim
Circulații pe LEA	Optim =0.14 Favorabil =0.86	Optim	Regim de Optim
Circulații pe TRAFO	Optim =0.46 Favorabil=0.54	Optim	Regim de Optim
Regim	Optim=0.58 Admisibil=0.42	Optim	Regim de Optim

Cheltuielile globale orare: 42756.37 \$/h

După cea de-a doua etapă de diagnoză cheltuielile au crescut cu 2 \$/h valoare nesemnificativă în raport cu valoarea cheltuielilor globale orare. Cheltuielile orare totale, criteriul de optimizare a regimurilor de bază, scad semnificativ după prima etapă de diagnoză iar apoi în urma celei de-a doua etape variază puțin.

După cum se observă și în tabelul 5.21 indicatorii globali pentru tensiuni, puteri active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi calificativele sunt optime iar în final regimul are calificativul optim.

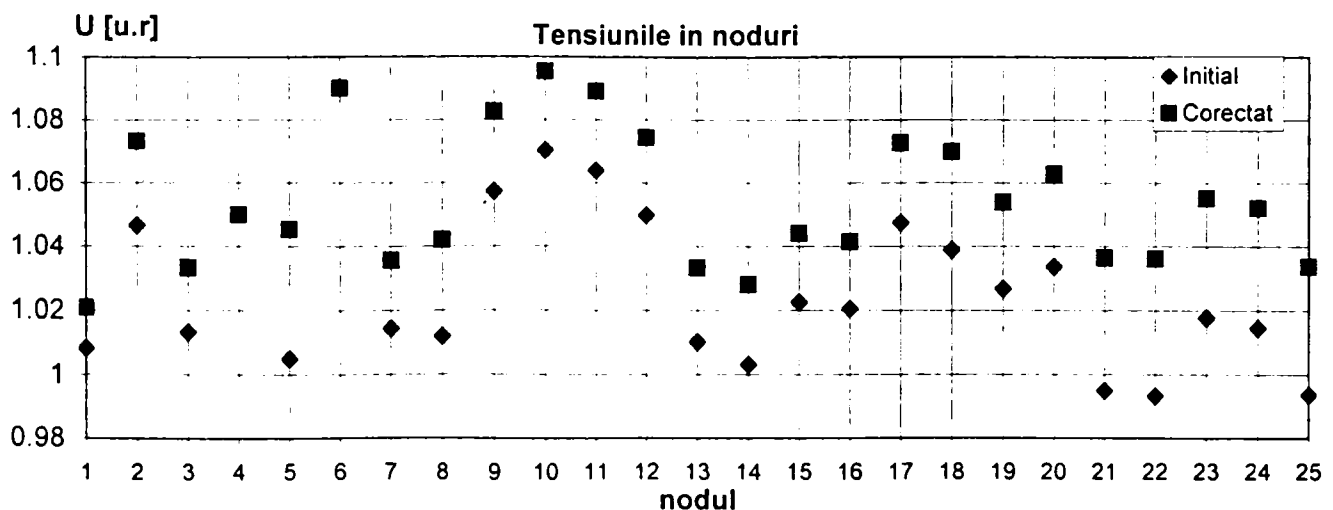


Figura 5.13. Tensiunile nodurilor pentru regimul inițial și regimul de după diagnoză

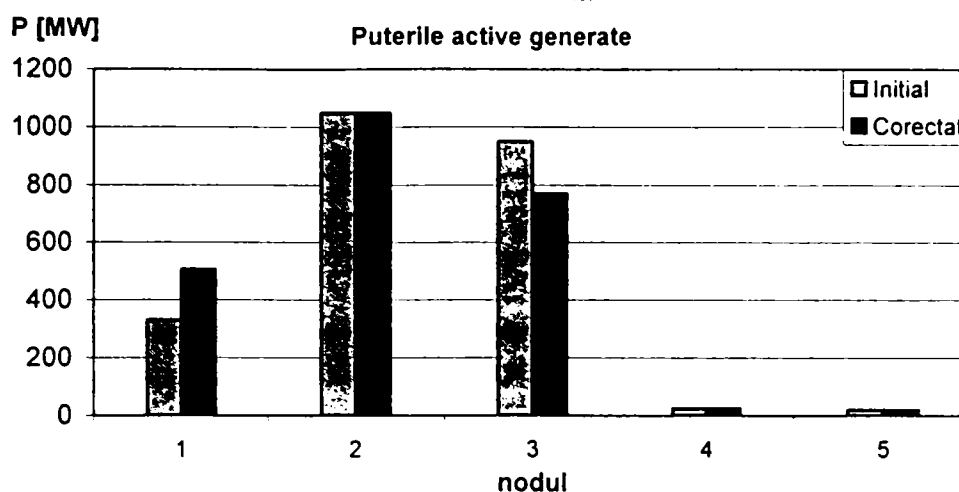


Figura 5.14. Puterile active generate în noduri pentru regimul inițial și regimul de după diagnoză

În figura 5.13 sunt prezentate comparativ valorile tensiunilor în nodurile sistemului, în unități relative, înainte și după diagnoză. Se poate observa că nivelul tensiunilor după efectuarea diagnozei este mai ridicat decât inițial. Această situație este favorabilă având în vedere caracterul regimului luat în studiu – regim cu sarcină ridicată.

În figura 5.14 sunt prezentate valorile puterilor active generate în nodurile generatoare înainte și după efectuarea diagnozei. După cum se observă a fost necesară corectarea puterii active generate doar în nodurile 1 și 3 situație care conduce la cheltuieli minime totale orare.

5.6.2. Diagnoza unui regim de sarcină scăzută

Pentru sistemul test cu 25 de noduri prezentat în Anexa 2 se consideră un regim de data aceasta cu sarcină scăzută (fișierul EXEM2T25.CNW) adică un consum total în sistem între consumurile totale ale regimurilor de bază M și L. Datele regimului, tensiuni în noduri și puteri generate și consumate sunt date în Anexa 3b. Rezultatele calculului circulației de puteri au fost obținute cu programul CNW.

Aplicarea sistemului expert produce rezultatele de mai jos. Indicatorii globali ai regimului sunt prezentați în tabelul 5.22.

Tabelul 5.22. Indicatorii globali ai regimului înainte de reglaj

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.45 Admisibil=0.55	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=0.04 Admisibil=0.96	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri reactive generate	Admisibil =0,3 Inadmisibil=0,7	Admisibil	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim =0.04 Favorabil=0.96	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFO	Optim =0.42 Favorabil =0.58	Optim	Regim Optim
Regim	Admisibil=0,04 Inadmisibil=0,96	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 26229,28 \$/h

Situația diferită de cea optimă a indicatorilor se datorează existenței unor „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 5.23 și 5.24.

Tabelul 5.23. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	1,3,5,7,8,9,10,12,13,15,16,18,19,20,21,22,25 6,17	Favorabil sup. Admisibil sup.	0,14
Puteri active	1 2,3	Admisibil inf. Admisibil sup.	1,04
Puteri reactive	3 5	Favorabil inf. Admisibil inf.	1,29

Tabelul 5.24. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	16 laturi tip LEA	Favorabil	3,2
Puteri aparente	5 laturi tip TRAF0	Favorabil	1,66

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru tensiunile în noduri rezultă: mulțimea țintă a reguletoarelor, valorile de reglaj următoarele, numărul de ploturi necesare a fi modificate elemente care sunt prezentate în tabelul 5.25.

Tabelul 5.25. Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	1	3	5	6	17
Valoare [kV]	+1	-0.33	-2,5	-0.5	-5.83
Număr ploturi	-	-	-	2	4

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru puterile active generate în noduri rezultă:

- mulțimea țintă a reguletoarelor: nodurile 1, 2 și 3;
- valorile de reglaj: +197 MW , -50.1 MW și respectiv -150.2 MW.

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare pentru tensiuni și puteri active rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 5.26.

Tabelul 5.26. Indicatorii globali ai regimului după prima etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.59 Admisibil=0.41	Optim	Regim de Optim.
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim.
Puteri reactive generate	Admisibil =0 Inadmisibil =1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !
Circulații pe LEA	Optim =0.09 Favorabil=0.91	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAF0	Optim =0.44 Favorabil =0.56	Optim	Regim Optim
Regim	Admisibil=0 Inadmisibil=1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !

Cheltuielile globale orare: 25335,48 \$/h

După cum se poate observa cheltuielile totale orare au scăzut cu aproape 894 \$/h adică mai exact au scăzut cu 3,4 %, calificativele pentru mărimile electrice urmărite fiind optime pentru tensiuni și puteri active generate dar pentru puterile reactive generate s-au atins limitele

admisibile. Încă mai este necesară repetarea diagnozei până la obținerea calificativului optim pentru regim.

După prima etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 5.27 și 5.28.

Tabelul 5.27. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	2,8,10,22	Favorabil superior	0.03
Puteri active	-	-	0
Puteri reactive	1,3	Favorabil inferior	0,66
	5	Admisibil inferior	1,58

Tabelul 5.28. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	18 laturi tip LEA	Favorabil	3,4
Puteri aparente	5 laturi tip TRAFU	Favorabil	1,55

La aplicarea metodei de determinare a mulțimii minime de diagnoză pentru tensiunile în noduri rezultă: mulțimea țintă a reguletoarelor, valorile de reglaj, numărul de ploturi necesare a fi modificate elemente care sunt prezentate în tabelul 5.29.

Tabelul 5.29 Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	2	22
Valoare [kV]	-0,13	-1,5
Număr ploturi	-	1

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare pentru tensiuni rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 5.30.

Tabelul 5.30 Indicatorii globali ai regimului după a două etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.57 Admisibil=0.43	Optim	Regim de Optim
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.51 Admisibil =0.49	Optim	Regim de Optim
Circulații pe LEA	Optim=0.1 Favorabil=0.9	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFU	Optim =0.44 Favorabil =0.56	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.51 Admisibil=0.49	Optim	Regim de Optim

Cheltuielile globale orare: 25331,63 \$/h

După cea de-a doua etapă de diagnoză cheltuielile au scăzut cu 3,85 \$/h valoare mică în raport cu valoarea cheltuielilor globale orare. Cheltuielile orare totale, criteriul de optimizare a regimurilor de bază.

După cum se observă și în tabelul 5.21 indicatorii globali pentru tensiuni, puteri active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi calificativele sunt optime iar în final regimul are calificativul optim.

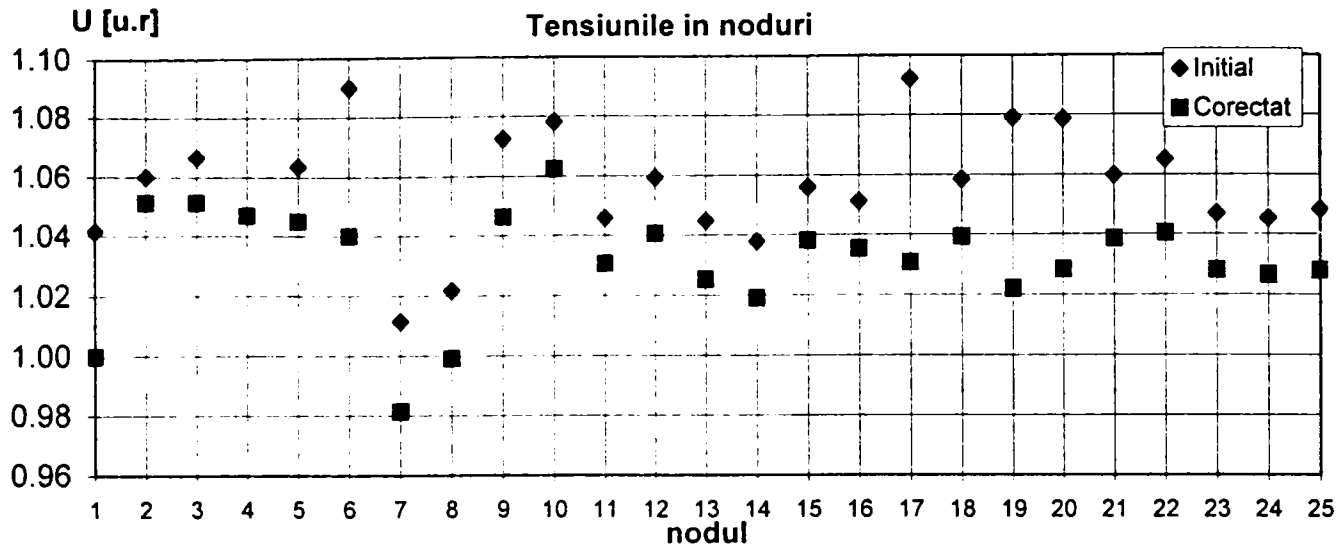


Figura 5.15. Tensiunile nodurilor pentru regimul inițial și regimul de după diagnoză

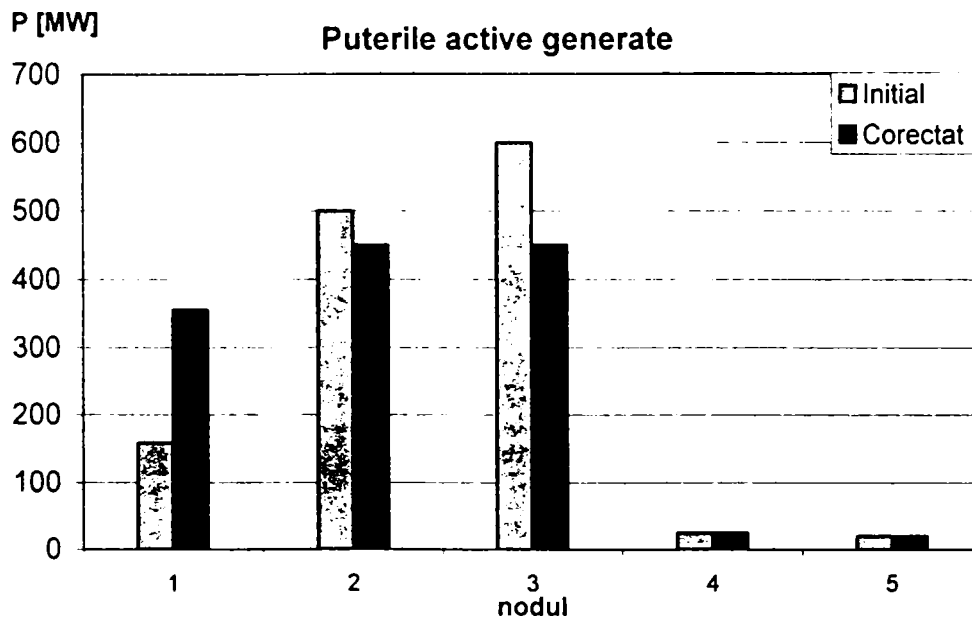


Figura 5.16. Puterile active generate în noduri pentru regimul inițial și regimul de după diagnoză

În figura 5.15 sunt prezentate comparativ valorile tensiunilor în nodurile sistemului, în unități relative, înainte și după diagnoză. Se poate observa că nivelul tensiunilor după efectuarea diagnozei este mai coborât decât inițial. Această situație este favorabilă având în vedere caracterul regimului luat în studiu – regim cu sarcină scăzută.

În figura 5.16 sunt prezentate valorile puterilor active generat în nodurile generatoare înainte și după efectuarea diagnozei. După cum se observă a fost necesară corectarea puterii active generate doar în nodurile 1, 2 și 3 situație care conduce la cheltuieli minime totale orare.

Capitolul 6

SISTEM EXPERT PENTRU DIAGNOZA REGIMURILOR PERMANENTE ALE SEP

6.1. Arhitectura generală a unui sistem expert

6.1.1. Definiții pentru sistemele expert

În general prin noțiunea de „expert uman” se înțelege o persoană care posedă cunoștințe temeinice într-un anumit domeniu, un specialist de înaltă clasă, cu largă recunoaștere profesională, care poate efectua o expertiză asupra unor probleme din domeniul său de competență.

Sistemele expert (SE) sunt o clasă particulară de sisteme informatice, bazată pe inteligență artificială, având ca scop reproducerea cu ajutorul calculatorului a cunoștințelor și raționamentelor experților umani [C8]. Un SE este capabil de a da un sfat „egal în calitate” cu cel ce ar putea fi dat de un expert uman recunoscut. Utilizarea SE se recomandă pentru rezolvarea unor probleme care implică luarea unor decizii bazate pe strategii, reguli, raționamente euristice etc.

SE este de fapt un program implementat pe un sistem de calcul care are o bază de cunoștințe (date și reguli) și este destinat rezolvării unor sarcini dificile procedând similar cu expertul uman din domeniul respectiv.

6.1.2. Avantaje utilizării sistemelor expert

- *Portabilitate.* SE fiind un program informatic realizat într-un limbaj de programare de nivel înalt poate fi instalat și executat pe orice sistem de calcul care are un sistem de operare compatibil.
- *Accesibilitate.* Serviciile oferite de SE pot fi folosite de oricine dispune de un minim de cunoștințe de operare pe calculator și cunoștințe elementare din domeniul de competență a SE.
- *Rapiditate.* SE poate realiza expertiza corectă oricând este nevoie de acesta și cu o viteză mult superioară experților umani. Acest lucru este imperios necesar la urmărirea și conducerea regimurilor SEP datorită caracteristicilor avute de acestea.
- *Flexibilitate.* Fiecare regulă de producție reprezintă o piesă de cunoaștere relevantă referitor la o anumită problemă. De aceea este foarte ușor să se adauge, să se îndepărteze sau să se modifice o anumită regulă din baza de cunoștințe, pe măsură ce experiența în domeniu se dezvoltă. Această calitate este foarte potrivită pentru domeniul SEP deoarece permite îmbunătățirea permanentă a performanțelor SE.
- *Transparență.* Regulile de producție ca mod de reprezentare a cunoștințelor, sunt asemănătoare limbajului natural uman și de aceea ușor de înțeles. SE pot prezenta pașii care conduc la concluzie și se poate explica procesul de raționare. Utilizatorul poate confirma sau corecta concluzia prin examinarea explicațiilor date de mașina de inferență. Din acest motiv SE este un instrument valoros pentru monitorizarea și conducerea regimurilor SEP.
- *Universalitate.* Baza de cunoștințe depinde de domeniul de aplicație al SE dar mașina de inferență și interfața utilizator (denumite și nucleu – shell) sunt independente. De ceea, prin înlocuirea bazei de cunoștințe pentru același nucleu se pot obține SE diferite. Știind că pentru un anumit SEP, este necesară construirea propriei baze de cunoștințe, este evident avantajul universalității.

6.1.3. Necesitatea utilizării SE în domeniul diagnozei regimurilor staționare ale SEP

Factorii care fac necesară folosirea unui SE în domeniul diagnozei regimurilor staționare ale SEP sunt:

- *Volumul mare de date achiziționate din sistem.* În cazul SEP numărul mărimilor electrice achiziționate poate este foarte mare chiar și pentru sisteme de mici dimensiuni (zeci de noduri).
- *Complexitatea problemei de rezolvat.* Problema diagnozei regimurilor SEP este una complexă deoarece operatorul de sistem trebuie să urmărească un număr mare de mărimi electrice, dependente unele de altele, care trebuie să se încadreze în anumite limite.
- *Natura combinatorie a soluțiilor.* Pentru repararea unei situații de regim, în cazul unui anumit SEP, pot exista mai multe soluții și ca urmare este necesară luarea deciziei optime.
- *Informații incomplete.* Deși volumul de date achiziționate din sistem este mare, totuși pot exista zone ale sistemului pentru care nu se cunosc suficiente date. Pentru completarea datelor este necesară estimarea stării sistemului, pe baza datelor existente, cu condiția ca sistemul să fie observabil.
- *Starea conflictuală între informații.* Unele date achiziționate din sistem pot fi eronate astfel încât sunt în contradicție cu alte date. Și în acest caz este necesară estimarea stării sistemului.
- *Reproductibilitatea și stabilitatea expertizei.* Expertiza dată de SE este aceeași în aceleași circumstanțe. În cazul expertului uman expertiza poate fi influențată de unii factori subiectivi sau obiectivi (oboseală, stres, etc.)

6.1.4. Caracteristici ale SE

Cercetările din domeniul SE se bazează pe ipoteze conform cărora orice proces decizional poate fi modelat conform unor reguli analitice și formale. Diferența dintre informatica clasică și SE este pusă în evidență de distincția dintre limbajele de programare algoritmice (procedurale) și cele declarative. Abordarea algoritmică cuprinde într-un tot nediferențiat elementele de logică necesare rezolvării problemei, proprietățile specifice ale obiectelor studiate (funcții) și parametrii specifici. Abordarea propusă de E. Feigebaum în 1962, propune separarea mecanismelor logice, general valabile, de proprietățile și parametrii specifici fiecărui obiect analizat. Acest mod de abordare a realizării unui program de calcul poartă numele de „abordare declarativă” [C31].

În acest fel în SE sunt identificate trei nivele de generalizare:

- Nivelul cel mai general este cel al formulării logicii de abordare a problemei. Procedurile de la acest nivel sunt aplicabile oricăror tipuri de probleme.
- Nivel următor de generalizare conține proprietățile specifice fiecărei clase de probleme sau fiecărui tip de obiect.
- Ultimul nivel de generalizare este cel al datelor care individualizează obiectele sau problemele.

În teoria SE se operează cu următoarele noțiuni:

- *Date sau fapte* care reprezintă mulțimea parametrilor care individualizează o problemă supusă rezolvării. Atât datele primare care caracterizează o anumită stare inițială cât și datele rezultate în urma corelării datelor inițiale (sau a unor calcule) formează ansamblul faptelor.

- *Reguli* descriu o proprietate specifică obiectelor analizate sub forma unor legi. Regulile pot fi funcții matematice și de cele mai multe ori se pot reprezenta într-o structură binomă după cum urmează:

DACĂ <condiție> ATUNCI <concluzie>

unde: *condiția* definește valorile datelor (faptelor) care fac ca regula să fie potențial aplicabilă;
concluzia reprezintă valori ale rezultatului.

Pe baza considerentelor de mai sus, un sistem expert (SE) se poate defini ca o structură de reguli, aplicate unor date sau fapte primare, coordonată de un mecanism de control, bazat pe formalisme logice universal valabile, care are scopul de obține un rezultat credibil [C31].

6.1.5. Arhitectura generală a unui SE

În general structura unui SE cuprinde (figura 6.1):

- baza de cunoștințe care conține atât faptele cât și regulile;
- motorul de inferență;
- interfața utilizator.

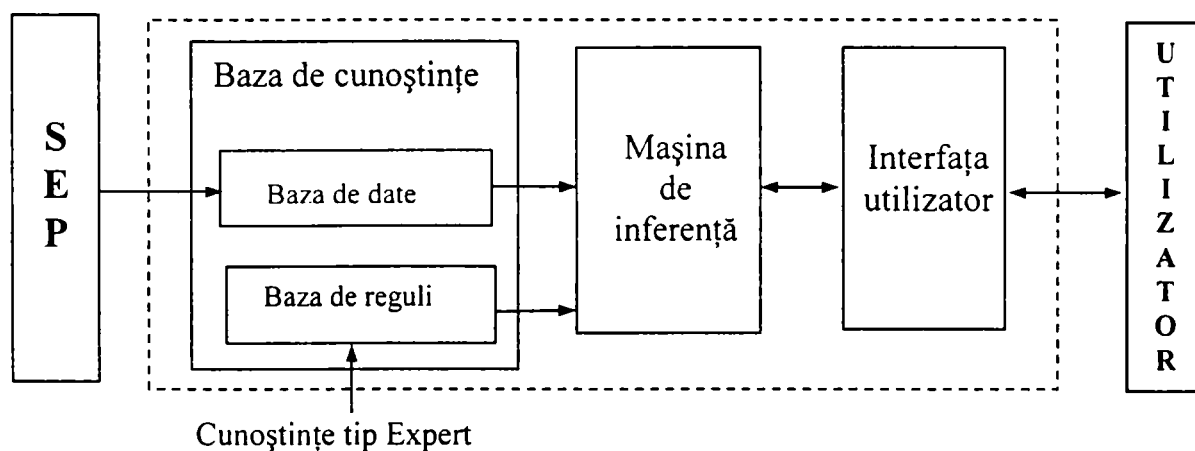


Figura 6.1. Structura generală a unui Sistem Expert

Baza de reguli și baza de fapte formează împreună *baza de cunoștințe*. Aici sunt cuprinse datele care caracterizează o anumită problemă. Conform principiul lui Feigebaum, baza de cunoștințe este separată față de motorul de inferență care conține elementele logice generale necesare identificării soluțiilor.

Baza de reguli este un ansamblu complet și ne-contradictoriu de cunoștințe necesare rezolvării unei probleme. Regulile se referă la operațiile ce pot fi efectuate asupra obiectelor conținute în baza de date. Odată regulile introduse, ele rămân neschimbate pe toată perioada de funcționare a SE, constituind deci cunoștințe permanente sau statice.

Baza de date sau de fapte, este ansamblul parametrilor care se utilizează la determinarea soluției unei probleme. Schimbarea unuia sau mai multor parametri conduce, în cele mai multe cazuri, la soluții diferite. Baza de date este actualizată permanent prin introducerea de noi date de intrare și prin generarea de noi date derivate cu ajutorul regulilor din baza de reguli aplicate datelor existente. Baza de date este partea dinamică a bazei de cunoștințe.

Mașina de inferență (motorul de inferență) conține mecanismele de căutare și selectare a regulilor potențial aplicabile și principiile de combinare a acestor reguli (ordinea în care regulile sunt aplicate, prioritățile, legi speciale de combinare logică, detectarea condițiilor de

oprire etc.). Mașina de inferență, separată de baza de cunoștințe, este partea SE care caută și generează răspunsurile la întrebările puse. Ea accede la cunoștințe și efectuează conexiunile necesare pentru a propune o concluzie problemei analizate. Tipul și numărul de reguli nu afectează maniera în care mașina de inferență funcționează. Mașina de inferență funcționează având dată o stare a bazei de date pentru care să poată fi recunoscute regulile aplicabile. Operația de recunoaștere a regulilor aplicabile se numește filtrare („pattern matching”). Uneori filtrarea, pentru a fi mai eficientă, este precedată de operația de preselecție a regulilor.

Comunicarea SE cu utilizatorul se face prin intermediul unei interfețe. Cu ajutorul acesteia utilizatorul poate introduce comenzi, întrebări și poate primi răspunsuri. În felul acesta se poate testa comportarea SE în diferite situații ce pot fi întâlnite și în funcționare.

Dezvoltarea SE se poate face în limbaje de programare procedurale, caz în care trebuie realizată inclusiv mașina de inferență, sau ea poate fi făcută în limbaje declarative, special destinate construirii SE, când mașina de inferență este conținută de mediul de programare respectiv. Unul dintre cele mai utilizate limbaje declarative, folosit pentru construirea SE, este PROLOG-ul (PROgramming in LOGic).

6.1.6 Reprezentarea cunoștințelor

Un domeniu fundamental al Inteligenței Artificiale se preocupă de construirea unor mecanisme de formalizare care să permită crearea unor sisteme inteligente bazate pe cunoștințe. Reprezentarea cunoștințelor poate fi făcută în diverse moduri: sub formă de rețele semantice, structuri împachetate (frame), programare orientată pe obiecte etc. Una dintre cele mai răspândite moduri de reprezentare a cunoștințelor o constituie *regulile de producție*.

O regulă de producție se reprezintă în conformitate cu relația (4.1). Partea de condiție specifică acele criterii care trebuie îndeplinite pentru ca regula să fie aplicată, adică propoziții logice care trebuie să fie verificate. Partea de concluzie corespunde propoziției logice care devine adevărată dacă premisele sunt adevărate.

Principalele avantaje ale reprezentării cunoștințelor sub formă de reguli sunt:

- Modularitate în reprezentarea cunoștințelor. Fiecare regulă poate fi considerată ca o entitate structurală independentă de celelalte reguli. Modularitatea permite o ușoară întreținere a bazei de reguli; adăugarea, ștergerea sau modificarea unei reguli se face independent de celelalte.
- Modularitate în realizarea formalismului de rezolvare a problemei. Regulile pot fi asimilate cu un ansamblu de constituenți elementari care se combină pentru a forma un răspuns la întrebarea pusă.
- Caracterul natural de exprimare. Studiile efectuate au relevat că experții își formulează frecvent cunoștințele în această manieră.

Dezavantajele acestui mod de reprezentare sunt:

- Imposibilitatea de a prevedea o desfășurare optimă pentru o secvență de acțiuni. Aceasta este o consecință a modularității oferite de structura de reguli.
- Testarea în mod sistematic a tuturor regulilor pentru identificarea celor care pot fi aplicate este o operație care consumă timp.
- În multe situații selectarea ordinii în care sunt executate regulile potențial aplicabile influențează concluzia.

6.2. Sistem expert pentru diagnoza regimurilor permanente ale SEP

6.2.1. Baza de date

Pentru o diagnoză în timp real, baza de date trebuie să conțină datele achiziționate din sistem, date referitoare la mărimile electrice din noduri și de pe laturi, după ce valorile acestora au fost completate și corectate cu ajutorul unui estimator de stare a sistemului.

Dacă diagnoza se folosește la analiza regimurilor unui SEP calculate din circulația de puteri, atunci valorile datelor sunt preluate direct din programul de calcul al circulației de puteri, folosind în acest scop fișierele cu rezultatele regimului studiat. Datele cuprind: configurația sistemului, puterile active și reactive injectate în noduri (generate sau consumate), tensiunile în noduri, circulațiile de puteri pe laturi etc.

În cazul acestei lucrări s-a construit sistemul Steady State Diagnosis Expert System – SSDES, care realizează diagnoza regimurilor staționare în mod off-line. Circulația de puteri este calculată cu programul CNW, existent la Catedra de Electroenergetică a Universității „Politehnica” Timișoara. Baza de date necesară SE, pregătită de programul CNW, este preluată dintr-un fișier cu extensia DBA. Acesta se încarcă după pornirea SE folosind opțiunea “Load data” din meniul general. Acest fișier conține următoarele articole, declarate în Prolog sub formă de funcții:

- $date_gen(Nrnod, Nrnodgen, Nrlat, Nodref)$; conține date generale despre sistemul luat în analiză: numărul total de noduri, numărul de noduri generatoare, numărul de laturi, numărul nodului referință; baza de date conține un singur element de acest tip.
- $ng(N, Nume, Nr, U, Un, Niv, Delta, P, Q, Pn, Qmin, Qmax, Cosfin)$; conține date referitoare la nodurile generatoare ale SEP: numele nodului, numărul nodului, tensiunea nodului, tensiunea nominală a nodului, nivelul tensiunii nodului, faza tensiunii, puterile activă și reactivă efectiv generate în nod, puterea nominală a generatorului echivalent, puterile reactive minimă și maximă a generatorului echivalent, factorul de putere nominal al generatorului; baza de date conține câte un element de acest tip pentru fiecare nod generator.
- $nc(N, Nume, Nr, U, Niv, Delta, P, Q, Pn)$; conține date referitoare la nodurile consumatoare ale SEP: numele nodului, numărul nodului, tensiunea nodului, nivelul tensiunii nodului, faza tensiunii, puterile activă și reactivă injectate în nod, puterea maximă a consumatorului; baza de date conține câte un element de acest tip pentru fiecare nod consumator.
- $ltrafo(N, Nodi, Nodf, Sef, Sec, Sn, Nrparalel, Nrpmax, Nrpc, Pd, Qd, Pi, Qi)$; conține date referitoare la laturile tip transformator ale SEP: numărul curent al înregistrării, numerele nodurilor inițial și final ale laturii, puterea aparentă de circulație pe latură, puterea aparentă economică de funcționare a transformatorului echivalent, puterea aparentă nominală a transformatorului echivalent, numărul de transformatoare identice în paralel, numărul maxim de ploturi, numărul plotului curent, puterile active și reactive de circulație în sens direct și invers pe latură (sensul este raportat la numerotarea nodurilor); baza de date conține câte un element pentru fiecare latură tip transformator.
- $le(N, Nodi, Nodf, Ief, Inat, Iadm, Un, Lung, Pd, Qd, Pi, Qi)$; conține date referitoare la laturile tip linie electrică ale SEP: numărul curent al înregistrării,

numerele nodurilor inițial și final ale laturii, valoarea curentului de fază de circulație pe linie, valoarea curentului de fază pe linie la funcționarea în regim de putere naturală, curentul admisibil pentru conductorul activ al liniei electrice, tensiunea nominală a liniei, lungimea liniei, puterile active și reactive de circulație în sens direct și invers pe latura (sensul este raportat la numerotarea nodurilor); baza de date conține câte un element pentru fiecare latura linie electrică.

- *rez_glob*(*Pg*, *Qg*, *Pcn*, *Qcn*, *Pgn*, *Qgn*, *Pat*, *Qat*, *Pci*, *Qci*, *DPt*, *DQt*, *DPtt*, *DQtt*, *DPtl*, *DQtl*, *Rnd*, *Cost*); conține rezultatul bilanșurilor de putere activă și reactivă în urma efectuării calculului circulației de putere: puterile totale activă și reactivă generate, puterile totale activă și reactivă consumate în nodurile sistemului, totalul puterilor activă și reactivă instalate în nodurile generatoare, total puteri consumate prin admitanțe transversale, total puteri consumate prin injecții, pierderile totale de putere activă și reactivă, transversale și longitudinale, randamentul de transport și costul total orar al puterii generate; element unic.
- *data_file*(*d_file*); conține numele fișierului care conține baza de date; element unic.

6.2.2. Baza de cunoștințe

Baza de cunoștințe cuprinde informații privind tensiunile optime și puterile active generate optime din nodurile SEP pentru cele 3 regimuri de bază, regimuri optimizate după criteriul costului total orar minim.

Pentru tensiuni sunt prezente 11 liste cu valorile în [kV] ale tensiunilor din fiecare nod al SEP pentru cele 3 regimuri de bază existând: 3 liste cu tensiunile optime, 6 liste cu valorile ridicate și respectiv scăzute; ultimele două liste conțin valorile minime respectiv maxime ale benzilor de tensiune ale nodurilor.

Pentru reglajul tensiunii în sistem se dau listele cu nodurile reglatoare de tensiune adică nodurile generatoare, compensatoare și nodurile de pe partea de mai joasă tensiune a laturilor transformator sau autotransformator cu reglaj sub sarcină. În cazul în care circulația de putere reactivă pe latura transformator este de la nodul de mai joasă tensiune la nodul de mai înaltă tensiune, ca regulator de tensiune apare și nodul de pe partea de mai înaltă tensiune a laturii tip transformator. De asemenea pentru fiecare nod regulator de tensiune sunt date zonele de influență. Aceste zone sunt determinate conform metodei euristice prezentate în paragraful 5.1.1. Zonele de influență au fost determinate pentru fiecare dintre cele trei regimuri de bază.

Pentru puterile active generate se află 3 liste cu valorile optime ale puterilor active injectate în nodurile generatoare pentru fiecare regim de bază.

Baza de cunoștințe se află într-un fișier cu extensia KNW și va fi încărcată la opțiunea "Load knowledge" din meniul general al sistemului expert. Listele tensiunilor și puterilor sunt ordonate crescător în funcție de numărul nodului. Numele listelor sunt:

- *umaxnod*(*reallist*), *uminnod*(*reallist*) pentru valorile limită ale benzilor de tensiune;
- *uoptnodh*(*reallist*), *uadmsnodh*(*reallist*), *uadminodh*(*reallist*) pentru valorile optime, ridicate și respectiv scăzute ale regimului de bază *H*;
- *uoptnodm*(*reallist*), *uadmsnodm*(*reallist*), *uadminodm*(*reallist*) pentru valorile optime, ridicate și respectiv scăzute ale regimului *M*;
- *uoptnodl*(*reallist*), *uadmsnodl*(*reallist*), *uadminodl*(*reallist*) pentru valorile optime, ridicate și respectiv scăzute ale regimului *L*;
- *reglist*(*intlist*)- pentru reglatoarele de tensiune din sistem;

- *reglajuh (reglist)* - zonele de influență a reguletoarelor de tensiune pentru regimul *H*;
- *reglajum (reglist)* - zonele de influență a reguletoarelor de tensiune pentru regimul *M*;
- *reglajul (reglist)* - zonele de influență a reguletoarelor de tensiune pentru regimul *L*;
- *poptnodh (reallist)* – pentru puterile optime generate pentru regimul *H*;
- *poptnodm (reallist)* – pentru puterile optime generate pentru regimul *M*;
- *poptnodl (reallist)* – pentru puterile optime generate pentru regimul *L*;

De asemenea baza de cunoștințe mai conține:

- *consumul_t_h (real)* cu valoarea consumului total de putere activă pentru regimul *H*;
- *know_file (string)* pentru numele fișierului care conține baza de cunoștințe;
- *date_gen_knw (string)* care conține o cheie de compatibilitate cu baza de date.

6.2.3. Interfața utilizator a sistemului expert

Sistemul expert este alcătuit din două module de program. Primul modul (modulul I) calculează valorile indicatorilor locali fuzzy iar al doilea modul (modulul II) calculează indicatorii globali și determină măsurile de reparare.

Interfața cu utilizatorul a modulului întâi prezintă meniul principal cu următoarele opțiuni (figura 6.2):

- *Load data* – încarcă baza de date;
- *Load knowledge* – încarcă baza de cunoștințe;
- *Diagnosis* – submeniu pentru calculul indicatorilor locali și generali;
- *Indicators* – afișare indicatori generali;
- *Help information* – informații ajutătoare;
- *OS shell* – ieșire la sistemul de operare;
- *Exit Expert* – ieșire din program.

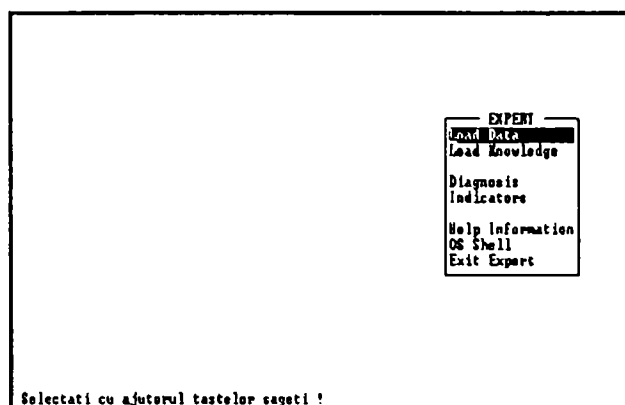


Figura 6.2. Meniul general al SE – modulul I

Opțiunea *Diagnosis* afișează următorul submeniu (figura 6.3):

- *U diagnosis* – realizează diagnoza tensiunii în nodurile SEE;
- *Pg diagnosis* – realizează diagnoza puterilor active generate în nodurile generatoare;
- *Qg diagnosis* – realizează diagnoza puterilor reactive generate în nodurile generatoare;
- *LEA diagnosis* – realizează diagnoza încărcării LEA;
- *TR diagnosis* – realizează diagnoza încărcării Trafo
- *All diagnoses* – realizează diagnoza tuturor mărimilor de mai sus;

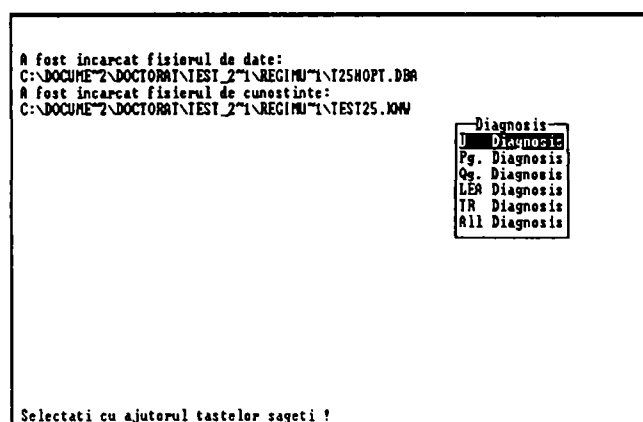


Figura 6.3. Submeniul *Diagnosis* – modulul I

Interfața cu utilizatorul a modulului al doilea prezintă meniul principal cu următoarele opțiuni (figura 6.4):

- *Încărcare date* – încarcă baza de date;
- *Încărcare cunoștințe* – încarcă baza de cunoștințe;
- *Diagnoza generală* – diagnoza SEP: calculul indicatorilor globali fuzzy;
- *Optimizare U* – determină măsurile de îmbunătățire a tensiunilor în noduri;
- *Optimizare P* – determină măsurile de îmbunătățire a puterilor active generate;
- *Afișări* – submeniu afișări;
- *Informații ajutoare* – informații ajutoare;
- *Ieșire SO* – ieșire la sistemul de operare;
- *Ieșire program* – ieșire din program.

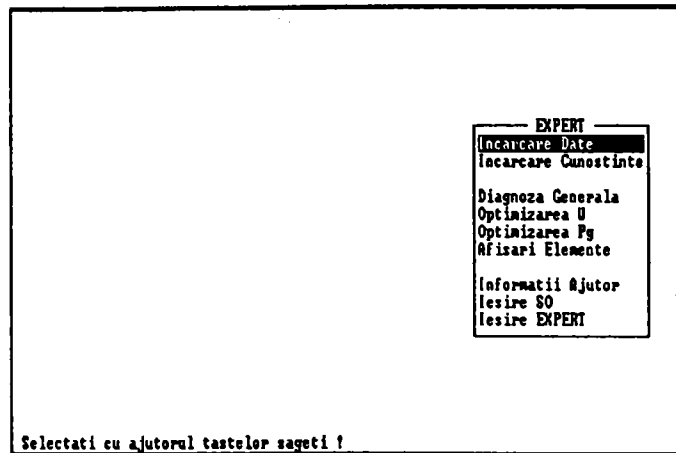


Figura 6.4. Meniul general al SE modulului II

Opțiunea *Afișări* prezintă următorul submeniu (figura 6.5):

- *Tensiuni în noduri* – afișează tensiunile „neconforme”;
- *Puteri active* – afișează puterile active generate „neconforme”;
- *Puteri reactive* – afișează puterile reactive generate „neconforme”;
- *Circulații LEA* – afișează laturile LEA cu circulațiile diferite de cele optime;
- *Circulații TRAF0* – afișează laturile TRAF0 cu circulațiile diferite de cele optime;
- *Indicatori* – afișează indicatorii generali.

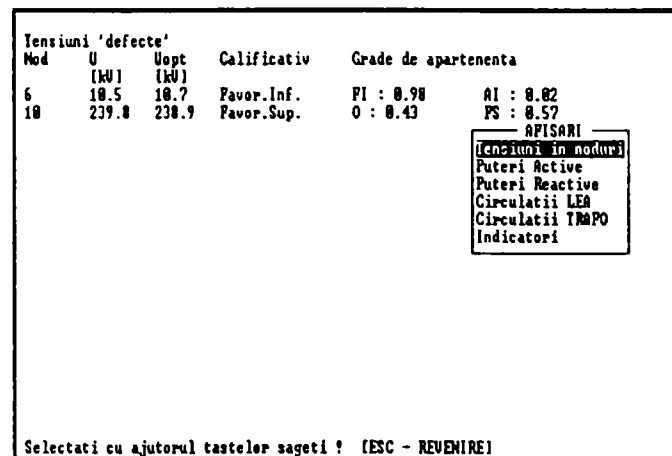


Figura 6.5. Submeniu afișări ale modulului II

6.2.4 Prezentarea rezultatelor diagnozei

În urma activării uneia dintre opțiunile prezentate în meniul *Diagnosis*, rezultatele sunt prezentate sub formă de tabele. Tabelele cuprind valorile ferme ale mărimilor analizate, calificativele acordate, valorile gradelor de apartenență la mulțimile fuzzy corespunzătoare și distanța euclidiană relativă procentuală față de mărimea de referință.

Valorile gradelor de apartenență sunt însoțite de caractere (prescurtări) pentru identificarea mulțimilor fuzzy cărora le aparține valoarea fermă analizată. Aceste prescurtări sunt:

- *O* – mulțime fuzzy a valorilor cvasi-optime;
- *R* – mulțime fuzzy a valorilor ridicate;
- *S* – mulțime fuzzy a valorilor scăzute;

- *FR* – mulțime fuzzy a valorilor foarte ridicate;
- *FS* – mulțime fuzzy a valorilor foarte scăzute;

La *Diagnoza tensiunii* se afișează următoarele (figura 6.6):

- numărul și numele nodului;
- tensiunea efectivă în nod în [kV];
- tensiunea cvasi-optimală a nodului în [kV];
- calificativul acordat tensiunii;
- valorile gradelor de apartenență împreună cu caracterele de identificare a mulțimilor fuzzy cărora le aparține;
- distanța euclidiană relativă procentuală dintre tensiunea din fiecare nod și tensiune cvasioptimală corespunzătoare (formula 4.58).

La sfârșitul listei se afișează indicatorul global al tensiunilor din sistem definit conform formulei 4.59 din subcapitolul 4.3

Diagnoza tensiunilor in nodurile SEE									
Nr. nod	Nume nod	U [kV]	Uopt [kV]	Calificativ	Grade de apartenența			Abatere fata de optim [%]	
20	K110	115.4	116.1	Optim	'O' = 0.72	'S' = 0.28			0.6
21	L110	114.7	114.2	Optim	'O' = 0.85	'R' = 0.15			0.4
22	I110	115.3	114.5	Optim	'O' = 0.76	'R' = 0.24			0.7
23	H110	115.8	114.8	Optim	'O' = 0.69	'R' = 0.31			0.8
24	M110	115.4	114.5	Optim	'O' = 0.71	'R' = 0.29			0.8
25	N110	114	113.4	Optim	'O' = 0.85	'R' = 0.15			0.5
Indicator global pentru tensiune: 0.03									
Apasa o tasta !									

Figura 6.6. Diagnoza tensiunilor în noduri – modulul I

La *Diagnoza Pg* adică a puterii active generate se afișează următoarele (figura 6.7):

- numărul și numele nodului;
- puterea activă generată în nod în [MW];
- puterea activă cvasi-optimală a nodului generator în [MW];
- calificativul acordat puterii active generate;
- valorile gradelor de apartenență la mulțimile fuzzy și caracterele de identificare a acestor mulțimi;
- distanța euclidiană relativă procentuală dintre puterea activă generată și puterea cvasioptimală în fiecare nod generator (formula 4.68).

La sfârșitul listei se afișează indicatorul global al puterii active generate în sistem definit conform formulei 4.69 din subcapitolul 4.4.

La *Diagnoza Qg* adică a puterii reactive generate se afișează următoarele (figura 6.8):

- numărul și numele nodului, ;
- puterea reactivă curentă generată în nod în [MW];
- puterea reactivă nominală a nodului generator în [MW];
- calificativul acordat puterii generate;
- valorile gradelor de apartenență a valorii puterii generate la mulțimile fuzzy și caracterele de identificare a acestor mulțimi;

- distanța euclidiană relativă procentuală dintre puterea reactivă generată și puterea corespunzătoare factorului de putere nominal în fiecare nod generator (formula 4.87).

La sfârșitul listei se afișează indicatorul global al puterii reactive generate în sistem definit conform formulei 4.88 din subcapitolul 4.4.

Diagnoza puterilor active generate						
Nr. nod	Nume nod	P [MW]	Popt [MW]	Calificativ	Grade de apartenența	Abatere fata de optia [%]
1	A24	517.1	506.7	Optim	'O' = 0.98 'R' = 0.02	2
2	B15	860	850.4	Optim	'O' = 0.71 'R' = 0.29	1.1
3	C15	685	707.7	Optim	'O' = 0.96 'S' = 0.04	3.2
4	D10	25	25	Optim	'O' = 1 'S' = 0 0	
5	E110	20	20	Optim	'O' = 1 'S' = 0 0	
Indicator global pentru P generate: 0.07						

Apasa o tasta !

Figura 6.7. Diagnoza puterilor active generate – modulul I

Diagnoza puterilor reactive generate						
Nr. nod	Nume nod	Q [MUar]	Qnom [MUar]	Calificativ	Grade de apartenența	Abatere fata de nomin. [%]
1	A24	285.9	320.4	Optim	'O' = 0.83 'S' = 0.17	10.8
2	B15	338.9	416.5	Optim	'O' = 0.77 'S' = 0.23	18.6
3	C15	228	424.5	Favor.Inf.	'O' = 0.4 'S' = 0.6	46.3
4	D10	17.6	15.5	Optim	'O' = 1 'R' = 0 0	
5	E110	6.8	12.4	Favor.Inf.	'O' = 0.4 'S' = 0.6	44.8
6	F10	54.3	57	Optim	'O' = 1 'S' = 0 4.7	
Indicator global pentru Q generate: 0.92						

Apasa o tasta !

Figura 6.8. Diagnoze puterilor reactive generate sau compensate – modulul I

Diagnoza circulatiilor de putere pe TRAF0						
Mod initial	Mod final	S [MVA]	Sn [MVA]	Calificativ	Grade de apartenența	Abatere fata de nominal [%]
1	7	593.7	1260	Optim	'O' = 1 'A' = 0	0
2	10	1111	1575	Optim	'O' = 1 'A' = 0	0
3	11	860.1	1050	Optim	'O' = 1 'A' = 0	0
4	18	27.7	63	Optim	'O' = 0.71 'S' = 0.29	28.7
6	13	49.1	63	Optim	'O' = 1 'A' = 0	0
9	7	192.2	420	Optim	'O' = 0.9 'S' = 0.1	9.9
10	8	583.2	840	Optim	'O' = 1 'A' = 0	0
17	11	64.5	210	Optim	'O' = 0.55 'S' = 0.45	45.5
18	12	90.4	210	Optim	'O' = 0.76 'S' = 0.24	23.6
23	15	95.9	210	Optim	'O' = 0.81 'S' = 0.19	19
22	16	46	210	Favorabil	'O' = 0.39 'S' = 0.61	61.2
Indicator global pentru incarcari TRAF0: 0.87						

Apasa o tasta !

Figura 6.9. Diagnoza puterilor de circulație pe laturile tip TRAF0 – modulul I

La *Diagnoza Trafo* se afișează următoarele (figura 6.9):

- nodurile inițial și final ale laturii;
- puterile aparente efectivă și nominală corespunzătoare în [MVA];
- calificativul încărcării transformatorului;
- valorile gradelor de apartenență a valorii puterii aparente de circulație la mulțimile fuzzy și caracterele de identificare a acestor mulțimi;
- distanța euclidiană relativă procentuală dintre puterea aparentă de circulație și puterea economică corespunzătoare (formula 4.103).

La sfârșitul listei se afișează indicatorul global al încărcării laturilor tip transformator definit conform formulei 4.104 din subcapitolul 4.5.

La *Diagnoza LEA* se afișează următoarele (figura 6.10):

- nodurile inițial și final ale laturii,
- curentul de circulație și curentul natural corespunzător laturii în [A];
- calificativul acordat încărcării LEA;
- valorile gradelor de apartenență a valorii curentului de circulație la mulțimile fuzzy și caracterele de identificare a acestor mulțimi;
- distanța euclidiană relativă procentuală dintre curentul de circulație pe latură și curentul natural corespunzător (formula 4.139).

Diagnoza circulațiilor de putere pe LEA								
Nod initial	Nod final	I [A] efectiv	I [A] natural	Calificativ	'O'	Grade de apartenență	'S'	Abatere fata de natural [%]
7	8	62	1265	Favorabil	'O' = 0.1	'S' = 0.9		90.2
9	12	71	497	Favorabil	'O' = 0.29	'S' = 0.71		71.4
10	15	767	1115	Optim	'O' = 1	'A' = 0		0
11	12	157	553	Optim	'O' = 0.57	'S' = 0.43		43.1
11	13	263	557	Optim	'O' = 0.95	'S' = 0.05		5.5
11	14	375	699	Optim	'O' = 1	'A' = 0		0
13	14	259	1083	Favorabil	'O' = 0.48	'S' = 0.52		52.1
13	15	444	1080	Optim	'O' = 0.82	'S' = 0.18		17.7
15	16	116	548	Favorabil	'O' = 0.42	'S' = 0.58		57.7
5	21	124	271	Optim	'O' = 0.92	'S' = 0.08		8.4
17	19	138	262	Optim	'O' = 1	'A' = 0		0
17	20	177	274	Optim	'O' = 1	'A' = 0		0
18	20	49	254	Favorabil	'O' = 0.38	'S' = 0.62		61.6
19	20	29	275	Favorabil	'O' = 0.21	'S' = 0.79		79.2
21	22	59	273	Favorabil	'O' = 0.43	'S' = 0.57		56.9
21	25	54	273	Favorabil	'O' = 0.39	'S' = 0.61		60.6
23	24	333	3696	Favorabil	'O' = 0.18	'S' = 0.82		82
23	25	91	276	Optim	'O' = 0.66	'S' = 0.34		34.4
Indicator global pentru incarcari LEA: 2.2_								

Apasa o tasta !

Figura 6.10. Diagnoza încărcărilor LEA – modulul I

La sfârșitul listei se afișează indicatorul global al încărcării laturilor LEA definit conform formulei 4.140 din subcapitolul 4.6.

La opțiunea *Diagnoza globală* se afișează indicatorii globali fuzzy așa cum au fost calculați după formulele din capitolul 4 (figura 6.11):

- indicator global fuzzy pentru tensiuni;
- indicator global fuzzy pentru puteri active generate;
- indicator global fuzzy pentru puteri reactive generate;
- indicator global fuzzy pentru circulații pe LEA;
- indicator global fuzzy pentru circulații pe TRAF0;
- indicator global fuzzy pentru regim.


```

Diagnoza TENSIUNILOR din nodurile sistemului
Regim ADMISIBIL 'O': 0.45 'A': 0.55

Diagnoza PUTERILOR ACTIVE GENERATE
Regim ADMISIBIL 'O': 0.43 'A': 0.57

Diagnoza PUTERILOR REACTIVE GENERATE
Regim INADMISIBIL. Alarma !

Diagnoza PUTERILOR DE CIRCULATIE PE LEA
Regim OPTIM 'O': 0.17 'P': 0.83

Diagnoza PUTERILOR DE CIRCULATIE PE TRAFU
Regim ADMISIBIL 'O': 0.12 'A': 0.88

Diagnoza REGIMULUI
Regim INADMISIBIL. Alarma !

Apasa o tasta !
    
```

Figura 6.11. Diagnoza globală. Indicatorii globali fuzzy – modulul II

La opțiunea *Optimizarea tensiunilor* se afișează măsurile de îmbunătățire a regimului pentru valorile tensiunilor în noduri (figura 6.12). Sunt afișate următoarele:

- numărul nodului regulator;
- tensiunea curentă în [kV];
- tensiunea cvasi-optimală în [kV];
- acțiunea de reglaj;
- valoare de reglaj în [kV] sau plot.

Reglajul tensiunilor in nodurile SEE					
Regulator	U	Uopt	Actiune	Ual.	Plot
tensiune	[kV]	[kV]		[kV]	
nod 1	24.2	24.5	ridica	0.3	
nod 2	15.7	16.1	ridica	0.4	
nod 5	110.6	115	ridica	4.4	
nod 9	232.6	238.4	ridica	5.7	2
nod 3	15.2	15.5	ridica	0.3	
nod 17	115.2	117.9	ridica	2.6	2
nod 18	114.3	116.9	ridica	2.6	2
nod 22	109.3	114.5	ridica	5.2	4
nod 23	112	114.8	ridica	2.8	2_

Apasa o tasta !

Figura 6.12. Optimizarea tensiunilor nodurilor – modulul II

La opțiunea *Optimizarea puterilor active generate* se afișează măsurile de îmbunătățire a regimului pentru puterile generate (figura 6.13). Sunt afișate următoarele:

- numărul nodului generator;
- puterea activă curentă în [MW];
- acțiunea de reglaj;
- valoare de reglaj în [MW].

Reglajul puterilor active in nodurile generatoare ale SEE			
Regulator P	P [MW]	Actiune	Ualoare [MW]
nod 1	544	ridica	18.1
nod 2	700.4	coboara	13.1
nod 3	662.2	ridica	7.3
nod 4	47.8	coboara	7.8
nod 5	23.9	coboara	3.9

Apasa o tasta !

Figura 6.13. Optimizarea puterilor active generate – modulul II

6.2.5. Reguli de diagnoză

În acest subcapitol sunt prezentate principalele reguli de diagnoză așa cum au fost ele implementate în limbajul Prolog.

Există câte o regulă pentru diagnoza fiecăreia dintre mărimile: tensiune, putere activă generată, putere reactivă generată, curent de fază pe latura tip LEA, curent de fază pe latura tip LES și putere aparentă de circulație pe latura tip TRAF0. Regulile sunt recursive și sunt formate din două corpuri: unul pentru implementarea recursivității și unul pentru încheierea recursivității și afișarea rezultatelor. În corpul acestor regulilor sunt apelate alte reguli care determină indicatorii fuzzy locali pentru diagnoza mărimilor urmărite. De asemenea sunt apelate și reguli de căutări în liste, de afișare sau de salvare etc. care sunt prezentate în Anexa 6.

Mai întâi sunt prezentate regulile principale de diagnoză a mărimilor electrice urmărite iar apoi, pentru exemplificate, este prezentată o regulă care implementează modelul fuzzy cu 3 mulțimi pentru calculul indicatorului fuzzy local. În ultima parte sunt prezentate regulile de calcul a indicatorilor globali și regulile de determinare a măsurilor de reparare a regimului.

Regula `diagnozaUnod` realizează diagnoza tensiunii în noduri după tipul nodului (nod generator sau nod consumator) și după nivelul de tensiune al nodului. Este prezentat un singur corp recursiv pentru nivelul de medie tensiune. Corpurile pentru celelalte nivele de tensiune sunt similare. Se caută tensiunile optimă, ridicată, scăzută, limită superioară și limită inferioară corespunzătoare nodului și se aplică modelul fuzzy cu cinci mulțimi (după caz). Se salvează rezultatul diagnozei și se pregătește mesajul care se va afișa.

```
diagnozaUnod(N,LU,Str1):-      % corpul recursiv al regulei
    ng(N,Nume,Nr,_,U,_,Niv,_,_,_,_,_,_,_),      % tipul nodului
    medieU(Niv),                % nivelul de tensiune
    cautlim5(Nr,Umin,Uadmi,Uopt,Uadms,Umax),    % calcul valori limită
    fuzzy5(U,Umin,Uadmi,Uopt,Uadms,Umax,Ind,Rez),% aplic.modelului fuzzy
    salveazaU(Nr,U,Uopt,Ind,Ns,NN),            % salveaza indicatorii tensiunii
    scrieU(Nr,Nume,Un,Uopt,Rez),              % afișează rezultatele pentru un nod
    N1=N+1,                                  % trecerea la elementul următor
    SAbN=Ab+SAb,!,                          % calc. suma patratelor abaterilor
    diagnozaUnod(N1,LUn,Str2).                % asigurarea recursivității regulei
```

```
diagnozaUnod(_,SAb,_):-      % corpul de afișare finală
    SAbN=sqrt(SAb),           % calc. indicatorul global pentru tens.
    str_real(SAb_str,SAbN),   % conversie eal - string
    concat("\n Indicator global pentru tensiune: ",SAb_str,Rez),
    assertz(abateriU(SAbN),Rez), % salveaza indic. global pentru tensiuni
    write(Rez),apasa.        % afiseaza mesajul concatenat
```

Regula `diagnozaPgnod` realizează diagnoza puterii active generate în nodurile generatoare ale SEP. Se caută în baza de date nodurile de tip generator, se calculează valorile optimă și limită ale puterii active generate și se aplică un model fuzzy cu 3 mulțimi. În final se pregătește mesajul care va fi afișat. Printr-o regulă asemănătoare se realizează și diagnoza puterii reactive generate.

```
diagnozaPgnod(N,SAb,Ng):-    % corpul recursiv al regulei
    ng(N,Nume, Nr,_,_,_,_,_,P,_,Pn,_,_,_), % se caută un nod generator
    Pn>0.1,!,                  % de putere activă
    N1=N+1,                    % trece la următorul articol
    % calculează indicatorul local fuzzy
    calculePg(Nr,P,Pn,Popt,i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),Rez),
```

```
salveazaPg(Nr, P, Popt, i(I1, L1, I2, L2, Nota, Ab), Ng, NN), % salvează
scrieP(Nr, Nume, P, Popt, Pn, Rez, 'P'), % afișează rez. pentru un nod
SAbN=Ab+SAb, !, % calc. suma pătratelor abaterilor
diagnozaPgnod(N1, SAbN, NN). % asigurarea recursivității regulei
```

```
diagnozaPgnod(NGP, SAb, _):-!, % corpul de afișare finală
NGPN=NGP-1,
assert(nr_nod_genP(NGPN), Rez), % salvează numărul nodurilor gen. de P
str_real(SAb_str, SAb), % conversie real - string
concat("\n Indicator global pentru P generate: ", SAb_str, Rez),
assertz(abateriPg(SAb), Rez), % salvează suma pătratelor abaterilor
write(Rez), apasa. % afișează rez. final
```

```
diagnozaQgnod(N, SAb, Ns):- % corpul pentru noduri generatoare de P
ng(N, Nume, Nr, _, _, _, _, P, Q, Pn, Qmin, Qmax, Cosfin), % determină nodul
Qmax>0, Pn>1,
calcQn(P, Pn, Qmax, Cosfin, Qefn, Qn), % calculează Qn
Qadmi=0.2*Qn, % determină limitele pentru Qg
Qopt=Qefn,
Qadms=Qn,
% calculează indicatorul fuzzy local
fuzzy5q(Q, Qmin, Qadmi, Qopt, Qadms, Qmax, i(I1, L1, I2, L2, Nota, Ab), Rez),
salveazaQg(Nr, Q, Qadms, i(I1, L1, I2, L2, Nota, Ab), Ns, NN), % salvează
scrieP(Nr, Nume, Q, Qopt, Qn, Rez, 'Q'), % afișează rez. pentru un nod
N1=N+1, % trecerea la un alt articol
SAbN=Ab+SAb, !, % calc. suma pătratelor abaterilor
diagnozaQgnod(N1, SAbN, NN). % asigură recursivitatea
```

```
diagnozaQgnod(N, SAb, Ns):- % corpul pentru noduri compensatoare
ng(N, Nume, Nr, _, _, _, _, Q, Pn, Qmin, Qmax, _),
Qmax>0, Pn<=1, Qopt=0.95*Qmax,
fuzzy3q(Q, Qmin, Qopt, Qmax, i(I1, L1, I2, L2, Nota, Ab), Rez),
salveazaQg(Nr, Q, Qmax, i(I1, L1, I2, L2, Nota, Ab), Ns, NN),
scrieP(Nr, Nume, Q, Qmax, Qmax, Rez, 'Q'),
N1=N+1,
SAbN=Ab+SAb, !,
diagnozaQgnod(N1, SAbN, NN).
```

```
diagnozaQgnod(NGQ, SAb, _):- % corpul pentru afișarea finală
NGQN=NGQ-1,
assert(nr_nod_genQ(NGQN), Rez), % salvează nr. de noduri compensatoare
str_real(SAb_str, SAb), % conversie real - string
concat("\n Indicator global pentru Q generate: ", SAb_str, Rez),
assertz(abateriQg(SAb), REZ), % salvează suma pătratelor abaterilor
write(Rez), apasa. % afișează rez. final
```

Regula pentru diagnoza încărcării LEA, *diagnozaSLEA*, caută în baza de date toate laturile tip LEA și aplică un model fuzzy cu 3 mulțimi pentru calcularea indicatorului local și atribuirea calificativului corespunzător. În final se pregătește mesajul care va fi afișat.

Laturile de tip LES se tratează asemănător doar că se aplică un model fuzzy cu 2 mulțimi pentru determinarea indicatorului local (Anexa 6).

```
diagnozaSLEA(N, SAb, Ns):- % corpul recursiv
le(N, Nodi, Nodf, Fact, Ief, Inat, Iadm, _, _, _, _), % caută o lat. LEA
% calculează indicatorul fuzzy local
```

```

fuzzy4(Ief,0.01,0.5Inat,1.5Inat, Iadm,i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),Rez),
    % salvează indicatorul fuzzy
salveazaL(Nodi,Nodf,Ief,Inat,i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),Ns,NN),
scrieL(Nodi,Nodf,Ief,Inat,Rez,'L'), % afișează
N1=N+1, % trecerea la articolul următor
SAbN=Ab+SAb,!, % calculează suma pătratelor abaterilor
diagnozaSLEA(N1,SAbN,NN). % asigură recursivitatea regulii
    
```

```

diagnozaSLEA(NrLEA,SAb,_):- % corpul de afișare finală
    NrLEAN=NrLEA-1,
    assert(nr_LEA(NrLEAN),Rez), % salvează nr. lat tip LEA
    str_real(SAb_Str, SAb), % conversie real - string
    concat("\n Indicator global pentru incarcari LEA:",SAb_str,Rez),
    assertz(abateriLEA(SAb),REZ), % salvează suma pătraterilor abaterilor
    write(Rez),apasa. % afișează rez. final
    
```

Regula pentru diagnoza încărcării transformatoarelor și a autotransformatoarelor, `diagnozaSTR`, aplică un model fuzzy cu 4 mulțimi. Se calculează valorile optimă și limită pentru puterea vehiculată pe transformator. Se pregătește mesajul care va fi afișat.

```

diagnozaSTR(N,SAb,Ns):- % corpul recursiv
    ltrafo(N,Nodi,Nodf,Fact,Sef,Sec,Sn,Nrpar,_,_,_,_,_), % caută trafo
    Snt=Sn*Nrpar, % calcuează puterea nominală echivalentă
    Smax=Snt*1.05, % calculează limita maximă
    Sopt=0.95*Snt, % calculează puterea optimă det. ind. fuzzy local
    fuzzy4(Sef,0,Sec,Sopt,Smax,i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),Rez),
    salveazaT(Nodi,Nodf,Sef,Sopt,i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),Ns,NN), % salvează
    scrieL(Nodi,Nodf,Sef,Smax,Rez,'T'), % afișează pentru un articol
    N1=N+1, % trecerea la următorul articol
    SAbN=Ab+SAb,!, % calculează suma pătratelor abaterilor
    diagnozaSTR(N1,SAbN,NN). % asigură recursivitatea
    
```

```

diagnozaSTR(NrT,SAb,_):- % corpul de afișare finală
    NrTN=NrT-1,
    assert(nr_TRAFO(NrTN),Rez), % salvează numărul de laturi trafo
    str_real(SAb_Str, SAb), % conversie real - string
    concat("\n Indicator global pentru incarcari TRAF0: ",SAb_str,Rez),
    assertz(abateriTR(SAb),REZ), % salvează suma pătratelor abaterilor
    write(Rez),apasa. % afișează rez. final
    
```

În continuare se prezintă implementarea în Prolog a regulilor fuzzy cu 3 mulțimi. Regula fuzzy cu trei mulțimi, `fuzzy3`, este formată din 4 corpuri, câte un corp pentru fiecare poziție a valorii variabilei diagnosticate față de cele două valori limită și valoarea optimă stabilite. Regula calculează valorile coeficienților de apartenență ai variabilei la mulțimile fuzzy corespunzătoare identificate prin caracterele: *O*, *S*, *R*, *FS* și *FR*. De asemenea se calculează o notă care corespunde calificativului acordat și se pregătește mesajul de afișat.

Regulile fuzzy cu 4 și respectiv 5 mulțimi sunt asemănătoare, cu deosebirea că sunt mai multe domenii în care poate să facă parte variabila diagnosticată (Anexa 6).

```

fuzzy3(U,Umin,_,_,Ind,Rez):- % corpul pentru depășire limită inferioară
    U>0, U<Umin,
    Ind=i(0.0,"O",1.0,"S",4.0,1), % valoarea indicatorului fuzzy
    Rez="Depasire limita inferioara. Alarma !",!. % rezultat
    
```

```

fuzzy3(U,_,_,Umax,Ind,Rez):- % corpul pentru depășire limită superioară
    U>0, U>Umax,
    Ind=i(0.0,"O",1.0,"R",4.0,1), % valoarea indicatorului fuzzy
    Rez="Depasire limita superioara. Alarma !",!. % rezultat

fuzzy3(U,Umin,Uopt,_,Ind,Rez):- % corpul pentru intervalul Umin - Uopt
    U>0,Uopt>0,Umin>0,Uopt<>Umin,
    comp2(U,Umin,Uopt),
    % gradul de apartenență la mulțimea valorilor „cvasi-optime”
    I1= round(100.0*(Umin-U)/(Uopt-Umin)),
    % gradul de apartenență la mulțimea valorilor „scăzute”
    I2= round(100.0*(U-Uopt)/(Uopt-Umin)), %
    I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
    Nota=I11*10+I22*4, % determină nota coresp. calificativului
    I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
    Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt), % calculează pătratul abaterii
    Ind=i(I11N,"O",I22N,"S",Nota,Ab), % valoarea indicat. fuzzy local
    calificativ3(Nota,Str), % acordarea, pe baza notei, a calificativului
    str_real(I1_str, I11N),
    str_real(I2_str, I22N),
    AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
    AbNN=AbN/10,
    str_real(Ab_str,AbNN),
    concat(Str," 'O' = ",Str1), % pregătirea afișării rezultatelor
    concat(Str1,I1_str,Str2),
    concat(Str2,"\t'S' = ",Str3),
    concat(Str3,I2_str,Str4),
    concat(Str4,"\t",Str5),
    concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy3(U,_,Uopt,Umax,Ind,Rez):- % corpul pentru intervalul Uopt - Umax
    U>0,Umax>0,Uopt>0,Uopt<>Umax,
    comp2(U,Uopt,Umax),
    % gradul de apartenență la mulțimea valorilor „ridicate”
    I1= round(100.0*(U-Uopt)/(Umax-Uopt)),
    % gradul de apartenență la mulțimea valorilor „cvasi-optime”
    I2= round(100.0*(Umax-U)/(Umax-Uopt)),
    I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
    I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
    Nota=I11*4.0+I22*10.0,
    Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
    Ind=i(I22N,"O",I11N,"R",Nota,Ab),
    calificativ3(Nota,Str),
    str_real(I1_str, I11N),
    str_real(I2_str, I22N),
    AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
    AbNN=AbN/10,
    str_real(Ab_str,AbNN),
    concat(Str," 'O' = ",Str1),
    concat(Str1,I2_str,Str2),
    concat(Str2,"\t'R' = ",Str3),
    concat(Str3, I1_str, Str4),
    concat(Str4,"\t",Str5),
    concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

```

În cadrul SE mai există și alte reguli, de o importanță secundară la realizarea diagnozei, care sunt prezentate în Anexa 6.

Regulile aflate în modulul al doilea al SE, cele care servesc la calculul indicatorilor fuzzy globali și la determinarea măsurilor de reparare al regimului sunt prezentate în continuare.

Regula `diagnoza_gen` calculează și afișează indicatorii fuzzy globali. Ea apelează regulile de calcul pentru fiecare indicator în parte: `diagnozaU`, `diagnozaP`, `diagnozaQ`, `diagnozaLE`, `diagnozaTR` și regula `diagnozaFinala` care calculează indicatorul fuzzy pentru regim.

```
diagnoza_gen:-
    sterge8,
    data_fis(_),!,
    clearwindow,
    write("Diagnoza TENSIUNILOR din nodurile sistemului\n"),
    diagnozaU,
    nl,nl,write("Diagnoza PUTERILOR ACTIVE GENERATE\n"),
    diagnozaP,
    nl,nl,write("Diagnoza PUTERILOR REACTIVE GENERATE\n"),
    diagnozaQ,
    nl,nl,write("Diagnoza PUTERILOR DE CIRCULATIE PE LE\n"),
    diagnozaLE,
    nl,nl,write("Diagnoza PUTERILOR DE CIRCULATIE PE TRAFU\n"),
    diagnozaTR,
    nl,nl,write("Diagnoza REGIMULUI \n"),
    diagnozaFinala.
```

```
diagnoza_gen:-
    not(data_fis(_)),!,
    nl,write(" Nu s-au incarcate datele si cunostintele ! "),
    apasa.
```

```
diagnozaFinala:-
    diagU(_,_,GrApU,_,GrInU), % indicatorul global pentru tensiuni
    diagP(_,_,GrApP,_,GrInP), % indicatorul global pentru puteri active
    diagQ(_,_,GrApQ,_,GrInQ), % indicatorul global pentru puteri reactive
    diagLE(_,_,GrApL,_,GrInL), % indicatorul global pentru LEA și LES
    diagTR(_,_,GrApT,_,GrInT),!, % indicatorul global pentru TRAFU
    % determină Calificativul regimului
    calificativ(GrApU,GrApP,GrApQ,GrApL,GrApT,CalifR),
    % determină gradele de apartenență
    minimm(GrApU,GrApP,GrApQ,GrApL,GrApT,GrApR),
    maximm(GrInU,GrInP,GrInQ,GrInL,GrInT,GrInR),
    diagnozaRegim(CalifR,GrApR,GrInR).% salvează și afișează rezultatele
```

Regula `diagnozaRegim` salvează și afișează calificativul acordat regimului pe baza valorilor gradelor de apartenență la mulțimile fuzzy definite a indicatorilor globali pentru tensiuni, puteri active și reactive injectate și circulații.

```
diagnozaRegim(CalifR,GrApR,GrInR):-% modulul ptr. regim optim sau admisibil
    GrApR>0,!,
    assert(diagFin(CalifR,'O',GrApR,'A',GrInR),ACT), % salvează
    write("\tRegim ",CalifR), % afișează
    write("\t 'O': ",GrApR),
    write("\t 'A': ",GrInR).
```



```
diagnozaRegim(CalifR,GrApR,GrInR):- % modulul ptr. regim inadmisibil
    GrApR=0,
    assert(diagFin(CalifR,'A',GrApR,'I',GrInR),ACT), % salvează
    write("\tRegim ",CalifR), % afișează
    write(". Alarma !").
```

Calculul indicatorului global fuzzy pentru tensiunile în noduri este realizat cu ajutorul regulilor diagnozaU și diagnozaRegimU. Prima dintre ele declanșează calculul prin căutarea listei „tensiunilor neconforme” care este apoi continuat cu cea de-a doua regulă care calculează gradele de apartenență la mulțimile fuzzy definite.

```
diagnozaU:-
    date_gen(Nrnod,_,_,_,_),!, % caută numărul de noduri
    % determină lista indicatorilor locali pentru U
    cautaTens([],[],_,ListaInd,1,NrNod),!,
    diagnozaRegimU(ListaInd). % calc indicatorul global pentru tensiuni
```

```
diagnozaRegimU(_):- % modulul pentru regim inadmisibil
    % caută daca exista tensiuni în afara benzilor admisibile
    existaUInadm,!,
    write("\tRegim INADMISIBIL. Alarma !\n"),
    assert(diagU("INADMISIBIL",'A',0,'I',1),ACT), % salvează
% întrebare pentru afișarea tensiunilor neconforme
    intreaba(R,"tensiunilor"),
    afisare(R,'U'),!. % afișare
```

```
diagnozaRegimU(ListaInd):- % modulul pentru regim admisibil
    existaUAdm,!, % daca exista tensiuni cu calificativul admisibil
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil
    calcGradMax(ListaInd,[],GrIn),
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
    calcGradMin(ListaInd,[],GrAp),!,
    write("\tRegim ADMISIBIL"), % afișare
    write("\t 'O': ",GrAp),
    write("\t 'A': ",GrIn),
    assert(diagU("ADMISIBIL",'O',GrAp,'A',GrIn),ACT). % salvare
```

```
diagnozaRegimU(ListaInd):- % modulul pentru regim optim
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
    calcGradMax(ListaInd,[],GrAp),
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil
    calcGradMin(ListaInd,[],GrIn),
    GrAP>=0.5,!,
    write("\tRegim OPTIM "), % afișare
    write("\t 'O': ",GrAp),
    write("\t 'A': ",GrIn),
    assert(diagU("OPTIM ','O',GrAp,'A',GrIn),ACT). % salvare
```

Următoarele reguli calculează indicatorul global pentru puterile active generate în noduri. Modul de calcul este asemănător cu ce precedent realizat pentru tensiunile nodurilor.

```
diagnozaP:- % calculează indicatorul global pentru puteri active generate
    nr_nod_genP(NrNodGen),!,
    % determină lista indicatorilor locali pentru Pg
    cautaPg([],[],_,ListaInd,0,NrNodGen),
    diagnozaRegimP(ListaInd). % calculează gradele de apartenență
```

```

diagnozaRegimP(_):-      % modulul pentru regim inadmisibil
    existaPInadm,!,      % caută daca există puteri în afara limitelor
    write("\tRegim INADMISIBIL. Alarma !"),          % afișare
    assert(diagP("INADMISIBIL",'A',0,'I',1),ACT),    % salvare
    % întreabă pentru afișarea puterile neconforme
    intreaba(R,"puterilor active generate"),
    afisare(R,'P'),!.    % afișare

diagnozaRegimP(ListaInd):-      % modulul pentru regimul admisibil
    existaPAdm,!, % caută daca exista puteri cu calificativ admisibil
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
    calcGradMinP(ListaInd,[],GrAp),
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil
    calcGradMaxP(ListaInd,[],GrIn),!,
    write("\tRegim ADMISIBIL"), % afișare
    write("\t 'O': ",GrAp),
    write("\t 'A': ",GrIn),
    assert(diagP("ADMISIBIL",'O',GrAp,'A',GrIn),ACT). % salvare

diagnozaRegimP(ListaInd):-      % modulul pentru regim optim
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil
    calcGradMinP(ListaInd,[],GrAp),
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
    calcGradMaxP(ListaInd,[],GrIN),
    GrAP>=0.5,!,
    write("\tRegim OPTIM "), % afișare
    write("\t 'O': ",GrAp),
    write("\t 'A': ",GrIn),
    assert(diagP("OPTIM ','O',GrAp,'A',GrIn),ACT). % salvare

```

Modul de calcul al indicatorului global pentru puterile reactive este identic cu cel pentru calculul indicatorului global pentru puterile active și de aceea nu este necesar prezentarea regulilor care-l implementează.

În continuare sunt prezentate regulile de implementare a calculului indicatorului global pentru circulațiile pe LEA. Pentru circulațiile pe laturile tip TRAF0 calculul este asemănător.

```

diagnozaLEA:- % calculează indicatorul global pentru circulațiile pe LEA
    nr_LEA(NrLEA),NrLEA>0,!,
    % determină lista indicatorilor locali pentru LEA
    cautaLEA([],[],_,ListaInd,0,NrLEA),
    diagnozaRegimLEA(ListaInd). % calculează gradele de apartenență

diagnozaRegimLEA(_):-      % modulul pentru regim inadmisibil
    % caută daca exista circulații pe LEA peste limita admisibilă
    existaLEAInadm,!,
    write("\tRegim INADMISIBIL. Alarma !"),          % afișare
    assert(diagLEA("INADMISIBIL",'A',0,'I',1),ACT). % salvare

diagnozaRegimLEA(ListaInd):-      % modulul pentru regim admisibil
    % caută daca există circulații pe LEA cu calificativul admisibil
    existaLEAAdm,!,
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
    calcGradMinP(ListaInd,[],GrAp),
    % calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil

```

```

calcGradMaxP(ListaInd, [], GrIn), !, -----
write("\tRegim ADMISIBIL"), % afișare
write("\t 'O': ", GrAp),
write("\t 'A': ", GrIn),
assert(diagLEA("ADMISIBIL", 'O', GrAp, 'A', GrIn), ACT). % salvare

```

```

diagnozaRegimLEA(ListaInd):- % modulul pentru regim optim
% calculează gradul de apartenență la mulțimea admisibil
calcGradMinP(ListaInd, [], GrAp),
% calculează gradul de apartenență la mulțimea optim
calcGradMaxP(ListaInd, [], GrIn),
GrAP>=0.5, !,
write("\tRegim OPTIM "), % afișare
write("\t 'O': ", GrAp),
write("\t 'A': ", GrIn),
assert(diagLEA("OPTIM", 'O', GrAp, 'A', GrIn), ACT). % salvare

```

Regula de mai jos servește la determinarea măsurilor de reparare a valorilor tensiunilor în noduri. Regula generală optimizareU este apelată la opțiunea de meniu „Optimizare U”. Regulile care determină mulțimea minimală a reguletoarelor de tensiune care trebuie acționate detMHS, generează și testează au fost prezentate în capitolul 3.

```

optimizareU:-
data_fis(_), % date au fost încărcate ?
abateriU(NU), NU>=0.005, !, % abaterile tensiunilor sunt mari ?
% șterge din baza de date listele de la optimizarea precedentă
stergeOptimU,
% determină regimul de bază cel mai apropiat de cel curent și
identifică lista reguletoarelor de tensiune corespunzătoare
proportie_cons(Prop),
regim(Prop, ListaReg),
numarUDef(0, Nr, []), !, % determină numărul tensiunilor neconforme
% determină numărul reguletoare corespunzătoare regimului
nr_reg(ListaReg, [], 0, LReg),
cautaRegU(ListaReg), % salvează din lista tuturor reguletoarelor
listele de reguletoare care corespund
fiecărei tensiuni neconforme
cautaUReg(LReg, [], LNrU), % determina din lista tuturor reguletoarelor
lista cu numărul de tensiuni neconforme
pentru fiecare regulator
sorteaza(LReg, LNrU, LRegS, LNrUS), % sortează descrescător lista tuturor
reguletoarelor în funcție de numărul de tensiuni
neconforme pentru fiecare regulator
% elimină reguletoarele care nu reglează nici o tensiune
elimina(LRegS, LNrUS, [], LRegF),
% inversează noua listă a reguletoarelor
invers(LRegF, [], LRegFin),
assert(lista_reg(LRegFin), ACT), % salvează noua lista reguletoarelor
afiseazaLR, % afișează
% determină reguletoarele care reglează în mod unic una
dintre tensiunile neconforme formând lista Start-LStart
singulare(Nr, [], LStart),
% șterge din lista reguletoarelor lista LStart
stergeL(LRegFin, LStart, LRegFinCut),
assert(lista_reg_cut(LRegFinCut)), % salvează

```

```

detMHS(Nr,LStart,ListaR),!, % determina MHS
write("Multimea TINTA a Regulatoroarelora"), % afişare a MHS
afisLRegFin(ListaR),!,
rafinare(ListaR,[],ListaRF), % prelucrează lista determinată
invers(ListaRF,[],ListaRFF), % inversează lista
assert(lista_reg_fin(ListaR)), % salvare
afisLRegFin(ListaRFF),!, % afişare
det_actiuni(ListaR), % determină acţiunile de reglaj
afiseazaActU. % afişează acţiunile de reglaj

optimizareU:- % modul pentru cazul în care nu au fost încărcate datele
not(data_fis(_)),!,
nl,write(" Nu s-au încărcat datele si cunoştinţele ! "),
apasa.

optimizareU:- % modul pentru cazul în care regimul este deja optimizat
abateriU(NU),NU<0.005,!,
nl,write(" Regim optim ! Indicator abateri= ",NU),
apasa.

```

Regula rafinare elimină din lista de regulatoare de tensiune, determinată în urma diagnozei, perechile de regulatoare noduri limitrofe laturii (auto)transformator care au aceeaşi acţiune de corecţie a tensiunii.

În cazul în care pentru nodurile limitrofe ale unei laturi (auto)transformator, tensiunile corespunzătoare au fost determinate ca „tensiuni neconforme” şi acţiunile de corecţie sunt identice, atunci nodul regulator de pe partea de mai joasă tensiune se elimină din lista reguletoarelor determinată în urma diagnozei. Reglajul tensiunii pentru nivelul de mai joasă tensiune se va face cu ajutorul regulatorului determinat pentru reglajul tensiunii nodului de pe partea de mai înaltă tensiune, prezent deja în lista de regulatoare determinată, păstrând raportul de transformare constant.

Dacă pentru acelaşi caz al laturii autotransformator, acţiunile de corecţie determinate sunt diferite atunci regulatorul de pe partea de mai joasă tensiune rămâne în listă dar va fi necesară o a doua etapă de reglaj a tensiunii.

Dacă în urma reglajului tensiunii, la efectuarea unei noi etape de diagnoză încă se mai identifică „tensiuni neconforme”, acestea se vor corecta printr-un nou set de măsuri de reglaj.

```

rafinare([Reg1|LReg],Aux,ListaF):- % elimina din LReg regulatoarele pentru
care acţiunile identice de reglaj se suprapun ca zonă de influenţă
existaTR(Reg1,Reg2,_,_), % caută o latură trafo cu nodurile Reg1
Reg2 unde Reg2 nu este nod generator
tensiune(_,Reg1, U1, Uopt1, _),% identifică tensiunea curentă şi cea
optimă pentru nodul Reg1
actiuneaU(Reg1,U1,Uopt1,Act1,_), % determină acţiunea de corecţie
necesară
tensiune(I,Reg2, U2, Uopt2, _),% identifică tens. curentă neconformă
şi cea optimă pentru nodul Reg1
I<>0, % tensiunea din nodul Reg2 este neconformă
actiuneaU(Reg2,U2,Uopt2,Act2,_), % determină acţiunea de corecţie
% necesară
Act1=Act2,!, % testează dacă acţiunile sunt identice
AuxN=Aux, % nodul Reg1 este eliminat din lista LReg
rafinare(LReg,AuxN,ListaF).% continuă verificarea pe lista LReg

```

```
rafinare([Reg|LReg],Aux,ListaF):- % regulatorul Reg din lista nu este
    eliminat ci este inclus in noua lista AuxN
    AuxN=[Reg|Aux],
    rafinare(LReg,AuxN,ListaF).
```

Pentru determinarea acțiunilor de reparare a regimului din punctul de vedere al puterilor active generate s-a construit regula optimizareP. În acest caz fiecare „putere activă generată neconformă” este de fapt un regulator de putere activă și trebuie ajustat astfel încât valoarea curentă puterii să fie cât mai aproape de valoarea cvasi-optimă corespunzătoare. Optimizarea se reduce de fapt la determinarea corecțiilor pentru puterile active generate.

```
optimizareP:- % determină corecțiile pentru valorile puterilor
    active generate
    data_fis(_),
    abateriPg(NP),NP>=0.1, % abaterile indică un regim neoptim
    % șterge acțiunile de la optimizarea anterioară
    retractall(actiuneP(_,_,_,_),ACT),!,
    actiuniP, % determină acțiunile de corecție
    afiseazaActP. % afișează acțiunile de corecție
```

```
optimizareP:- % modul pentru cazul în care nu s-au încărcat datele
    not(data_fis(_)),!,
    nl,write(" Nu s-au incarcat datele si cunostintele ! "),
    apasa.
```

```
optimizareP:- % modul pentru cazul în care regimul este deja optimizat
    abateriPg(NP),NP<0.5,!,
    nl,write(" Regim optim ! Indicator abateri = ",NP),
    apasa.
```

Capitolul 7

APLICAREA SSDES LA DIAGNOZA REGIMURILOR PERMANENTE ALE SISTEMELOR TEST CU 25 ȘI 50 DE NODURI

Acest capitol are un dublu scop: validarea SSDES și diagnoza unor regimuri normale ale sistemului test cu 50 de noduri și 69 de laturi, sistem propus la Catedra de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică Timișoara [C23] (Anexa 4).

Pentru validarea metodei de diagnoză propuse, implementată în sistemul expert SSDES, se utilizează 11 regimuri normale optimizate ale sistemului test cu 25 de noduri și 29 de laturi. În figura 7.1 este prezentată schema monofilară a sistemului, iar în Anexa 2 sunt date datele laturilor și nodurilor sale împreună cu regimurile de bază.

Pe baza curbei zilnice de sarcină a puterilor clasate a sistemului test cu 25 de noduri (figura 7.2), au fost stabilite 11 regimuri caracteristice, diferite prin puterea totală consumată, care acoperă gama posibilă a regimurilor permanente normale. Apoi, aceste regimuri s-au optimizat după criteriul cheltuielilor totale orare minime, cu ajutorul a două programe specializate existente la Catedra de Electroenergetică: Optim și Power World 8.0. Regimurile optimizate sunt prezentate în subcapitolul 7.1.1. iar concluziile rezultate în urma diagnozei în subcapitolul 7.1.2. Validarea confirmă faptul că rezultatele SSDES sunt în concordanță cu starea de fapt de regimuri optimizate.

În a doua parte a acestui capitol, s-a realizat diagnoza pentru două regimuri normale oarecare ale unui sistem de dimensiuni mai mari și anume sistemul test cu 50 de noduri. Au fost alese două regimuri, oarecare, mult diferite între ele: unul cu sarcină ridicată și altul cu sarcină scăzută.

Pentru efectuarea diagnozei regimurilor normale ale sistemului test cu 50 de noduri, trebuie mai întâi stabilite regimurile de bază și apoi zonele de control a reguletoarelor de tensiune.

Cu ajutorul metodei bazată pe conceptul de „cale reactivă” prezentată în capitolul 5, s-au identificat zonele de control ale reguletoarelor de tensiune din sistem, care au servit la stabilirea măsurilor de îmbunătățire a regimurilor. Rezultatele sunt prezentate în subcapitolul 7.2.1.

În urma diagnozei cu SSDES s-a constatat faptul că regimurile în cauză nu sunt optime și s-a reușit îmbunătățirea lor prin măsurile adoptate ele ajungând în zona regimurilor cvasi-optime. Rezultatele analizelor efectuate sunt prezentate în subcapitolul 7.2, ele permițând desprinderea unor concluzii foarte utile referitoare la posibilitățile actuale ale SSDES și a unor îmbunătățiri de viitor.

7.1. Diagnoza regimurilor optimizate pentru sistemul test cu 25 de noduri

7.1.1. Prezentarea regimurilor optimizate

Aplicarea metodei de validare a SD presupune următoarele două condiții:

- utilizarea unor regimuri ale căror caracteristici să fie cunoscute în prealabil astfel încât, cu ajutorul SSDES, în caz de succes a validării, să rezulte tocmai concluziile așteptate;
- regimurile folosite ca test al validării să fie cât mai diverse pentru a acoperii cât mai bine gama regimurilor ce pot apare.

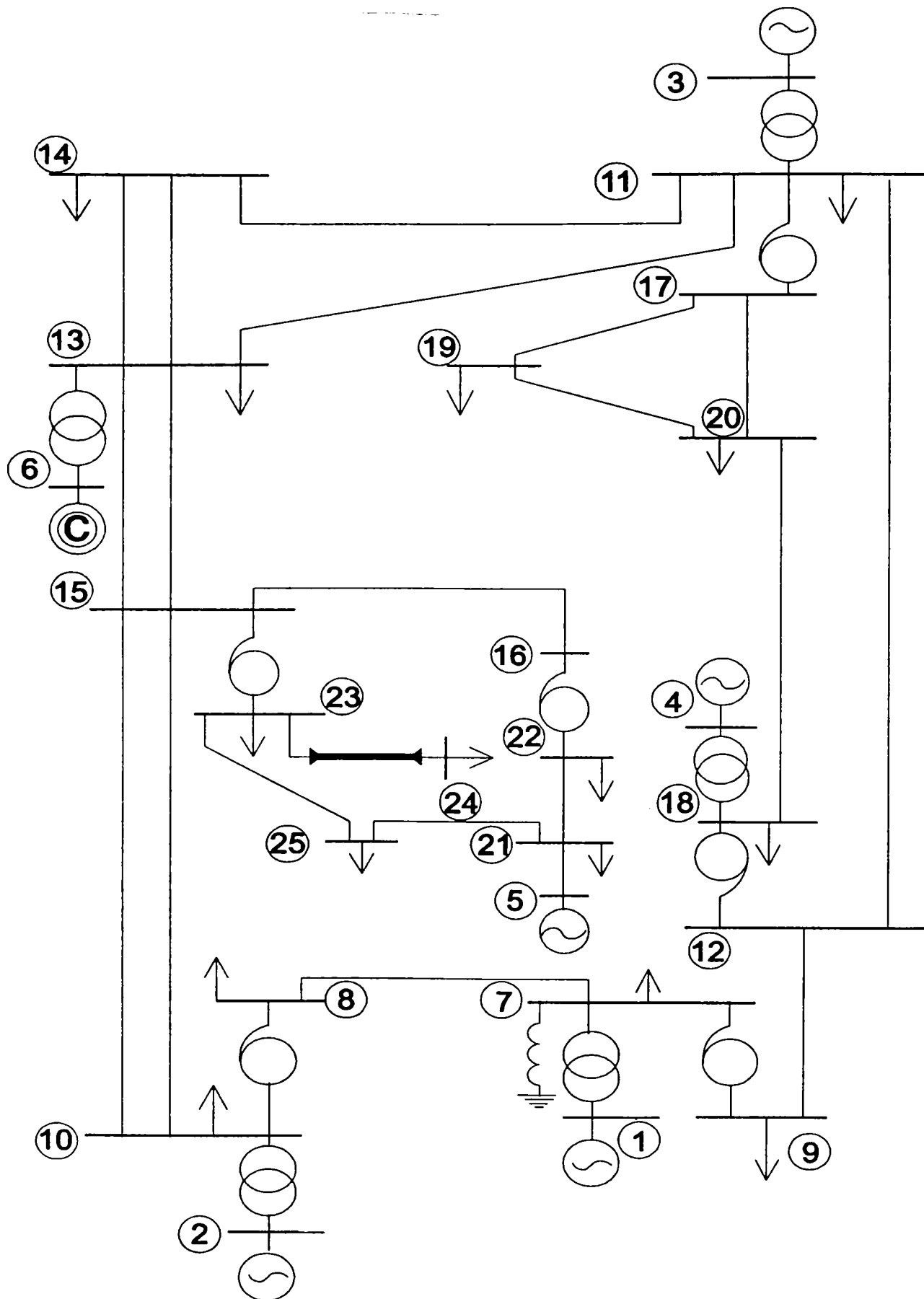


Figura 7.1. Schema monofilară pentru sistemul test cu 25 de noduri

Având în vedere cele de mai sus a fost considerată curba zilnică a sarcinii totale clasate (figura 7.2.). Ea a fost împărțită în 10 intervale suficient de apropiate ca valoare rezultând 11 regimuri considerate a fi relevante pentru curba de sarcină zilnică a sistemului test cu 25 de noduri.

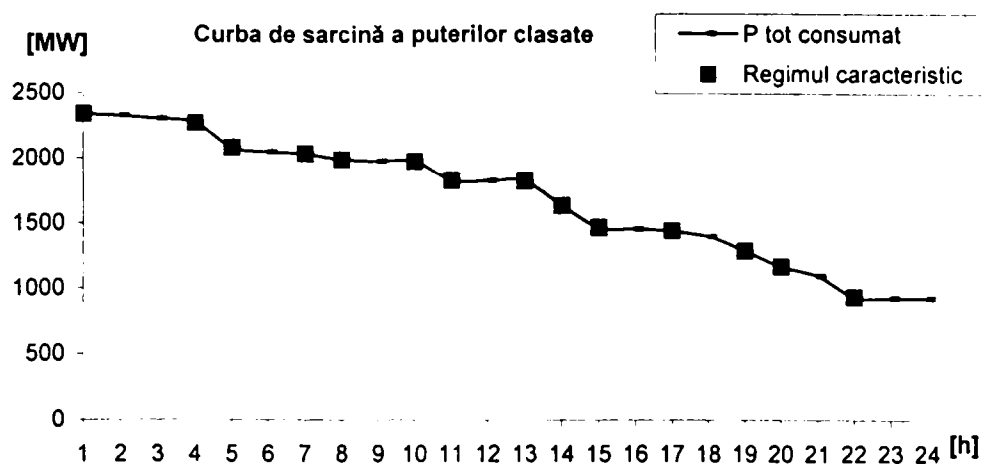


Figura 7.2. Curba zilnică de sarcină a puterilor clasate și sarcinile totale pentru cele 11 regimuri optimizate și regimurile de bază

Sarcina totală a unui regim se compune din valorile puterilor pentru consumatorii individuali în conformitate cu curbele lor zilnice de sarcină. Pentru aceste date inițiale, cu programul de calcul a circulației de puteri – CNW – au fost stabilite toate datele corespunzătoare regimurilor considerate.

În final, regimurile în discuție au fost optimizate cu programele Optim și Power World 8.0 obținându-se regimurile test folosite la validarea SSDES.

Cele trei regimuri de bază folosite de SSDES pentru efectuarea diagnozei au fost stabilite în subcapitolul 4.2.

Tabelul 7.1. Regimurile optimizate pentru sistemul test cu 25 de noduri

Regimul (fișierul)	Numărul de ordine	Sarcina totală		Sarcina activă totală raportată la regimul H [%]	Cost total orar [\$/h]
		P [MW]	Q [MVar]		
T25H.DBA	1	2341	811	100	42755.97
T25B.DBA	2	2296	796.9	98	42011.4
T25A.DBA	3	2083.8	700.5	89	38891.21
T25S.DBA	4	2036.8	805.4	87	38411.95
T25HM.DBA	5	1989.8	689.3	85	36451.56
T25C.DBA	6	1977.5	718	84	36322.12
T25X.DBA	7	1832.4	636.6	78	35670.34
T25R.DBA	8	1826	635.7	78	35413.2
T25M.DBA	9	1638.7	567.7	70	33289.08
T25N.DBA	10	1471	574	63	28787.17
T25Y.DBA	11	1444.8	563	62	28769.39
T25ML.DBA	12	1287	447.2	55	25161.19
T25P.DBA	13	1169	427	50	22015.88
T25L.DBA	14	936.4	324.4	40	17400.94

În tabelul 7.1 sunt date consumurile totale de putere activă și reactivă, pentru cele 11 regimuri optimizate, în valori absolute și în valori procentuale, raportate la regimul de bază maxim. Pentru compararea facilă a tuturor regimurilor folosite la validare, în tabelul 7.1 au fost incluse și regimurile de bază ale sistemului test cu 25 de noduri. De asemenea, sunt precizate valorile cheltuielilor totale orare. Numărul de ordine al regimurilor este utilizat la reprezentările grafice de mai jos.

În figurile 7.3 și 7.4 sunt reprezentate valorile puterilor active, respectiv reactive, ale consumatorilor echivalenți, reprezentați la nivelele de 220 kV și 400 kV, pentru sistemul test cu 25 de noduri. Pe abscisă este precizat regimul după numărul de ordine din tabelul 7.1 iar pe

ordonată valorile puterilor în MW respectiv MVar. Consumatorii echivalenți sunt identificați prin numărul nodului (vezi figura 7.1.).

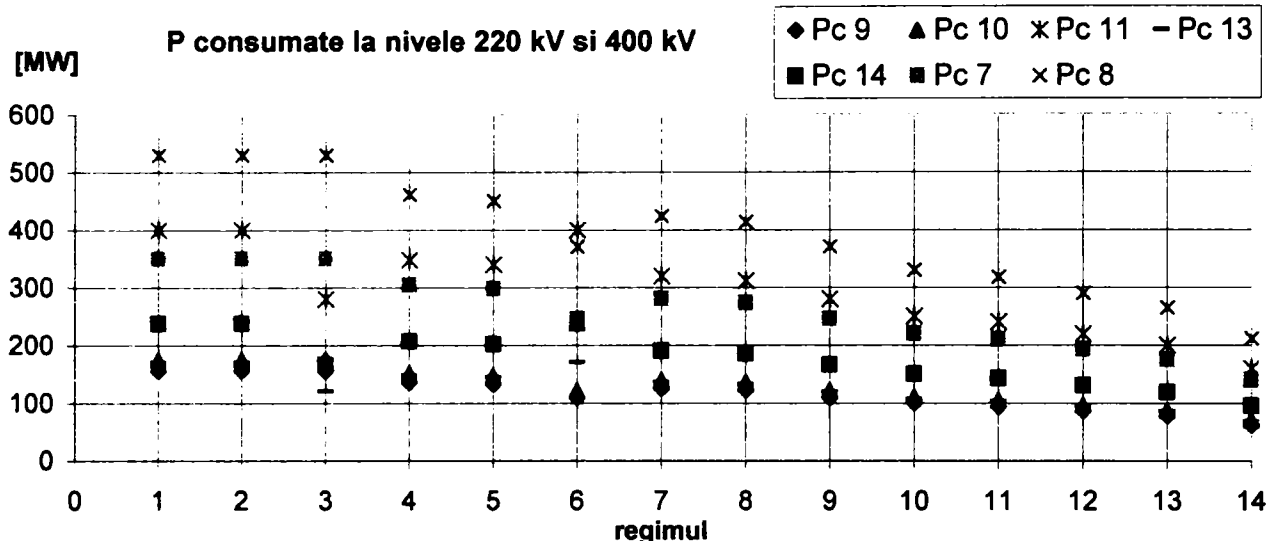


Figura 7.3. Valorile puterilor active consumate în nodurile de la nivelele de 200 kV și 400 kV

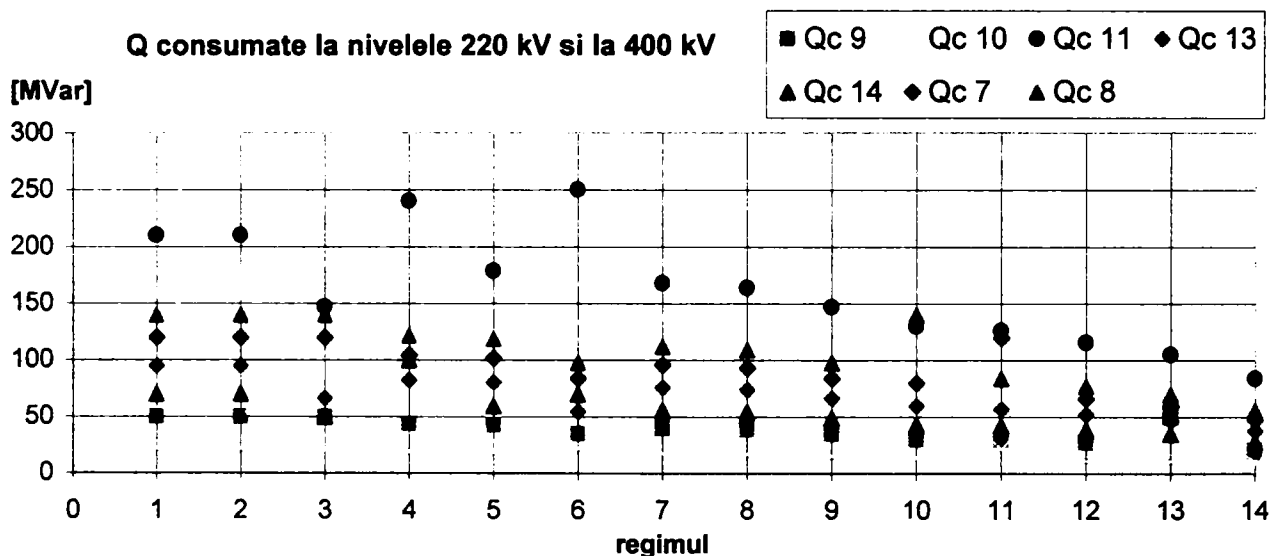


Figura 7.4. Valorile puterilor reactive consumate în nodurile de la nivelele de 200 kV și 400 kV

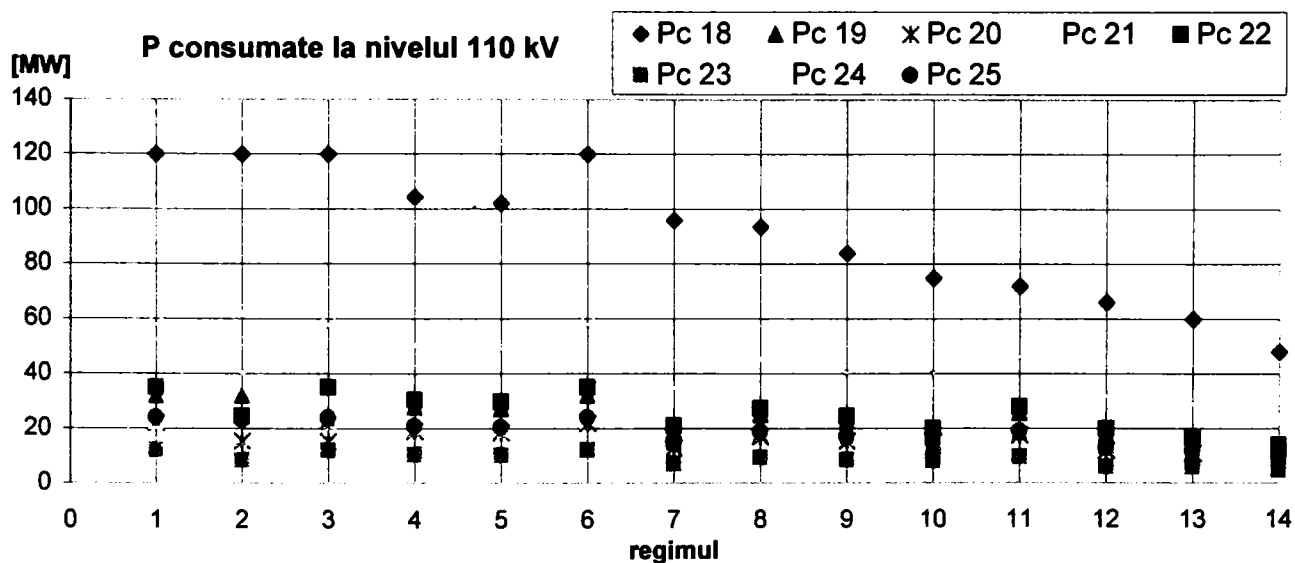


Figura 7.5. Valorile puterilor active consumate în nodurile de la nivelul de 110 kV

În figurile 7.5 și 7.6 sunt prezentați în același mod consumatorii echivalenți reprezentați la nivelul de 110 kV.

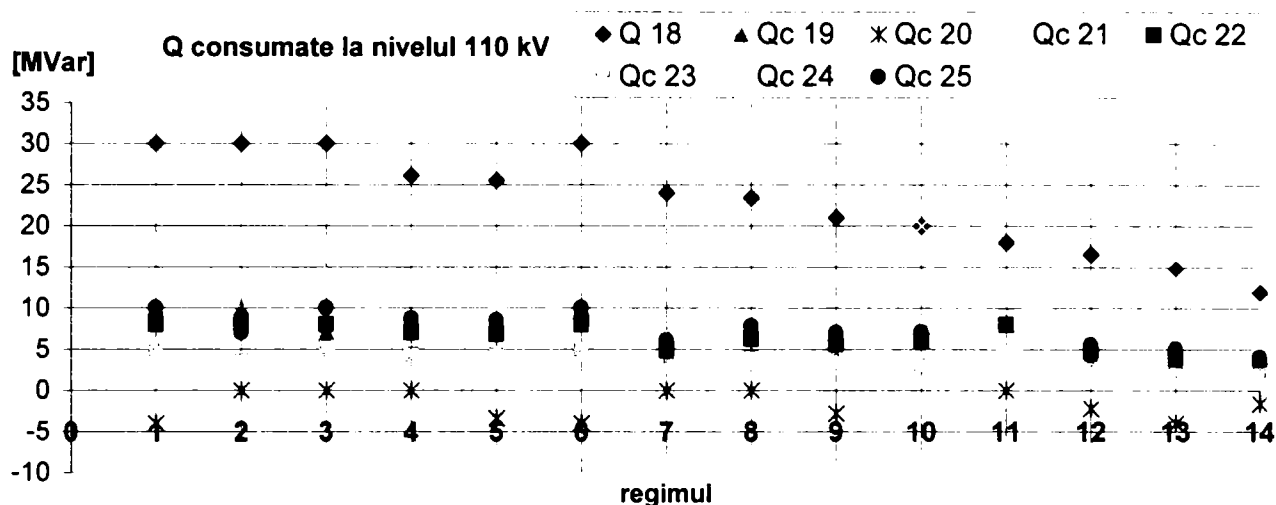


Figura 7.6. Valorile puterilor active consumate în nodurile de la nivelul de 110 kV

Comparația valorilor puterilor consumatorilor individuali în cele 14 regimuri considerate poate fi observată în figurile 7.3 la 7.6. Din figuri se poate constata că valorile puterilor consumatorilor individuali nu au o variație similară deoarece curbele lor zilnice de sarcină sunt diferite ca formă.

7.1.2 Rezultatele diagnozei regimurilor optimizate obținută cu SSDES

Indicatorii fuzzy locali ai mărimilor electrice urmărite în diagnoză, calculați cu SSDES, sunt prezentați în tabelul 7.2. Pentru fiecare regim și pentru fiecare mărime electrică este dat numărul mărimilor electrice pe grupe de calificative.

Tabelul 7.2 Numărul de mărimi electrice pe grupe de calificative pentru regimurile analizate.

Regimul	Calificative tensiuni	Calificative puteri active	Calificative Puteri reactive	Calificative circulații LEA	Calificative circulații TRAF0
T25A.DBA	toate optim	toate optim	4 optim 2 favorabil inf.	1 optim 17 admisibil inf.	10 optim 1 admisibil inf.
T25B.DBA	toate optim	toate optim	Toate optim	4 optim 14 admisibil inf.	9 optim 2 admisibil inf.
T25C.DBA	toate optim	toate optim	Toate optim	3 optim 15 admisibil inf.	9 optim 2 admisibil inf.
T25HM.DBA	toate optim	toate optim	Toate optim	2 optim 16 admisibil inf.	9 optim 2 admisibil inf.
T25ML.DBA	toate optim	toate optim	4 optim 2 favorabil inf.	17 admisibil inf.	6 optim 5 admisibil inf.
T25N.DBA	toate optim	toate optim	toate optim	17 admisibil inf.	7 optim 4 admisibil inf.
T25P.DBA	toate optim	toate optim	5 optim 1 favorabil inf.	17 admisibil inf.	6 optim 5 admisibil inf.
T25R.DBA	toate optim	toate optim	toate optim	1 optim 17 admisibil inf.	9 optim 2 admisibil inf.
T25S.DBA	toate optim	toate optim	toate optim	2 optim 16 admisibil inf.	9 optim 2 admisibil inf.
T25X.DBA	toate optim	toate optim	toate optim	17 admisibil inf.	8 optim 3 admisibil inf.
T25Y.DBA	toate optim	toate optim	5 optim 1 favorabil inf.	17 admisibil inf.	7 optim 4 admisibil inf.

După cum se poate observa din tabelul 7.2, conform așteptărilor, pentru toate regimurile folosite la validare, calificativele rezultate pentru toate tensiunile din noduri și pentru toate puterile active generate au fost optime. Bineînțeles, după cum este logic, regimul în ansamblu este apreciat ca fiind optim. Pentru puterile reactive generate au rezultat calificative fie optime fie favorabile, ceea ce în conformitate cu definiția indicatorilor globali, conduce de asemenea la calificativul optim pentru regim. Calificativele optim sau favorabil acordate circulațiilor pe laturile sistemului, determină și ele, conform regulilor din capitolul 4, calificativul optim pentru regim deși nu toate laturile sunt încărcate la valoarea optimă a puterii pe care sunt capabile să o transporte. Acest rezultat validează corectitudinea definirii termenului de regim optim, optimul global nu este suma optimelor individuale. Calificativele indicatorilor pentru regimuri, împreună cu ceilalți indicatori globali, se pot observa în tabelul 7.3b.

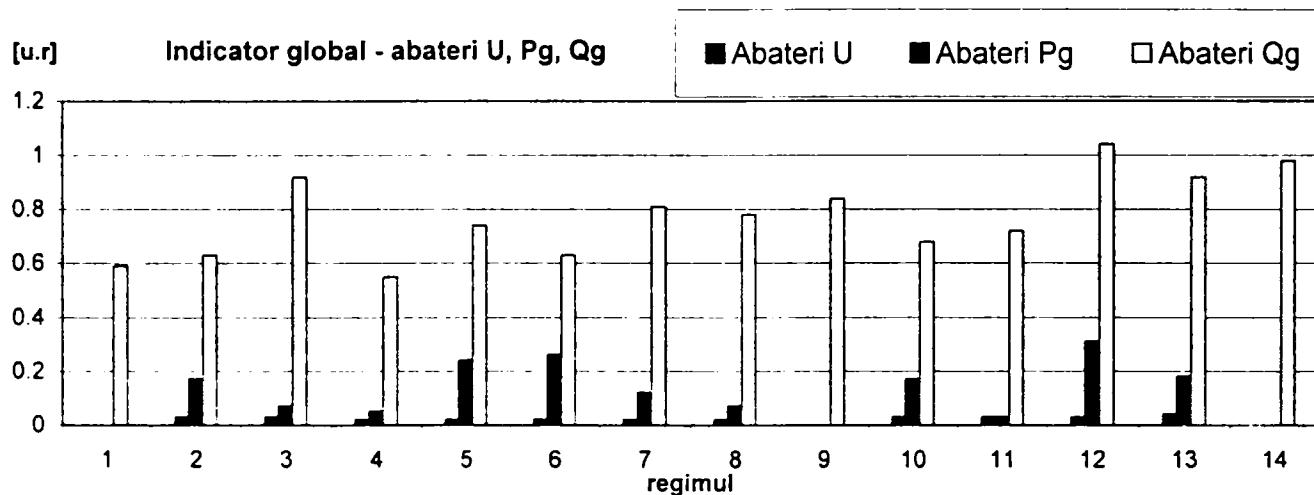


Figura 7.7. Valorile indicatorilor globali abateri pentru tensiune, putere activă și reactivă generată

În figura 7.7 sunt reprezentate valorile indicatorilor globali – abateri față de regimul cvasi-optim – pentru tensiuni, puteri active generate și puteri reactive generate. Ca urmare, se pot face următoarele observații:

- indicatorul global abateri tensiuni are valori foarte aproape de zero ceea ce indică faptul că tensiunile în noduri, sunt foarte apropiate de valorile cvasi-optimale calculate de SSDES pentru fiecare regim optimizat în parte;
- indicatorul global abateri puteri active are de asemenea valori mici, cu alte cuvinte valorile optime ale puterilor active generate sunt foarte apropiate de valorile cvasi-optimale calculate de SSDES; există totuși câteva regimuri (5, 6 și 12) cu valori ale abaterilor peste valoarea 0.2 pentru indicatorul global abateri puteri active generate, poate fi considerată ca limită maximă acceptabilă; valori superioare pragului 0.2 pentru acest indicator, denotă faptul că grupurile generatoare din sistem au puterile nominale apropiate și ca urmare pentru o reglare mai bună a puterilor generate și deci obținerea unor valori mai mici ale acestui indicator, ar fi necesară existența unor valori mult mai diferite între puterile nominale ale grupurilor instalate;
- indicatorul global abateri puteri reactive generate, deși are valori mai ridicate decât indicatorul global abateri puteri active, totuși ele se încadrează în limite rezonabile deoarece sunt suficient de apropiate de valorile corespunzătoare regimurilor de bază (regimurile 1, 9 și 14); indicatorul în discuție este o măsură a faptului dacă factorul de putere real la bornele generatoarelor sincrone este apropiat de cel nominal; diferențele între factorii de putere reali și cei nominali se datorează, în principal, de politica de reglare a puterii reactive în sistem și de nivelul investițiilor în sursele de putere reactivă din sistem.

La diagnoza cu SSDES, indicatorii fuzzy globali calculați pentru tensiuni și pentru puteri active generate, în cazul tuturor regimurilor optimizate, au numai calificativul optim, în concordanță cu lipsa mărimilor electrice „neconforme” (tensiuni și puteri active generate), conducând în final la concluzia că regimurile analizate sunt optime.

Tabelul 7.3a. Valorile gradelor de apartenență și calificativele indicatorilor globali pentru regimurile optimizate

Regimul	Tensiuni		Calificativ	Puteri active		Calificativ	Puteri reactive		Calificativ
	,O'	,A'		,O'	,A'		,O'	,A'	
T25A.DBA	0.52	0.48	Optim	0.71	0.29	Optim	0.6	0.4	Optim
T25B.DBA	0.56	0.44	Optim	0.91	0.09	Optim	0.7	0.3	Optim
T25C.DBA	0.58	0.42	Optim	0.72	0.28	Optim	0.62	0.38	Optim
T25HM.DBA	0.51	0.49	Optim	0.74	0.26	Optim	0.6	0.4	Optim
T25ML.DBA	0.51	0.49	Optim	0.56	0.44	Optim	0.57	0.43	Optim
T25N.DBA	0.6	0.4	Optim	0.89	0.11	Optim	0.51	0.49	Optim
T25P.DBA	0.51	0.49	Optim	0.54	0.46	Optim	0.56	0.44	Optim
T25R.DBA	0.61	0.39	Optim	0.65	0.35	Optim	0.52	0.48	Optim
T25S.DBA	0.59	0.41	Optim	0.91	0.09	Optim	0.6	0.4	Optim
T25X.DBA	0.66	0.34	Optim	0.81	0.19	Optim	0.51	0.49	Optim
T25Y.DBA	0.54	0.46	Optim	0.97	0.03	Optim	0.51	0.49	Optim

,O' – optim; ,A' – admisibil

Tabelul 7.3b. Valorile gradelor de apartenență și calificativele indicatorilor globali pentru regimurile optimizate

Regimul	Circulații LEA		Calificativ	Circulații TRAFU		Calificativ	REGIM		Calificativ
	,O'	,F'		,O'	,F'		,O'	,A'	
T25A.DBA	0.35	0.65	Optim	0.42	0.58	Optim	0.52	0.48	Optim
T25B.DBA	0.36	0.64	Optim	0.29	0.71	Optim	0.56	0.44	Optim
T25C.DBA	0.28	0.72	Optim	0.42	0.58	Optim	0.58	0.42	Optim
T25HM.DBA	0.27	0.73	Optim	0.33	0.67	Optim	0.51	0.49	Optim
T25ML.DBA	0.25	0.75	Optim	0.18	0.82	Optim	0.51	0.49	Optim
T25N.DBA	0.16	0.84	Optim	0.2	0.8	Optim	0.51	0.49	Optim
T25P.DBA	0.15	0.85	Optim	0.14	0.86	Optim	0.51	0.49	Optim
T25R.DBA	0.17	0.83	Optim	0.31	0.69	Optim	0.52	0.48	Optim
T25S.DBA	0.18	0.82	Optim	0.34	0.66	Optim	0.59	0.41	Optim
T25X.DBA	0.16	0.84	Optim	0.19	0.81	Optim	0.51	0.49	Optim
T25Y.DBA	0.16	0.84	Optim	0.32	0.68	Optim	0.51	0.49	Optim

,O' – optim; ,A' – admisibil

În etapa finală de diagnoză s-au obținut rezultatele prezentate în tabelele 7.3a și 7.3b. Sunt afișate valorile gradelor de apartenență ale indicatorilor globali fuzzy pentru tensiuni, puteri active și reactive generate, circulații pe laturile tip linie electrică și tip (auto)transformator precum și calificativele corespunzătoare. De asemenea sunt prezentate și valorile gradelor de apartenență ale indicatorilor globali de regim și calificativele corespunzătoare fiecărui regim.

După cum se poate observa în tabelul 7.3b, toate cele 11 regimuri optimizate au obținut calificativul de regim optim dar cu diferite grade de apartenență la mulțimea fuzzy OPTIM definită conform celor prezentate în capitolul 4. Reamintim faptul că pentru indicatorul global al regimului, calificativul optim se obține doar dacă indicatorii globali pentru tensiuni, puteri active și reactive generate au calificativul optim iar pentru circulațiile pe laturi calificativul obținut trebuie să fie optim sau favorabil (conform subcapitolului 4.7).

Valorile gradelor de apartenență la mulțimile valorilor optime, acordate indicatorilor globali, sunt apropiate de valoarea minimă adică valoarea 0.5. Aceasta indică faptul că regimul optimizat, care este un regim „real” (calculat cu programul de circulație de puteri CNW și optimizat cu programele OPTIM și Power World) nu se suprapune în totalitate peste regimul cvasi-optim stabilit cu ajutorul regimurilor de bază. Acest lucru este de așteptat deoarece

regimul cvasi-optim nu este un regim „real” ci doar o colecție de valori apropiate de regimul optim corespunzător. Metoda de diagnoză dezvoltată face compromisul între simplitate și rapiditate pe de o parte și exactitate pe de altă parte.

Pentru circulațiile pe laturile sistemului, unele calificative acordate diferă de cel optim deoarece valorile curente ale circulațiilor de puteri, în cazul sistemului test cu 25 de noduri, sunt mult inferioare limitelor maxime ale elementelor constitutive ale sistemului sau valorilor de încărcare optimă a fiecărui element în parte. Această situație provine din caracteristicile constructive ale sistemului analizat.

În concluzie, diagnoza realizată pentru cele 11 regimuri optimizate, regimuri diferite care acoperă întreaga plajă de valori a sarcinii totale dintre regimul de bază *H* și regimul de bază *L*, conduce la o rată foarte bună (100%) de detecție a regimurilor apropiate de optim.

7.1.3 Rezultatele diagnozei regimurilor inițiale, neoptimizate, obținută cu SSDES

În paragraful de mai sus s-a constatat că pentru SSDES, rata de detecție a regimurilor optimizate este foarte bună (tinde spre 100 %). În continuare ne propunem ca folosind cele 11 regimuri inițiale neoptimizate să apreciem dacă cumva vreunul din ele este detectat în mod eronat ca regim optim. Pentru aceasta au fost analizate cu SSDES regimurile inițiale, rezultând datele din tabelul 7.4, 7.5a și 7.5b. Indicatorii globali abateri sunt prezentați în figura 7.8.

Tabelul 7.4. Numărul de mărimi electrice pe grupe de calificative pentru regimurile neoptimizate.

Regimul	Calificative Tensiuni	Calificative puteri active	Calificative Puteri reactive	Calificative circulații LEA	Calificative circulații TRAFO
T25A.DBA	4 favorabil sup. 15 admisibil sup. 6 optim	2 optim 2 admisibil sup. 1 admisibil inf.	1 optim 2 favorabil inf. 3 admisibil inf.	17 optim 1 favorabil	8 optim 3 favorabil
T25B.DBA	8 favorabil sup. 14 favorabil inf. 3 optim	1 optim 2 admisibil sup. 2 admisibil inf.	2 favorabil inf. 4 admisibil inf.	14 optim 4 favorabil	9 optim 2 favorabil
T25C.DBA	1 favorabil sup. 12 admisibil sup. 2 optim 10 favorabil inf.	2 optim 1 admisibil sup. 2 admisibil inf.	3 favorabil inf. 3 admisibil inf.	15 optim 3 favorabil	9 optim 2 favorabil
T25HM.DBA	7 favorabil sup. 9 admisibil sup. 9 optim	2 optim 1 admisibil sup. 2 admisibil inf.	1 optim 2 favorabil inf. 3 admisibil inf.	16 optim 2 favorabil	9 optim 2 favorabil
T25ML.DBA	2 favorabil sup. 7 admisibil sup. 4 optim 12 admisibil inf.	2 optim 2 admisibil sup. 1 admisibil inf.	1 optim 2 favorabil inf. 3 admisibil inf.	12 optim 6 favorabil	6 optim 5 favorabil
T25N.DBA	5 favorabil sup. 15 admisibil sup. 5 optim	2 admisibil sup. 3 admisibil inf.	1 optim 3 favorabil inf. 2 admisibil inf.	13 optim 5 favorabil	7 optim 4 favorabil
T25P.DBA	4 favorabil inf. 15 admisibil inf. 6 optim	1 optim 2 admisibil sup. 1 admisibil inf.	2 optim 3 favorabil inf. 1 admisibil inf.	12 optim 6 favorabil	6 optim 5 favorabil
T25R.DBA	9 favorabil inf. 3 admisibil sup. 3 optim 10 favorabil inf.	2 optim 1 admisibil sup. 2 admisibil inf.	1 optim 3 favorabil inf. 2 admisibil inf.	16 optim 2 favorabil	9 optim 2 favorabil
T25S.DBA	6 favorabil sup. 15 admisibil sup. 4 optim	2 admisibil sup. 3 admisibil inf.	1 optim 4 favorabil inf. 1 admisibil inf.	15 optim 3 favorabil	9 optim 2 favorabil
T25X.DBA	4 favorabil sup. 5 admisibil sup. 16 favorabil inf.	1 optim 2 admisibil sup. 2 admisibil inf.	2 optim 3 favorabil inf. 1 admisibil inf.	16 optim 2 favorabil	8 optim 3 favorabil
T25Y.DBA	12 favorabil inf. 5 admisibil inf. 8 optim	1 optim 2 admisibil sup. 2 admisibil inf.	2 optim 3 favorabil inf. 1 admisibil inf.	14 optim 4 favorabil	7 optim 4 favorabil

Tabelul 7.5a. Valorile gradelor de apartenență și calificativele indicatorilor globali pentru regimurile neoptimizate

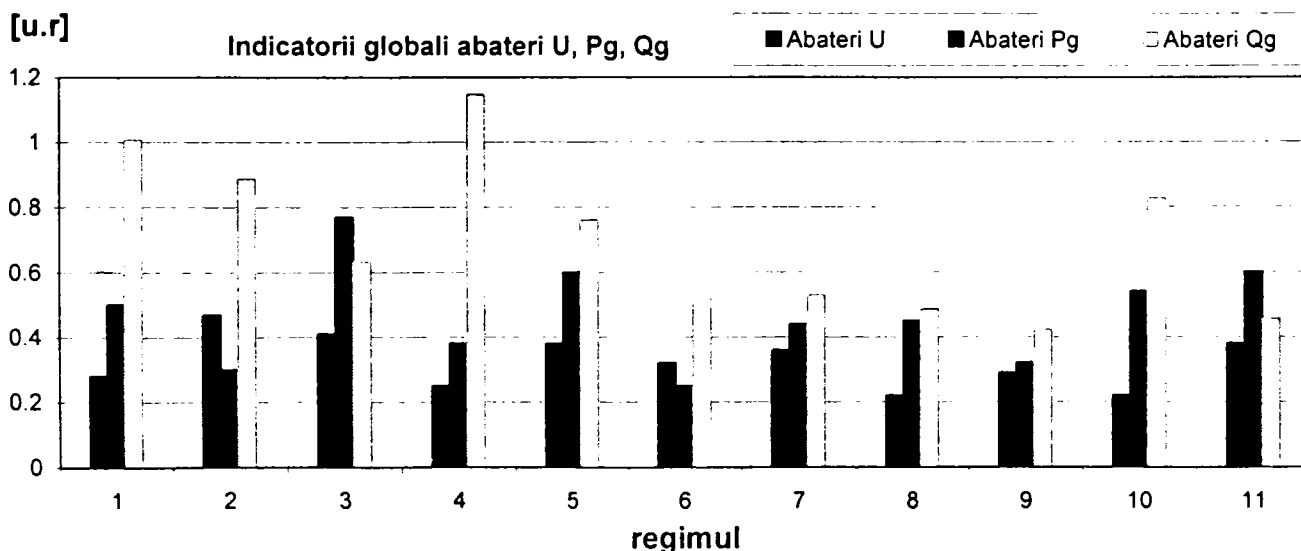
Regimul	Tensiuni		Calificativ	Puteri active		Calificativ	Puteri reactive		Calificativ
	,O'	,A'		,O'	,A'		,O'	,A'	
T25A.DBA	0.48	0.52	Admisibil	0.29	0.71	Admisibil	0.4	0.6	Admisibil
T25B.DBA	0.44	0.56	Admisibil	0.09	0.91	Admisibil	0.3	0.7	Admisibil
T25C.DBA	0.42	0.58	Admisibil	0.28	0.72	Admisibil	0.38	0.62	Admisibil
T25HM.DBA	0.49	0.51	Admisibil	0.26	0.74	Admisibil	0.4	0.6	Admisibil
T25ML.DBA	0.49	0.51	Admisibil	0.44	0.56	Admisibil	0.43	0.57	Admisibil
T25N.DBA	0.4	0.6	Admisibil	0.11	0.89	Admisibil	0.49	0.51	Admisibil
T25P.DBA	0.49	0.51	Admisibil	0.46	0.54	Admisibil	0.44	0.56	Admisibil
T25R.DBA	0.39	0.61	Admisibil	0.35	0.65	Admisibil	0.48	0.52	Admisibil
T25S.DBA	0.41	0.59	Admisibil	0.09	0.91	Admisibil	0.4	0.6	Admisibil
T25X.DBA	0.34	0.66	Admisibil	0.19	0.81	Admisibil	0.49	0.51	Admisibil
T25Y.DBA	0.46	0.54	Admisibil	0.03	0.97	Admisibil	0.49	0.51	Admisibil

,O' – optim; ,A' – admisibil

Tabelul 7.5b. Valorile gradelor de apartenență și calificativele indicatorilor globali pentru regimurile neoptimizate

Regimul	Circulații LEA		Calificativ	Circulații TRAFU		Calificativ	REGIM		Calificativ
	,O'	,A'		,O'	,A'		,O'	,A'	
T25A.DBA	0.95	0.05	Optim	0.58	0.42	Optim	0.48	0.52	Admisibil
T25B.DBA	0.94	0.06	Optim	0.71	0.29	Optim	0.44	0.56	Admisibil
T25C.DBA	0.92	0.08	Optim	0.58	0.42	Optim	0.42	0.58	Admisibil
T25HM.DBA	0.93	0.07	Optim	0.67	0.33	Optim	0.49	0.51	Admisibil
T25ML.DBA	0.95	0.05	Optim	0.82	0.18	Optim	0.49	0.51	Admisibil
T25N.DBA	0.94	0.06	Optim	0.8	0.2	Optim	0.49	0.51	Admisibil
T25P.DBA	0.95	0.05	Optim	0.86	0.14	Optim	0.49	0.51	Admisibil
T25R.DBA	0.93	0.07	Optim	0.69	0.31	Optim	0.48	0.52	Admisibil
T25S.DBA	0.92	0.08	Optim	0.66	0.34	Optim	0.41	0.59	Admisibil
T25X.DBA	0.94	0.06	Optim	0.81	0.19	Optim	0.49	0.51	Admisibil
T25Y.DBA	0.94	0.06	Optim	0.68	0.32	Optim	0.49	0.51	Admisibil

,O' – optim; ,A' – admisibil


Figura 7.8. Valorile indicatorilor globali abateri pentru tensiune, putere activă și reactivă generată

După cum se poate observa din tabelele de mai sus, există tensiuni, puteri active generate și puteri reactive generate care au primit calificativul admisibil. Aceasta conduce la calificativul admisibil pentru indicatorii globali fuzzy corespunzători.

Pentru circulațiile pe laturi nu există depășiri ale limitelor deci, în cel mai rău caz, acestea primesc calificativul favorabil ceea ce înseamnă regim optim.

În final, pentru regim se obține calificativul admisibil adică „Regim de atenție !”, ceea ce este în conformitate cu realitatea.

Analiza valorilor indicatorilor globali abateri, arată valori între 0.2 și 0.5 la tensiune, între 0.2 și 0.8 la putere activă generată și între 0.4 și 1.2 la putere reactivă generată adică valori mari ceea ce confirmă încă odată caracterul de regimuri neoptimizate.

În concluzie, diagnoza realizată pentru cele 11 regimuri neoptimizate, conduce la o rată foarte bună (100%) de detecție a regimurilor îndepărtate de optim.

7.2. Diagnoza regimurilor normale ale sistemului test cu 50 de noduri

7.2.1. Stabilirea regimurilor de bază și a zonelor de reglaj a tensiunii

Pentru realizarea diagnozei regimurilor permanente ale sistemului test cu 50 de noduri prezentat în Anexa 4, trebuie stabilite cele trei regimuri de bază și zonele de control ale reguletoarelor de tensiune.

La fel ca și în cazul sistemului test cu 25 de noduri (subcapitolul 4.2.1), în funcție de curba zilnică de sarcină a sistemului, se stabilesc trei regimuri reprezentative care apoi se optimizează după criteriul cheltuielilor totale orare minime. În acest caz curba de sarcină prezintă vârful de sarcină la valoarea de 5368 MW și golul de sarcină la valoarea de 3222 MW (figura 7.9). Ca urmare, regimurile corespunzătoare vârfului de sarcină și golului de sarcină vor fi două dintre regimurile de bază: *H* și respectiv *L*. Regimul median – *M* –, cu valoarea de consum de 4291 MW, va fi cel de-al treilea regim de bază. În tabelul 7.6 sunt prezentate valorile consumului de putere activă și reactivă, proporția față de regimul *H* și costul total orar pentru cele trei regimuri de bază, după optimizarea lor conform criteriului cheltuielilor totale orare minime. Regimurile de bază sunt prezentate detaliat în Anexa 4.

Tabelul 7.6. Valorile costurilor orare și puterilor activă și reactivă totale consumate pentru cele trei regimuri de bază ale sistemului test cu 50 de noduri.

Regimul de bază			Total putere consumată		Puterea activă raportată față de regimul H [%]	Cost total orar [\$/h]
Sarcină	Simbol	Fișier	P [MW]	Q [MVar]		
Maximă	H	T50HOPT.CNW	5368	1919	100	116972.1
Medie	M	T50MOPT.CNW	4291	1532	80	89541.2
Minimă	L	T50LOPT.CNW	3222	1156	60	69533.1

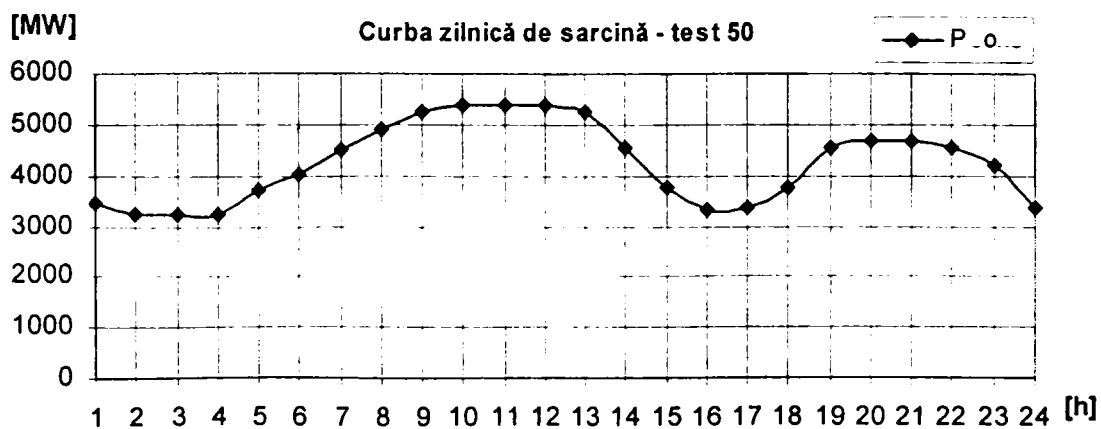


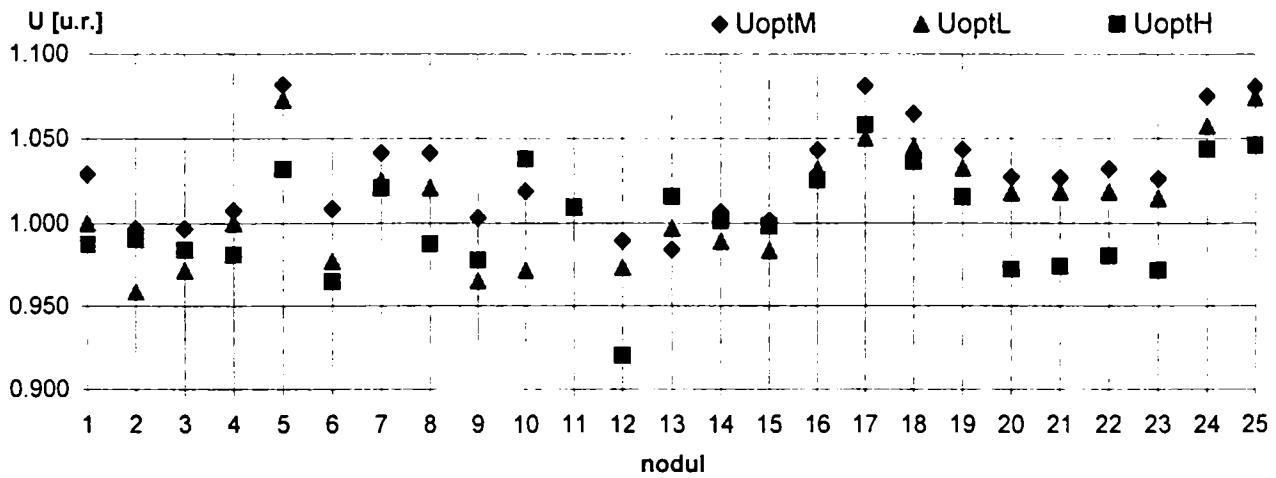
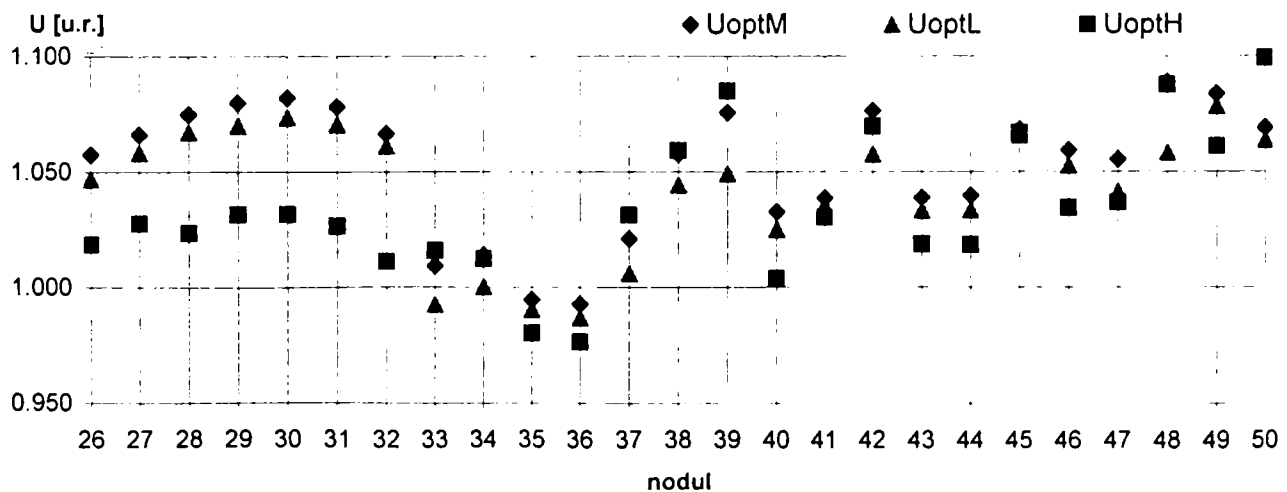
Figura 7.9. Curba zilnică de sarcină pentru sistemul test 50

Tabel 7.7. Costurile orare de producere a energiei active pentru centralele electrice din sistemul test 50

Nod generator	Cost [\$/MWh]	Tipul centralei	Putere activă instalată [MW]	Nod generator	Cost [\$/MWh]	Tipul centralei	Putere activă instalată [MW]
1	25	CNE	990	8	30	CTE	600
2	8	CHE	1050	9	10	CHE	400
3	30	CTE	1200	10	20	CTE	300
4	40	CTE	50	11	30	CTE	200
5	6	CHE	20	13	20	CTE	600
7	25	CNE	1300				

În tabelul 7.7 sunt prezentate nodurile generatoare ale sistemului test cu 50 de noduri împreună cu tipul centralei, puterea activă instalată și prețul de cost al energiei active.

În figurile 7.10a și 7.10b sunt prezentate comparativ tensiunile în unități relative, în nodurile sistemului, pentru cele trei regimuri de bază. Se poate observa o mai mare diversitate a valorilor tensiunilor între regimuri, decât în cazul regimurilor de bază sistemului test 25. În general se respectă regula că încărcările mai mari conduc la tensiuni mai scăzute la nodurile consumatoare. Abaterile de la această regulă se datorează unor particularități constructive ale sistemului considerat legate de încărcarea scăzută a liniilor de ÎT și FÎT care conduce la o compensare puternică a puterilor reactive ale consumatorilor și faptului că complexitatea sistemului conduce la o scădere a predictibilității comportării sale.


Figura 7.10a. Valorile optime ale tensiunilor din nodurile sistemului test 50 pentru cele trei regimuri de bază: H, M și L – nodurile 1 la 25

Figura 7.10b. Valorile optime ale tensiunilor din nodurile sistemului test 50 pentru cele trei regimuri de bază: H, M și L – nodurile 26 la 50

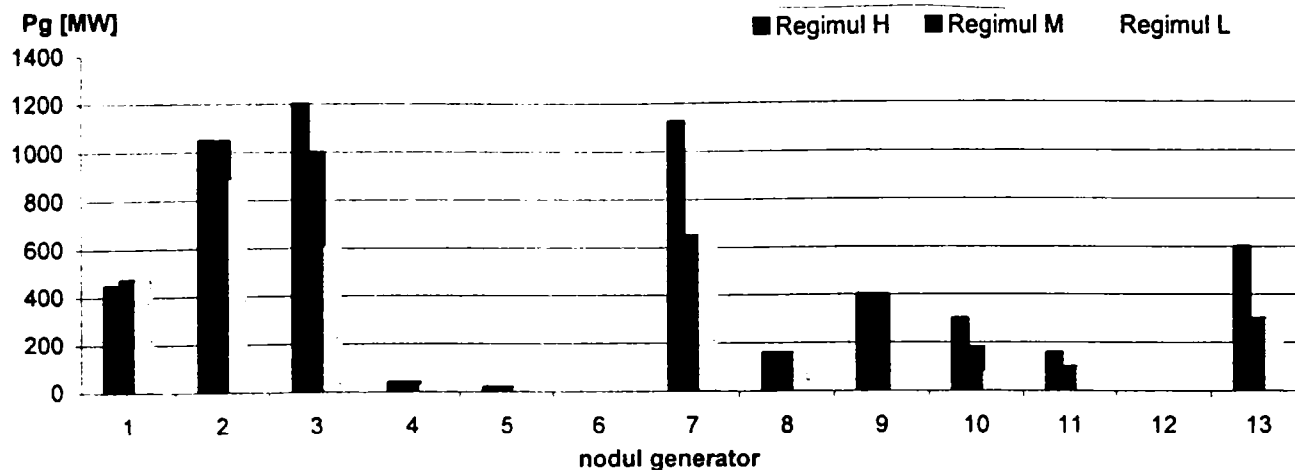


Figura 7.11. Valorile optime ale puterilor active generate în nodurile sistemului test 50 pentru cele trei regimuri de bază

În figura 7.11 sunt prezentate puterile active generate în nodurile generatoare ale sistemului, pentru regimurile de bază. După cum se poate constata din Anexa 4, nodul 1 este nod de echilibrare iar nodurile 6 și 12 sunt noduri compensatoare de putere reactivă.

Tabelul 7.8. Nodurile reglatoare de tensiune din sistemul test 50

Nodurile reglatoare de tensiune													Tipul regulatorului			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Nod generator			
15	16	17	24	25	29	30	33	34	36	41	42	43	49	50	Nod limitrof latură autotransformator	

Tabelul 7.9. Zonele de reglaj ale reglatoarelor de tensiune pentru sistemului test 50

Regulator	Regimul de bază H	Regimul de bază M	Regimul de bază L
1	14 15 35 36	14 15 35 36	14 15 35 36 34
2	17 22 23	17 22 23	17 22 23 20
3	18 21 20 40 41	18 21 20 40 41 19	18 21 20 40 41 19
4	25	25	25
5	28 29 32	28 29 32	28 29 32 30
6	20	20	20
7	15 34 35 36 37	15 34 35 36 37	15 34 35 36 37 34
8	42 43 44	42 43 44	42 43 44
9	39 38	39 38	39 38
10	47 48	47 48	47 48
11	45	45	45
12	46	46 47	46 47
13	50	41 50	41 50
15	14 37	14 37	14 37
16	19	44 19	44 19
17	22 23	22 23	22 23 20
24	26 27	26 27	26 27 25
25	27	27	27
29	28	28 32	28 32
30	31 32	31 32	31 32 28
33	34 35	34 35	34 35
34	33 35	33 35	33 35
36	35	35	35
41	40	40	40
42	44 43	44 43	44 43
43	-	-	-
49	-	-	-
50	41	41	41

Pentru determinarea zonelor de influență, sau de control, a nodurilor reglatoare de tensiune, am aplicat aceeași metodă ca și în cazul sistemului test cu 25 de noduri adică „metoda căilor reactive”. Nodurile reglatoare de tensiune și tipul lor sunt prezentate în tabelul 7.8. Zonele au fost determinate pentru valorile 0.01 pentru factor de suficiență α și 0.1 pentru factor de influență β și sunt prezentate în tabelul 7.9.

7.2.2 Calculul diagnozei pentru sistemul test cu 50 de noduri – regim cu sarcină ridicată

Pentru sistemul test cu 50 de noduri se consideră un regim permanent oarecare, cu sarcină totală de valoare ridicată, preluat în fișierul T50HM0.CNW de la programul de circulație de puteri CNW. Datele regimului, tensiuni și puteri injectate în noduri sunt date în Anexa 5a.

Aplicarea SSDES produce următoarele rezultate.

Etapa I-a

Indicatorii globali calculați de SSDES, pentru regimul inițial, sunt prezentați în tabelul 7.10.

Tabelul 7.10. Indicatorii globali ai regimului înainte de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni în noduri	Admisibil=0 Inadmisibil=1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !
Puteri active generate	Optim=0.31 Admisibil=0.69	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri reactive generate	Optim=0.45 Admisibil =0.55	Admisibil	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.21 Favorabil=0.79	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAF0	Optim=0.48 Favorabil=0.52	Optim	Regim Optim
REGIM	Admisibil=0 Inadmisibil=1	Inadmisibil	Regim de Alarmă !

Cheltuielile globale orare: 105612.08 \$/h

După cum se observă în urma analizei cu SSDES, regimul considerat este un regim de alarmă. Acest fapt se datorează existenței unor tensiuni ieșite din bandă, puterile active și reactive mult diferite de valorile optime, adică înseamnă prezența unor „mărimilor electrice neconforme” care se detectează prin calificativele indicatorilor fuzzy locali ai acestora. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.11 și 7.12.

Tabelul 7.11. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	1 7, 10, 14, 39, 50 3, 8, 18, 24, 33 42 48	Admisibil inferior Favorabil inferior Favorabil superior Admisibil superior Depășire limită superioară	1
Puteri active	3 7,8,11	Admisibil inferior Admisibil superior	2.6
Puteri reactive	1 5, 7, 9, 10,13	Admisibil inferior Favorabil inferior	2.55

Tabelul 7.12. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	25 laturi tip LEA	Favorabil	3.81
Puteri aparente	8 laturi tip TRAF0	Favorabil	2.24

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru tensiunile în noduri și mulțimii de diagnoză pentru puterile active generate rezultă:

- mulțimile țintă a reguletoarelor de tensiune și putere activă;
- valorile de reglaj pentru tensiuni și puteri active;
- numărul de ploturi necesare a fi modificate pentru laturile transformator.

Aceste rezultate sunt prezentate în tabelele 7.13 și 7.14.

Tabelul 7.13. Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	1	3	7	8	9	10	34	50
Valoare [kV]	+0,7	-0,4	+0,75	-0,65	-0,15	+0,05	-1,53	+0,94
Număr ploturi	-	-	-	-	-	-	0	0

Tabelul 7.14. Nodurile reguletoare de putere activă generată și valorile reglajelor.

Regulatorul	2	3	4	5	7	8	9	11	13
Valoare [MW]	+150	+450,7	+4	+2	-250,8	-240	+20	-49,8	-28,9

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare descrise în tabelele 7.13 și 7.14, se obține regimul după prima etapă de diagnoză. Indicatorii globali determinați cu SSDES după efectuarea reglajelor necesare, sunt prezentați în tabelul 7.15.

Tabelul 7.15. Indicatorii globali ai regimului după prima etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.49 Admisibil=0.51	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.46 Admisibil =0.54	Optim	Regim de Optim
Circulații pe LEA	Optim=0.11 Favorabil =0.89	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAF0	Optim=0.49 Favorabil =0.51	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.46 Admisibil=0.54	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 103288.61 \$/h

După cum se poate observa cheltuielile totale orare au scăzut cu 2323,47 \$/h adică procentual au scăzut cu 2,25 %, calificativele pentru mărimile electrice urmărite fiind în cel mai rău caz admisibile. Încă mai este necesară repetarea diagnozei până la obținerea calificativului optim pentru regim.

Etapa a II-a

După prima etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.16 și 7.17.

Tabelul 7.16. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	39 15,37,42,48,49	Favorabil inferior Favorabil superior	0.04
Puteri active	-	-	0.01
Puteri reactive	1,5,9,13	Favorabil inferior	2.18

Tabelul 7.17. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	27 laturi tip LEA	Favorabil	3.94
Puteri aparente	7 laturi tip TRAFU	Favorabil	2,14

La determinarea măsurilor de reglaj pentru puterile active generate se afișează mesajul „Regim optim” deci nu mai sunt necesare alte reglaje așa după cum se poate observa și în tabelul 7.15. Pentru tensiunile din noduri însă au rezultat măsurile de reglare din tabelul 7.18.

Tabelul 7.18. Nodurile reglatoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	9	10	15	49
Valoare [kV]	+0,05	-0,05	-6,31	-0,8
Număr ploturi	-	-	1	1

În urma efectuării măsurilor de reglare pentru tensiuni (fișierul T50HM2.CNW) rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 7.19.

Tabelul 7.19. Indicatorii globali ai regimului după a doua etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.49 Admisibil=0.51	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.48 Admisibil =0.52	Optim	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.1 Favorabil =0.9	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFU	Optim=0.49 Favorabil =0.51	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.48 Admisibil=0.52	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 103291.03 \$/h

După cea de-a doua etapă de diagnoză cheltuielile au crescut cu aproape 2,42 \$/h valoare nesemnificativă în raport cu valoarea cheltuielilor totale orare.

După cum se observă și în tabelul 7.19, indicatorii globali pentru puteri active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi calificativele sunt optime. Pentru tensiunile în noduri încă mai există calificativul admisibil ceea ce conduce la calificativul admisibil pentru regim.

Datorită faptului că valorile gradelor de apartenență pentru indicatorul global fuzzy a tensiunilor nu s-a modificat în urma celei de-a doua etape de diagnoză, se poate trage concluzia că în cazul SEP mai complexe, SSDES nu este suficient de sensibil pentru regimuri apropiate de cel optim. O cauză este faptul că la stabilirea reglajelor se presupune că între zonele de control al tensiunii nu apar influențe ceea ce în realitate este valabil doar în primă aproximație.

Etapa a III-a

După a doua etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.20 și 7.21.

Tabelul 7.20. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	39 37,42, 48	Favorabil inferior Favorabil superior Admisibil superior	0.04
Puteri active	-	-	0.01
Puteri reactive	1,2,5,9,13	Favorabil inferior	2.16

Tabelul 7.21. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	27 laturi tip LEA	Favorabil	3,94
Puteri aparente	7 laturi tip TRAFU	Favorabil	2,14

La aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru tensiuni în noduri rezultă regulatele prezentate în tabelul 7.22 împreună cu valorile de reglaj.

Tabelul 7.22. Nodurile regulate de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	9	10	15
Valoare [kV]	+0,05	-0,05	-4,54
Număr ploturi	-	-	1

În urma efectuării măsurilor de reglare pentru tensiuni (fișierul T50HM3.CNW) rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 7.23.

Tabelul 7.23 Indicatorii globali ai regimului după a doua etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.51 Admisibil=0.49	Optim	Regim de Optim
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.64 Admisibil =0.36	Optim	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.09 Favorabil =0.91	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFU	Optim=0.49 Favorabil =0.51	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.51 Admisibil=0.49	Optim	Regim de Optim

Cheltuielile globale orare: 103300.19 \$/h

După cea de-a treia etapă de diagnoză, cheltuielile au crescut din nou cu 9.16 \$/h valoare de asemenea nesemnificativă în raport cu valoarea cheltuielilor totale orare.

După cum se observă în tabelul 7.23 indicatorii globali pentru tensiuni în noduri, puteri active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi calificativele sunt de asemenea optime. Calificativul regimului este optim iar diagnoza se poate încheia în acest punct.

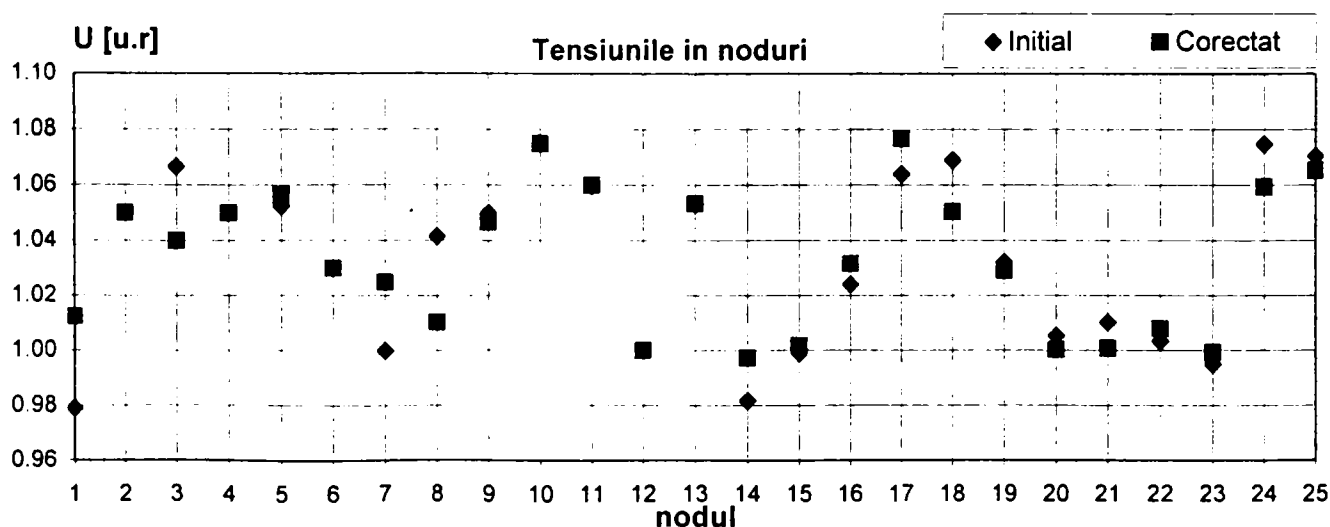


Figura 7.12a. Valorile tensiunilor nodurilor pentru regimul inițial și regimul după diagnoză – nodurile 1 la 25

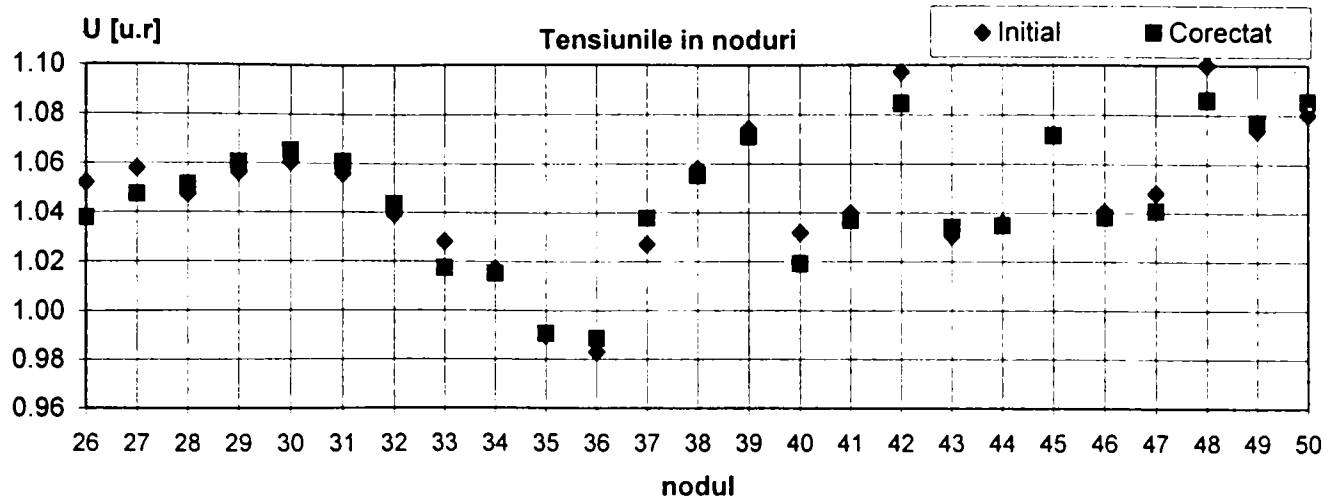


Figura 7.12b. Valorile tensiunilor nodurilor pentru regimul inițial și regimul după diagnoză – nodurile 26 la 50

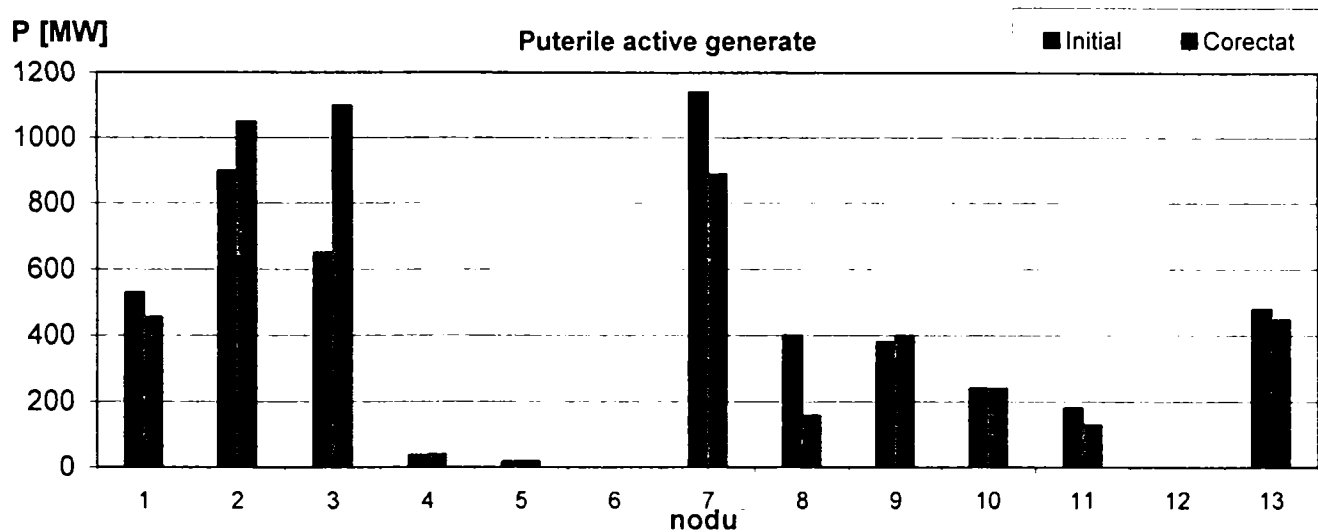


Figura 7.13. Valorile puterilor active generate în noduri pentru regimul inițial și regimul după diagnoză

Profilul tensiunilor înainte și după diagnoză este prezentată în figurile 7.12a și 7.12b. În figura 7.13 sunt date valorile puterilor generate înainte și după diagnoză.

În urma diagnozei cu SSDES, prin parcurgerea celor trei etape descrise mai sus, s-a obținut regimul considerat a fi optim. Este de remarcă faptul că în la o privire rapidă tensiunile în toate cele 4 regimuri analizate nu diferă foarte mult între ele. Totuși, regimurile sunt mult diferite – puteri generate, pierderi, circulație de puteri pe laturi și stabilitatea tensiunilor în noduri – fapt reflectat de indicatorii determinați de SSDES. Indicațiile furnizate de SSDES sunt foarte utile deoarece chiar și un specialist cu experiență în conducerea sistemului respectiv nu poate să se orienteze rapid și complet asupra măsurilor necesare de optimizare a regimurilor.

7.2.3. Calculul diagnozei pentru sistemul test cu 50 de noduri – regim cu sarcină scăzută

Pentru sistemul test cu 50 de noduri se mai consideră un regim oarecare dar cu o sarcină totală de valoare scăzută. Regimul este calculat cu programul de calcul a circulației de puteri CNW și salvat în fișierul T50ML0.CNW. Datele regimului, tensiuni în noduri și puteri consumate sunt date în Anexa 5b.

Efectuarea diagnozei cu ajutorul sistemului expert produce următoarele rezultate.

Etapa I-a

Indicatorii globali ai regimului inițial sunt prezentați în tabelul 7.24.

Tabelul 7.24. Indicatorii globali ai regimului înainte de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni în noduri	Optim=0.48 Admisibil=0,52	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=0.1 Admisibil=0.9	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri reactive generate	Optim=0.47 Admisibil =0.53	Admisibil	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.08 Favorabil =0.92	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFU	Optim=0.46 Favorabil =0.54	Optim	Regim Optim
REGIM	Optim=0,1 Admisibil =0,9	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 85587,34 \$/h

Situația indicatorilor diferită de cea optimă se datorează existenței unor „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.25 și 7.26.

Tabelul 7.25. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	4 1,3,5,6,7,9,10,13,16,19,20,21,22,23,25,26,27,28, 29,31,32,35,36,38,40,41,42,44,45,46,47,49 5,14,15,18,24,28,29,30,33,34,37,39,43,48,50	Favorabil inferior Favorabil superior Admisibil superior	0,21
Puteri active	7 3,9	Admisibil inferior Admisibil superior	2.32
Puteri reactive	2,4,8 3,5,7,9,11	Admisibil inferior Favorabil inferior	3,32

Tabelul 7.26. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	32 laturi tip LEA	Favorabil	4,39
Puteri aparente	11 laturi tip TRAFU	Favorabil	2.55

După aplicarea metodei de determinare a mulțimii minime de diagnoză pentru tensiunile în noduri și a mulțimii de diagnoză pentru puterile active generate rezultă:

- mulțimile reguletoarelor de tensiune și de putere activă,
- valorile de reglaj pentru tensiunile din nodurile compensatoare și pentru puterile active,
- numărul de ploturi necesare a fi modificate pentru laturile transformator.

Rezultatele sunt prezentate în tabelele 7.27 și 7.28.

Tabelul 7.27. Nodurile reguletoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regula_torul	1	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	30
Valoare [kV]	-1,65	-0,65	+0,2	-2,21	-0,17	-0,6	-0,4	-0,25	+0,1	-0,1	-0,4	-1,87
Număr ploturi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Tabelul 7.28. Nodurile reguletoare de putere activă generată și valorile reglajelor.

Regula_torul	1	2	3	4	7	8	9	10	11	13
Valoare [MW]	-146,5	+367,2	-298,4	+4,6	+350	-140	-148,4	-22,1	+10	+30

În urma efectuării tuturor măsurilor de reglare (fișierul T50ML1.CNW), rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 7.29.

Tabelul 7.29. Indicatorii globali ai regimului după prima etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.5 Admisibil=0.5	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=1 Admisibil=0	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0,41 Admisibil =0,59	Admisibil	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.16 Favorabil =0.84	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFO	Optim=0.49 Favorabil =0.51	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0,41 Admisibil =0,59	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 79592,73 \$/h

După cum se poate observa cheltuielile totale orare au scăzut cu 5994,61 \$/h adică procentual au scăzut cu 7,5 %, calificativele pentru mărimile electrice urmărite fiind în cel mai rău caz admisibile. Încă mai este necesară repetarea diagnozei pentru determinarea reglajelor care să conducă la obținerea calificativului optim pentru regim.

Etapa a II-a

După prima etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.30 și 7.31.

Tabelul 7.30. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	6 4,5,12,17,20,2,23,24,25,26, 27,28,29,30,31,32,46,49 43,45	Admisibil inferior Favorabil inferior Favorabil superior	0.17
Puteri active	-	-	0.0
Puteri reactive	4,5 1,2,7,8,9,10	Admisibil inferior Favorabil inferior	2.57

Tabelul 7.31. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	32 laturi tip LEA	Favorabil	4,33
Puteri aparente	12 laturi tip TRAFO	Favorabil	2,69

La determinarea măsurilor de reglaj pentru puterile active generate se afișează mesajul „Regim optim” deci nu mai sunt necesare alte reglaje așa după cum se poate observa și în tabelul 7.29 de mai sus. Pentru tensiunile în noduri însă au rezultat măsurile de reglare din tabelul 7.32.

Tabelul 7.32. Nodurile reglatoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	4	5	6	11	12	17	24	43	49
Valoare [kV]	+0,66	+4,31	+1,11	-0,1	+0,32	+4,06	+1,91	-3,88	+2,6
Număr ploturi	-	-	-	-	-	1	1	1	2

În urma efectuării măsurilor de reglare pentru tensiuni (fișierul T50HM2.CNW) rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 7.33.

Tabelul 7.33. Indicatorii globali ai regimului după a doua etapă de reglaj.

Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.5 Admisibil=0.5	Admisibil	Regim de Atenție !
Puteri active generate	Optim=0,99 Admisibil=0,01	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.46 Admisibil =0.54	Optim	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.2 Favorabil =0.8	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFO	Optim=0.43 Favorabil =0.57	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.46 Admisibil=0.54	Admisibil	Regim de Atenție !

Cheltuielile globale orare: 79581,18 \$/h

După cea de-a doua etapă de diagnoză cheltuielile au crescut cu 11,55 \$/h valoare de asemenea nesemnificativă în raport cu valoarea cheltuielilor totale orare.

După cum se observă și în tabelul 7.33 indicatorii globali pentru puterile active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi, calificativele sunt optime. Pentru tensiunile în noduri încă mai există calificativul admisibil ceea ce conduce la calificativul admisibil pentru regim.

Etapa a III-a

După a doua etapă de diagnoză încă mai există „mărimi electrice neconforme”. Acestea sunt prezentate în tabelele 7.34 și 7.35.

Tabelul 7.34. Mărimile electrice în noduri care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Nodul	Calificativ	Distanța globală
Tensiuni	17,30,31 27,45 4,25	Favorabil inferior Favorabil superior Admisibil superior	0.06
Puteri active	-	-	0.01
Puteri reactive	1,2,3,7,8,9,10 4,5	Favorabil inferior Favorabil superior	2.52

Tabelul 7.35. Mărimile electrice pe laturi care au calificative diferite de cel optim.

Mărime electrică	Laturi	Calificativ	Distanța globală
Curenți de fază	32 laturi tip LEA	Favorabil	4,32
Puteri aparente	12 laturi tip TRAFO	Favorabil	2,48

La aplicarea metodei de determinare a mulțimii minimale de diagnoză pentru tensiunile în noduri rezultă valorile de reglaj prezentate în tabelul 7.36.

Tabelul 7.36. Nodurile reglatoare de tensiune și valorile reglajelor.

Regulatorul	4	11	17	25	30
Valoare [kV]	-0,36	-0,1	+2,96	-1,93	+1,82
Număr ploturi	-	-	1	1	1

În urma efectuării măsurilor de reglare pentru tensiuni (fișierul T50LM3.CNW) rezultă indicatorii globali prezentați în tabelul 7.37.

Tabelul 7.37. Indicatorii globali ai regimului după a treia etapă de reglaj.

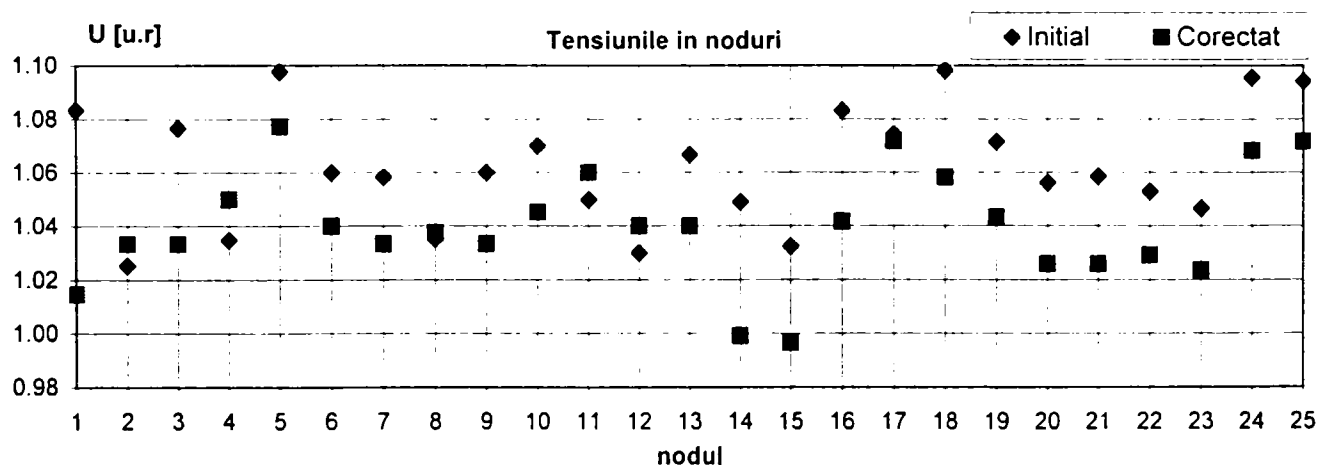
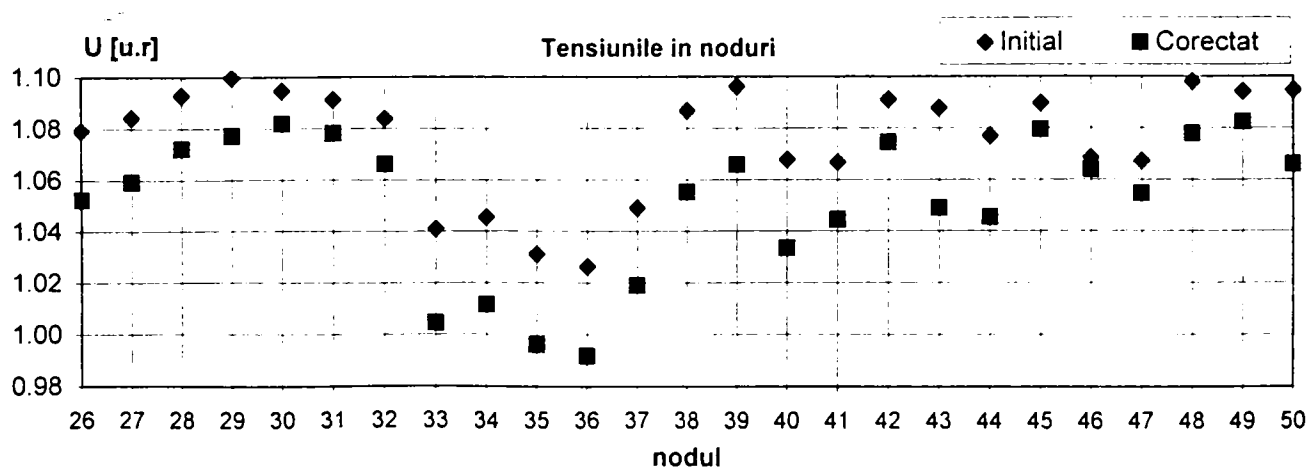
Indicator	Grade de apartenență	Calificativ	OBS
Tensiuni	Optim=0.55 Admisibil=0.45	Optim	Regim de Optim
Puteri active generate	Optim=0.99 Admisibil=0,01	Optim	Regim de Optim
Puteri reactive generate	Optim=0.55 Admisibil =0.45	Optim	Regim de Atenție !
Circulații pe LEA	Optim=0.2 Favorabil =0.8	Optim	Regim Optim
Circulații pe TRAFU	Optim=0.2 Favorabil =0.58	Optim	Regim Optim
Regim	Optim=0.55 Admisibil=0.45	Optim	Regim de Optim

Cheltuielile globale orare: 79564,09 \$/h

După cea de-a treia etapă de diagnoză cheltuielile au crescut din nou cu 17 \$/h valoare de asemenea mică în raport cu valoarea cheltuielilor totale orare.

Profilul tensiunilor înainte și după diagnoză este prezentat în figurile 7.14a și 7.14b. În figura 7.15 sunt prezentate valorile puterilor active generate înainte și după diagnoză.

După cum se observă și în tabelul 7.37, indicatorii globali pentru tensiuni în noduri, puteri active și reactive generate indică calificative optime. Pentru circulațiile pe laturi calificativele sunt de asemenea optime. Calificativul regimului este optim iar diagnoza se poate încheia aici.


Figura 7.14a. Valorile tensiunilor nodurilor pentru regimul inițial și de după diagnoză – nodurile 1 la 25

Figura 7.14b. Valorile tensiunilor nodurilor pentru regimul inițial și de după diagnoză – nodurile 26 la 50

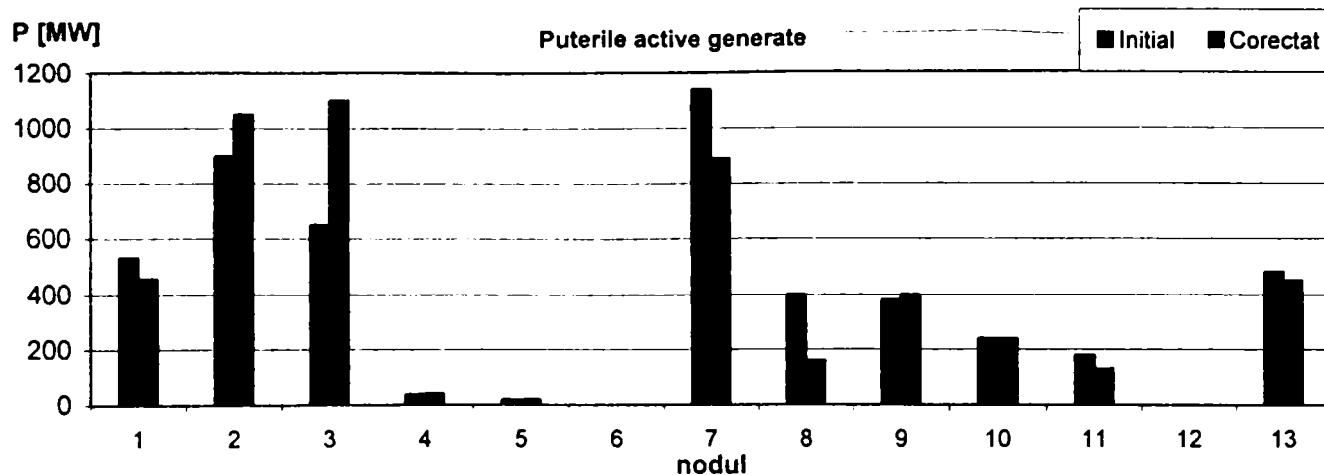


Figura 7.15. Valorile puterilor active generate în noduri pentru regimul inițial și regimul după diagnoză

După cum se poate observa în acest caz de regim, diferența dintre valorile tensiunilor înainte și după diagnoză este mare și anume inițial nivelul tensiunilor era mai ridicat decât după diagnoză. De asemenea regimul de încărcare a generatoarelor cu putere reactivă era neechilibrat (vezi tabelul 7.25). Ca urmare a diagnozei nivelul general al tensiunilor în sistem a fost coborât ceea ce este în concordanță cu sarcina scăzută a sistemului.

Referitor la valorile puterilor active generate reglajul s-a realizat încă de la prima etapă de diagnoză așa cum reflectă valoarea cheltuielilor totale globale orare.

În concluzie indicațiile furnizate de SSDES sunt foarte utile acestea conducând în repede și sigur la regimuri cvasi-optime adică regimuri mult îmbunătățite.

Capitolul 8

CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Sistemele electrice de putere (SEP) se află într-o continuă evoluție constructiv-funcțională și ridică probleme dificile în ceea ce privește exploatarea lor. Aceste probleme trebuie rezolvate folosind tehnici de diagnoză și analiză din ce în ce mai performante.

La ora actuală, în majoritatea dispeceratelor energetice, inginerii de sistem folosesc datele oferite de SCADA, simulări numerice potrivite și propria lor experiență pentru a analiza scenariile posibile de lucru, în vederea extragerii de informații relevante referitoare la starea SEP. Această operație complexă, care necesită un volum mare de calcul, o experiență bogată și o gândire creativă, trebuie neapărat să fie asistată de aplicații bazate pe tehnicile de inteligență artificială, în scopul obținerii eficiente a unor rezultate de calitate superioară în timp real. În acest context, aplicarea inteligenței artificiale la diagnoza stării unui sistem electroenergetic presupune formalizarea cunoștințelor existente și a experienței dispecerilor de sistem care să fie integrate sub forma unui sistem expert (SE).

Având în vedere limitele metodologiei de diagnoză încă folosite în dispeceratele de tip clasic ale SEP, din deceniul 9 al secolului XX, efortul dezvoltat pentru analiza regimurilor, a început să fie redirectionat de la modelarea formală matematică și analiza numerică, la tehnicile mult mai flexibile ale inteligenței artificiale (IA). În prezent, în literatura de specialitate, se întâlnesc tot mai multe metode noi, care se bazează pe tehnicile IA. Acestea conduc la un nou mod de abordare a problemelor SEP, permițând ca în cadrul raționamentelor realizate de calculator să fie utilizate cunoștințele și experiența dispecerilor experți.

Diagnoza unui sistem tehnic, înseamnă identificarea stării sistemului și dacă este cu putință identificarea măsurilor de îmbunătățire sau de readucere la normal a funcționării lui.

Diagnoza SEP sau diagnoza regimurilor de funcționare ale acestuia, se referă la determinarea și aprecierea stării sistemului după diferite criterii de performanță și la stabilirea măsurilor care să ducă la îmbunătățirea regimului, dacă este cazul.

În această lucrare, la început, se prezintă conceptele teoretice care stau la baza activității de diagnoză a unui sistem tehnic oarecare. În continuare sunt enunțate noțiunile fundamentale legate de construirea unui SE pentru diagnoza regimurilor normale ale SEP. Pe baza acestora, s-a dezvoltat sistemul expert intitulat Steady State Diagnosis Expert System – SSDES – destinat diagnozei regimurilor permanente ale SEP. SE a fost realizat în limbajul de programare declarativă PROLOG. În vederea testării și validării sale, SSDES a fost aplicat la diagnoza regimurilor normale ale unor sisteme test cu 25 de noduri și respectiv cu 50 de noduri, dezvoltate la Catedra de Electroenergetică din cadrul Facultății de Electrotehnică a Universității „Politehnica” Timișoara.

Contribuția majoră a tezei de doctorat, constă tocmai în realizarea în premieră națională, după cunoștințele autorului, a unui SE de diagnoză a regimurilor normale de funcționare ale SEP, baza pe o concepție originală, pornind de la teoria clasică formalizată a diagnozei sistemelor tehnice a lui Reiter, extinsă după Struss și Heller și pe experiența dispecerilor. Sistemul expert SSDES, constituie un asistent inteligent care sprijină în timp real luarea celor mai potrivite decizii în conducerea cvasi-optimală a regimurilor normale ale SEP.

În Capitolul 2 se prezintă o apreciere critică a metodelor de analiză a regimurilor SEP întâlnite în prezent în literatura de specialitate. Se urmărește evoluția modului de aplicare a

tehnicilor IA la diagnoza regimului permanent normal al SEP. Se acordă o atenție deosebită diagnozei tensiunii și a circulației de putere reactivă, problemă în prezent larg cercetată în literatura de specialitate. Soluțiile de rezolvare a acestei probleme constau în îmbunătățirea unor metode mai vechi, sau dezvoltarea unor soluții noi, originale.

Contribuțiile personale în acest capitol constau în:

1. Selecția și sinteza celor mai folosite metode de analiză a stabilității tensiunii în nodurile SEP și reglajul tensiunii:
 - analiza matricei Jacobian a sistemului;
 - indicatorul L de stabilitate a tensiunii;
 - metoda bazată pe arbore de sensibilitate;
 - metoda bazată pe conceptul de “cale reactivă”.
2. Analiza critică a metodelor actuale de apreciere a stabilității tensiunii în nodurile SEP și urmărirea aplicațiilor IA pentru acest scop. În urma analizei sau relevat următoarele:
 - a. Metodele analizate se diferențiază prin:
 - Volumul de calcule necesare: efortul de calcul este mai mare la metodele clasice, cele mai noi necesitând un volum mai mic de calcule și sunt de o complexitate mai redusă.
 - Efortul de proiectare și implementare în practică: efortul investit în implementarea metodelor noi este mai mare, mai ales acolo unde sunt necesare colectarea și interpretarea cunoștințelor provenite de la experții în domeniu iar în faza de implementare sunt necesare un număr mare de simulări numerice a regimurilor sistemului.
 - Eficiență: metodele noi sunt superioare celor clasice, au un timp de soluționare mai mic și prezintă concluzii într-un mod mai ușor de interpretat de către operatorul de sistem.
 - b. La folosirea metodelor bazate pe prelucrarea cunoștințelor euristice:
 - Trebuie adaptate în funcție de particularitățile SEP.
 - Este necesară completarea și revizuirea periodică a bazelor de cunoștințe ale SE care este o sarcină în plus pentru inginerii de exploatare și inginerii de cunoștințe.
 - Este necesară utilizarea tehnicilor oferite de IA printre care SE și mulțimile fuzzy.

Capitolul 3 prezintă ideile teoretice de bază ale diagnozei unui sistem tehnic oarecare. Este descrisă teoria diagnozei dezvoltată de Reiter [R87] și modul de aplicare a acesteia pentru cazul diagnozei bazate pe model (model based diagnoses). De asemenea s-a prezentat extinderea diagnozei lui Reiter după Struss și Heller [SH98] pentru sisteme în care trebuie luat în considerare și modul de comportare în funcționare a elementelor sale componente, pentru a determina cauzele funcționării nepotrivite a sistemului ca întreg. Acesta este și cazul diagnozei regimurilor permanente ale SEP. Determinarea mulțimii de diagnoză s-a făcut cu ajutorul unei metode euristice originale de căutare exhaustivă.

Contribuțiile personale în cadrul diagnozei sistemelor tehnice sunt următoarele:

1. Sinteza metodelor de determinare a diagnozei sistemelor tehnice aplicate în lucrare, care presupune:
 - Prezentarea concentrată a teoriei de diagnoză a lui Reiter.
 - Pentru sisteme la care trebuie luate în considerare condițiile de comportare în funcționare a elementelor sale componente s-a descris extensia teoriei de diagnoză a lui Reiter după Struss și Heller.

2. Dezvoltarea unei metodei euristice de căutare exhaustivă a mulțimii țintă minime – mulțimea de diagnoză – bazată pe următoarele considerente originale:
 - Stabilirea criteriilor de construire a mulțimii *Start*, mulțime de pornire a procesului de căutare a soluției. Mulțimea *Start* va cuprinde membrii care, în funcție de cazul concret analizat, fac parte obligatoriu din mulțimea de diagnoză.
 - Metoda de generare de noi membrii ai soluției căutate și de testare a lor în vederea îndeplinirii condiției de diagnoză.
3. Implementarea metodei euristice de căutare în limbajul declarativ Prolog sub formă de reguli.

În capitolul 4 sunt introduși indicatorii fuzzy, pentru regimul normal de funcționare a SEP, necesari în procesul de diagnoză. Indicatorii fuzzy definiți sunt:

- locali – atunci când se referă la o mărime electrică care caracterizează un element al sistemului (nod sau latură);
- globali – atunci când se referă la o categorie de mărimi electrice, la o categorie de elemente de sistem sau la regimul sistemului în ansamblul său.

Se stabilesc trei regimuri normale optimizate – regimurile de bază. Ele sunt optimizate după criteriul cheltuielilor totale orare minime și sunt folosite apoi la calcularea mărimilor electrice cvasi-optime corespunzătoare unui regim oarecare.

Indicatorii fuzzy locali sunt definiți pe baza valorilor mărimilor electrice cvasi-optime. Ei se calculează pentru mărimile electrice din nodurile sistemului adică tensiuni, puteri active și reactive generate și pentru puterile aparente de circulație pe laturi.

Pe baza indicatorilor locali se calculează indicatorii globali: pentru fiecare tip de mărime electrică urmărită, pentru noduri și laturi și apoi pentru regimul în ansamblu.

Contribuțiile autorului sunt următoarele:

1. Definirea unor regimuri normale optimizate numite “regimuri de bază”, care sunt folosite apoi calculul la valorilor mărimilor electrice cvasi-optime corespunzătoare regimului oarecare analizat. Aceste mărimi reunite definesc conceptul original de “regim cvasi-optim”.
2. Metodologia de determinare a mărimilor electrice cvasi-optime corespunzătoare a regimului oarecare analizat.
3. Stabilirea criteriilor de apreciere a funcționării elementelor de sistem ceea ce presupune:
 - Definirea unor intervale din benzile clasice de tensiune pentru caracterizarea calitativă adecvată a tensiunilor din nodurile SEP.
 - Stabilirea valorilor cvasi-optime și a limitelor pentru încărcare grupurilor generatoare cu putere activă și reactivă.
 - Stabilirea valorilor cvasi-optime și a limitelor de încărcare corespunzătoare pentru liniile electrice și (auto)transformatoare.
4. Definirea indicatorilor fuzzy locali, pe baza valorilor mărimilor electrice cvasi-optime, pentru fiecare tip de mărime electrică urmărită: tensiuni în noduri, puteri active și reactive generate, puteri aparente de circulație pe laturile tip transformator și curent de circulație pe laturile tip linie electrică. Aceasta presupune:
 - Definirea mulțimilor fuzzy pentru fiecare tip de element de sistem.
 - Stabilirea termenilor lingvistici la defuzificarea indicatorilor fuzzy pentru fiecare categorie de mărimi.
 - Stabilirea regulilor de compunere a indicatorilor fuzzy locali pentru calculul indicatorilor fuzzy globali referitor la fiecare mărime electrică urmărită (U, P, Q).

5. Definirea indicatorilor fuzzy globali pentru:
 - Noduri: reflectă situația globală a tensiunilor în nodurile sistemului și a puterilor activă și reactivă generate.
 - Laturi: reflectă situația globală a încărcărilor de putere pe laturile tip linie și tip transformator.
 - Regim: se calculează pe baza indicatorilor pentru laturi și noduri și arată o imagine globală a regimului.
6. Exemplu pentru identificarea pe baza curbei zilnice de sarcină a regimurilor de bază pentru sistemul test cu 25 de noduri și optimizarea lor după criteriul cheltuielilor totale orare minime.

Capitolul 5 descrie metoda de diagnoză a regimurilor SEP, dezvoltată ca aplicație a diagnozei bazate pe model, folosind indicatorii fuzzy locali și globali calculați. Diagnoza regimurilor normale se finalizează cu determinarea mulțimilor elementelor de reglaj, pentru tensiuni și puteri active generate, care trebuie să intervină pentru aducerea regimului curent al sistemului cât mai aproape de regimul cvasi-optimal corespunzător.

Pentru determinarea zonelor de control al elementelor de reglaj al tensiunii în nodurile sistemului, s-a aplicat metoda bazată pe conceptul de „cale reactivă” care a fost implementată într-un program de calcul cu numele RPC. În acest sens, s-a efectuat o analiză pentru determinarea valorilor potrivite ale factorului de suficiență α și a factorului de influență β în cazul sistemului test cu 25 de noduri.

Contribuțiile personale sunt următoarele:

1. Aplicarea ideilor diagnozei bazate pe model a lui Reiter, completată după Struss și Heller prin formalizarea ei pentru diagnoza regimurilor normale SEP:
 - Definirea mulțimilor: descrierea sistemului, observații și presupuneri.
 - Stabilirea regulilor care conduc la apariția contradicțiilor dintre mulțimea observațiilor și mulțimea descrierea sistemului.
 - Determinarea mulțimilor țintă – mulțimilor de diagnoză – pentru reglajul tensiunilor și a puterilor active în SEP.
2. Realizarea programului (RPC) de determinarea zonelor de influență a reguletoarelor de tensiune.
3. Testarea programului în cazul sistemului test cu 25 de noduri presupune:
 - Determinarea valorilor coeficienților de suficiență și influență.
 - Determinarea zonelor de control pentru reguletoarele de tensiune.
4. Exemplificarea aplicării metodei la diagnoză pentru două regimuri normale, mult diferite ca și sarcină, ale sistemului test cu 25 de noduri:
 - Diagnoza unui regim cu sarcină ridicată.
 - Diagnoza unui regim cu sarcină scăzută.

În Capitolul 6 sunt prezentate avantajele folosirii SE pentru conducerea operativă a SEP și modul de implementare a metodei de diagnoză dezvoltate în sistemul expert SSDES.

Sistemul SSDES implementează metoda de diagnoză bazată pe model fiind construit în limbajul de programare declarativă PROLOG. SSDES poate funcționa în timp real, caz în care baza de date cuprinde valorile mărimilor electrice oferite de sistemul SCADA (tensiuni, puteri injectate și puteri de circulație) care sunt apoi corectate și completate de programul estimator ESTIM. În lucrarea de față sistemul SSDES lucrează off-line și deci pentru crearea bazei de date este necesară folosirea programului de calcul al circulațiilor de puteri CNW.

Baza de cunoștințe cuprinde valorile tensiunilor din noduri și a puterilor active generate, pentru sistemul supus diagnozei, în cazul celor trei regimuri de bază. Rezultatele diagnozei se prezintă sub formă de: indicatori globali fuzzy pentru categorii de mărimi electrice, liste de mărimi electrice care sunt identificate ca fiind nepotrivite pentru funcționarea dorită a sistemului și liste de măsuri care trebuie luate pentru corectarea regimului curent al sistemului.

În acest capitol contribuții personale sunt:

1. Prezentarea avantajelor folosirii SE la diagnoza regimurilor SEP.
2. Realizarea SSDES conform metodologiei de diagnoză prezentată în capitolul 5:
 - a. Implementare metodei de diagnoză într-un limbaj programare declarativă – Prolog:
 - Construirea bazei de date:
 - date referitoare la noduri: identificator, tensiune, puteri injectate, limite;
 - date referitoare la laturi: identificator, limite, puteri de circulație.
 - Construirea bazei de cunoștințe:
 - caracteristici generale de sistem;
 - valorile mărimilor electrice pentru regimurile de bază.
 - Scrierea regulilor pentru:
 - diagnoza mărimilor electrice în noduri sau pe laturi;
 - definirea indicatorilor fuzzy locali;
 - calculul indicatorilor globali;
 - defuzificare.
 - b. Crearea unei interfețe prietenoase care afișează sub formă tabelară indicatorii fuzzy calculați.
 - c. Crearea interfeței cu programul de circulație de puteri CNW.

În capitolul 7, pentru validarea metodei de diagnoză propuse, s-au identificat 11 regimuri caracteristice ale sistemului test cu 25 de noduri, regimuri diferite ca și putere totală consumată și care au fost stabilite pe baza curbei zilnice de sarcină a sistemului. Apoi, aceste regimuri s-au optimizat, după criteriul cheltuielilor totale orare minime cu ajutorul unor programe specializate existente la Catedra de Electroenergetică: OPTIM și Power World 8.0. În urma efectuării diagnozei s-au desprins concluzii care sunt în conformitate cu starea de fapt a regimurilor adică starea de regimuri optimizate.

În a doua parte a acestui capitol s-a realizat diagnoza a două regimuri, mult diferite ca și sarcină, ale sistemului test cu 50 de noduri.

Contribuții personale sunt următoarele:

1. Validarea metodei propuse de diagnoză a regimurilor permanente ale SEP cu ajutorul unor regimuri optimizate ale sistemului test cu 25 de noduri:
 - Stabilirea metodologiei de validare a SSDES.
 - Stabilirea celor 11 regimuri caracteristice diferite și optimizarea lor.
 - Diagnoza celor 11 regimuri optimizate și stabilirea concluziilor.
 - Diagnoza celor 11 regimuri inițiale neoptimizate și stabilirea concluziilor.
 - Stabilirea concluziilor finale care acceptă SSDES ca oferind soluții valide.
2. Aplicarea SSDES pentru diagnoza a două regimuri permanente ale sistemului test cu 50 de noduri și 69 de laturi. În acest sens s-au realizat aceleași etape ca și în cazul sistemului test cu 25 de noduri: stabilirea regimurilor de bază și determinarea zonele de control ale reguletoarelor de tensiune. S-a realizat unitar:
 - Diagnoza regimului cu sarcină ridicată.
 - Diagnoza regimului cu sarcină scăzută.
3. Stabilirea concluziilor în ceea ce privește aplicarea SSDES pentru SEP extinse.

Problemele prezentate, precum și rezultatele obținute în urma soluționării și implementării lor într-un SE, conferă lucrării originalitate și un real caracter de aplicabilitate practică, deschizând noi perspective cercetărilor în domeniul abordat.

Direcțiile de cercetare în viitor sunt variate, putându-se menționa în acest sens cele care au în vedere îmbunătățirea performanțelor SSDES:

- selectarea inteligentă a reguletoarelor de tensiune pentru evitarea ciclării măsurilor de reglare; în acest sens ar fi indicată o reglare separată pe nivelele de tensiune coordonată cu un reglaj pe zone de sistem;
- realizarea unei analize în vederea îmbunătățirii formei funcțiilor de apartenență pentru definirea indicatorilor fuzzy ai puterilor active generate;
- îmbunătățirea interfeței cu utilizatorul a sistemului expert prin afișare grafică a informației;
- considerarea mijloacelor de reglare a tensiunii prin compensarea puterii reactive pe linii nu doar a celor de compensare în noduri;
- aplicarea metodei de diagnoză pentru sisteme de dimensiuni foarte mari;
- dezvoltare metodei de diagnoză pentru seturi de regimuri de bază care să acopere regimuri pentru toate tipurile de zile, de sezoane și anotimpuri.

BIBLIOGRAFIE

CĂRȚI

- [C1] E. Bârlădeanu, D. Rădășan, Utilizarea tehnicilor fuzzy în electroenergetică, Editura Venus Iași, 2001.
- [C2] A. Buta, Transportul și distribuția energiei electrice, Litografia U.P. Timișoara 1991.
- [C3] A. Buta, A. Pană, L. Milea, Calitatea energiei electrice, Editura Agir Bucuresti, 2001.
- [C4] A. Buta, A. Pană, Transportul și distribuția energiei electrice – îndrumător de proiectare, Litografia U.P. Timișoara, 1997.
- [C5] V. Dușa, V. Vaida, Controlul și comanda funcționării rețelelor electrice, Editura Tehnică București, 2001.
- [C6] Gh. Cârțină, Gh. Georgescu, M. Gavrița și C. Bonciu, Rețele Neuronale Artificiale și Sisteme Expert în Energetică, Editura Gh. Asachi, Iași 1994.
- [C7] O. Crișan, Sisteme electroenergetice, Editura D.P. București, 1979.
- [C8] M. Eremia et. al., Tehnici de Inteligență Artificială – Concepte și aplicații în Sistemele electroenergetice, Editura Agir București, 2001.
- [C9] M. Eremia, J. Trecat, A. Germond, Reseaux Electriques – Aspects actuelles, Editura Tehnică București, 2000.
- [C10] M. Eremia, H. Crișciu, B. Ungureanu, C. Bulac, Analiza asistată de calculator a regimurilor electroenergetice, Editura Tehnică București, 1989.
- [C11] Șt. Kilyeni, Optimizări și calculatoare în energetică, Litografia U.P. Timișoara, 1987.
- [C12] Șt. Kilyeni, Metode numerice – Algoritme, Programe Turbo Pascal, Aplicații în energetică, Editura Orizonturi Universitare Timișoara, 2001.
- [C13] Șt. Kilyeni, Analiza regimurilor SEE și modelarea elementelor de sistem, Editura Orizonturi Universitare Timișoara, 2000.
- [C14] Șt. Kilyeni, M. Nemeș, M. Moga, A. Buta, B. Luștea, C. Velicescu, F. Surianu, Sistem test de 25 de noduri, Conferința Națională de Energetică București, vol.5 , lucrarea 5.05, 1988.
- [C15] Șt. Kilyeni, Tehnici numerice utilizate în analiza regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice, Editura Orizonturi Universitare Timișoara, 2002.
- [C16] M. Moga, Conducerea proceselor din energetică cu calculatoare de proces, Editura Mirton Timișoara, 1997.
- [C17] M. Moga, Sisteme inteligente pentru conducerea rețelelor electrice de distribuție, Editura Agir București, 2000.
- [C18] J.A. Momoh, M.E. El-Hawary, Electric Systems, Dynamics and Stability with Artificial Intelligence Applications, Marcel Dekker Inc. New York, 2000.
- [C19] J.R. McDonald, G.M. Burt, J.S Zielinski, S.D.J. McArthur, Intelligent Knowledge Based Systems in Electrical Power Engineering, Chapman & Hall London, 1997.
- [C20] V. Negru, Tehnica tensiunilor înalte, vol. I, Litografia U.P. Timișoara, 1982.
- [C21] V. Negru, Tehnica tensiunilor înalte, vol. II, Litografia U.P. Timișoara, 1995.
- [C22] M. Nemeș, Sisteme electroenergetice, Litografia U.P. Timișoara, 1990.
- [C23] M. Nemeș, Sisteme electrice de putere, Editura Politehnica Timișoara, 1998.

- [C24] M. Nemeș, Restructurarea sistemelor electroenergetice, Editura Agir București, 2001.
- [C25] L. Preda, I. Heinrich, P. Buhuș, D. Ivas, P. Gheju, Stații și posturi electrice de transformare, Editura Tehnică București, 1988.
- [C26] St. Preitl, R.E. Precup, Introducerea în conducerea fuzzy a proceselor, Editura Tehnică București, 1997.
- [C27] C. Rucăreanu, P. Militaru, V. Hotoboc, V. Chiricescu, V. Prioteasa, Liniile electrice aeriene și subterane, Editura Tehnică București, 1989.
- [C28] C. Sâmbotin, Sisteme expert cu Prolog, Editura Tehnică București, 1997.
- [C29] J.F. Sowa, Knowledge Representation – Logical, Philosophical and Computational Foundation, PWS Publishing Company Boston, 1995.
- [C30] C. Velicescu, Fiabilitate în energetică, Litografia U.P. Timișoara, 1988.
- [C31] G. Benchimol, P. Levine, C.J. Pomerol, Sisteme Expert în Întreprindere”, Editura Tehnică București, 1993.
- [C32] L. A. Zadeh et. al., Fuzzy Sets and Their Application to Cognitive and Decision Process, New York, Academic Press, 1975.
- [C33] K. Warwick, A. Ekwue, R. Aggarwal, Artificial Intelligence Techniques in Power Systems, IEE 1997.
- [C34] M. Chindriș, A. Cziker, Utilizarea sistemelor fuzzy în energetică, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2002.
- [C35] *** PDC Prolog 3.30 – User’s guide, Copenhaga 1992.

DICȚIONARE

- [D1] Lexiconul Tehnic Român, Editura Tehnică, București 1963, vol. 13.
- [D2] Mic Dicționar Enciclopedic, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1986.
- [D3] Dicționarul Explicativ al Limbii Române.

ARTICOLE

- [BE99] C. Bulac, M. Eeremia, A.I. Bulac, I. Triștiu, Stabilitatea de tensiune în SEE: fenomen, evaluare și controlul prin tehnici de inteligență artificială, Energetica, Nr. 2-1999, vol. 47, pp.56-68.
- [BL01] **I. Borlea**, B. Luștea, Șt. Kilyeni, Expert System for Power System Contingency Screening, Proceedings of the Fourth International Power System Conference – Timișoara, 8-9 Nov, 2001, pag. 37-42.
- [BL99] **I. Borlea**, B. Luștea, Expert system for power system steady state operation Proceedings of the third International Power System Conference – Timișoara, nov. 1999, vol. II, pp. 129-134.
- [BL03] **I. Borlea**, B. Luștea, Application of Model Based Diagnosis for Steady State Power Systems Operation, Proceedings of the Fifth International Power System Conference – Timișoara, 7-8 Nov, 2003 (*lucrare acceptată spre publicare*).
- [LB03] **I. Borlea**, SSDES – Expert System for Steady State Diagnosis of Power System, Proceedings of the Fifth International Power System Conference – Timișoara, 7-8 Nov, 2003, (*lucrare acceptată spre publicare*).
- [FV02] A. Fijany, F. Vatan, A. Barrett and R. Mackey, New Approaches for Solving the Diagnosis Problem, IPN Progress Report 42-149, May 15, 2002.

- [GM94] P. Gardenfors and D. Makinson, Non monotonic interface based expectation, *Artificial Intelligence*, 65: 197-245, 1994.
- [KL01] Șt. Kilyeni, F. Lupea, B. Luștrea, **I. Borlea**, Buses' Optimal and Quasi-optimal Ordering Techniques in Power System Analysis, Proceedings of the Fourth International Power System Conference – Timișoara, 8-9 Nov, 2001, pag. 237-242.
- [KM92] J. Kleer, A.K. Mackworth and R. Reiter, Characterizing Diagnoses and System, *Artificial Intelligence*, vol. 56, pp. 197-222, 1992.
- [LB96] B. Luștrea, **I. Borlea**, Aspecte referitoare la o nouă metodă de memorare și prelucrare a matricelor lacunare folosite în analiza regimurilor de funcționare a Sistemelor Electrice de Putere, Sesiunea de comunicări științifice – Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad, 16-17 mai 1996, vol. 15, pag. 97-102
- [LK01] B. Luștrea, Șt. Kilyeni, **I. Borlea**, Some Aspects Regarding Unified Power Flow Controllers, Proceedings of the Fourth International Power System Conference – Timișoara, 8-9 Nov, 2001, pag. 265-268
- [LN96] B. Luștrea, M. Nemeș, Gh. Călea, **I. Borlea**, About a Power System State Estimator: descriptions and performances, Conferința Națională de Energetică – Neptun, sept. 1996, sect. VI, pag. 117-122.
- [M80] J. McCarthy, Circumscription – a form a non monotonic reasoning, *Artificial Intelligence*, 13(1+2): 27-39, 1980
- [P89] D. Poole, Normality and faults in logic-based diagnosis, Proceedings of the 11-th International Joint Conference an Artificial Intelligence, pp. 1304-13010, Detroit, 1989.
- [R87] R. Reiter, A Theory of Diagnosis from First Principles, *Artificial Intelligence*, vol. 32, pp. 57-95, 1987.
- [SH98] P. Struss, U. Heller Process-oriented Modeling and Diagnosis – Revising and Extending the Theory of Diagnosis from First Principles, 9-th International Workshop on Principles on Diagnosis, Sea Crest, Cape Cod, 1998.
- [Z73] L.A. Zadeh, Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process, *IEEE Transaction On Systems, Man and Cybernetics*, Nr. 3, 1973.

ARTICOLE ELECTRA

- [E1] Y. Tamura and H. Sasaki, CIGRE Task Force 38.06.01-“Expert System Applied to Voltage and Var Control - Final Report”, *ELECTRA*, No.139, December 1991, pp.109 - 131.
- [E2] C.C. Liu, CIGRE Task Force 38.06.03 - “Practical use of Expert Systems in Planning and Operation of Power Systems”, *ELECTRA*, No. 146, February 1993, pp. 31 - 67.
- [E3] T.S. Dillon, CIGRE Task Force 38.06.02 - “Survey on Expert Systems in Alarm Handling”, *ELECTRA*, No. 139, December 1991, pp. 133 - 151.
- [E4] T.S. Dillon, CIGRE Task Force 38.06.02 - “Fault Diagnosis in Electric Power Systems Through AI Techniques”, *ELECTRA*, No. 159, April 1995, pp. 51 - 75.
- [E5] D. Niebur, CIGRE Task Force 38.06.06 - “Artificial Neural Networks for Power Systems”, *ELECTRA*, No. 159, April 1995, pp. 77 - 101.

ARTICOLE IEEE TRANSACTION ON POWER SYSTEMS

- [F1] J.P. Bernard and D. Doroucher - “An Expert System for Fault Diagnosis Integrated in Existing SCADA Systems”, *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 9, No. 1, February 1994, pp. 548 - 554.

- [F2] T. Minakawa, Y Ichikawa, M. Kunugi, N. Wada, K. Shimada and M. Utsunomiya – “Development and Implementation of a Power System Fault Diagnosis Expert Systems”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995, pp. 932 - 939.
- [F3] H.J. Cho and J.K. Park - “An Expert System for Section Diagnosis of Power Systems using Fuzzy Relations”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 1, February 1997, pp. 342 - 347.
- [F4] H.T. Yang, W.Y. Chang and C.L. Huang - “On-line Fault Diagnosis of Power Substation using Connectionist Expert System”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 1, February 1995, pp. 323 - 330.
- [F5] S.N. Talukdar, E. Cardozo and T. Perry - “The Operator’s Assistant - An Expandable Program for Power System Trouble Analysis”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 1, No. 3, August 1986, pp. 182 - 187.
- [G1] S. Rahman - "Artificial Intelligence in Electric Power Systems - A Survey of Japanese Industry", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp. 1211 - 1217.
- [G2] Z.Z. Zhang, G.S. Hope and O.P. Malik - " Expert Systems in Electric Power Systems - A Bibliographical Survey", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 4, October 1989, pp. 1355 - 1362.
- [S1] R. Billinton and G. Lian - “Composite Power System Health Analysis using a Security Constrained Adequacy Evaluation Procedure”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 2, May 1994, pp. 936 - 941.
- [S2] J.D. McCalley, S. Wang, R.T. Treinen and A.D. Papalexopoulos - “Security Boundary Visualization for Systems Operation”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 2, 1997, pp. 940 - 947.
- [S3] Q. Zhou, J. Davidson and A.A. Fouad - “Application of Artificial Neural Networks in Power System Security and Vulnerability Assessment”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994, pp. 525 - 531.
- [S4] R.D. Cristie, S.N. Talukdar and J. C. Nixon - “CQR: A Hybrid Expert System for Security Assessment”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp. 1503 - 1509.
- [S5] Y.Y. Hsu and C.C. Su - “A Rule-Based Expert System for Steady-State Stability Analysis”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, pp. 771 - 777.
- [S6] A.P. Sakis Meliopoulos, C.S. Cheng and F. Xia - “ Performance Evaluation of Static Security Analysis Methods”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1441 - 1449.
- [S7] N.D. Hatziaargyriou, G.C. Contaxis and N.C. Sideris - “A Decision Tree Method for on-line Steady State Security Assessment”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 2, May 1994, pp. 1052 - 1060.
- [S8] A.A. Fouad, S. Venkataraman and J.A. Davis - “An Expert System for Security Trend Analysis of a Stability-limited Power System”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991, pp. 1077 - 1084.
- [S9] S. Hao, A. Papalexopoulos and T.M. Peng - “Distributed Processing for Contingency Screening Applications”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995, pp. 838 - 844.
- [S10] R.H. Chen, J. Gao, O.P. Malik, G.S. Hope, S. Wang and N. Xiang - “Multi-Contingency Pre-processing for Security Assessment using Physical Concepts and CQR with Classifications”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No.3, August 1993, pp.840-848.

-
- [S11] R.P. Schulte, S.L. Larsen, G.B. Sheble and J.N. Wrubel - "Artificial Intelligence solutions to Power System Operating Problems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 2, No. 4, November 1987, pp. 920 - 926.
- [S12] R. Doraiswami and J. Jiang - "An Intelligent Sensor to Monitor Power System Stability, Performance and Diagnose Failures", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp. 1432 - 1438.
- [S13] C.A. Castro and A. Bose - "Correctability of Voltage Violation in On-line Contingency Analysis", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1651 - 1657.
- [S14] Y. Chen and A. Bose - "Direct Ranking for Voltage Contingency Selection", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 4, October 1989, pp. 1335 - 1342.
- [S15] C.S. Chang, T.S. Chung and K.L. Lo - "Application of Pattern Recognition Technique to Power System Security Analysis and Optimization", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 3, August 1990, pp. 835 - 841.
- [S16] D. Reichelt and H. Glavitsch - "Features of a Hybrid Expert System for Security Enhancement", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 907 - 913.
- [S17] V. Brandwajn and M.G. Lauby - "Complete Bounding Method for Contingency Screening", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 2, May 1989, pp. 724 - 728.
- [S18] D.J. Sobajic and Y.H. Pao - "An Artificial Intelligence System for Power System Contingency Screening", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, No. 2, May 1988, pp. 647 - 653.
- [S19] R. Bacher and W.F. Tinney - "Faster local power solution: The zero mismatch approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.4, No.4, November 1989, pp.1345-1354.
- [T1] J.L. Souflis, A.V. Machias and B.C. Papadias - "An application of fuzzy concepts to transient stability evaluation", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989, pp. 1003-1008.
- [T2] Y. Akimoto, H. Tanaka, J. Yoshizawa, D.B. Klapper, W.W. Price and K.A. Wirgau - "Transient stability expert system", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 1, February 1989, pp. 312-319.
- [T3] L. Wehenkel, Th. Van Cutsem and M. Ribbens-Pavella - "An Artificial Intelligence Framework for on-line Transient Stability Assessment of Power Systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 2, May 1989, pp. 789 - 797.
- [T4] C.S. Chang, D. Sirivasan and A.C. Liew - "A hybrid model for Transient Stability Evaluation of Interconnected Power Systems using Neural Network Pattern Recognition Approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994, pp. 85 - 92.
- [T5] V. Vittal, N. Bhatia and A.A. Fouad - "Analysis of Inter-Area Mode Phenomenon in Power Systems Following Large Disturbances", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 4, November 1991, pp. 1515 - 1521.
- [T6] R.J. Marceau, R. Mailhot and F.D. Galian - "A Generalized Shell for Dynamic Security Analysis in Operating Planning", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp. 1098 - 1106.
- [U1] C. Belhadj, R. Mohamedi, S. Lefebvre, P.J. Lagace and X.D. Do - "Voltage Stability Modeling and Real-Time Monitoring Using Expert System for Operation Assistance", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11 No. 2, May 1996, pp. 1037-1045.
- [U2] K. Yabe, J. Koda, K. Yoshida, K.H. Chiang, P.S. Khedkar, D.J. Leonard and N.W. Miller - "Conceptual Design of AI-based Systems for Local Prediction of Voltage Collapse", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11, No. 1, February 1996, pp. 136 - 143.
-

- [U3] C.D. Vournas, "Voltage stability and controllability indices for multi-machine power systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August 1995, pp. 1183-1189.
- [U4] A. Zobian and M.D. Ilic, "A Steady State Voltage Monitoring and Control Algorithm Using Localised Least Square Minimisation of Load Voltage Deviation", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996, pp. 929-938.
- [U5] P.A. Lof, G. Anderson and D.J. Hill - "Voltage stability indices for stressed power systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No. 1, February 1993, pp. 326 - 332.
- [U6] Y.Y. Hsu, C.C. Liang, T.S. Lai, K.K. Chen and B.S. Chang - "Voltage control using a combined integer programming and rule-based approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 744 - 751.
- [U7] T.F. Godart and H.B. Puttgen, "A reactive path concept applied within a voltage control ES", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, pp. 787 - 793.
- [U8] C. Lemaitre, J.P. Paul, J.M. Tesseron, Y. Harmand and Y.S. Zhao - "An indicator of the risk of voltage profile instability for-real time control application", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 1, February 1990, pp. 154-160.
- [U9] S.J. Cheng, O.P. Malik and G.S. Hope - "An Expert System for Voltage and Reactive Power Control of a Power System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, No. 4, November 1988, pp. 1449-1455.
- [U10] R. Yokoyama, T. Niimura and Y. Nakanishi - " A coordinated control of voltage and reactive power by heuristic modeling and approximate reasoning", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No. 2, May 1993, pp. 636 - 643.
- [U11] J.R.P-R. Laframboise, G. Ferland, A.Y. Chikhani and M.M.A. Salama - "An Expert System for Reactive Power Control of Distribution System - Part 2: System Implementation", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August 1995, pp. 1433 - 1440.
- [U12] A.G. Exposito, J.L. Martinez Ramos, J.L. Ruiz Macias and Y.C. Salinas - "Sensitivity-Based Reactive Power Control for Voltage Profile", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp. 937 - 942.
- [U13] T.Van Cutsem - "An approach to corrective control of voltage instability using simulation and sensitivity", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995, pp. 616 - 622.

ANEXE

Anexa 1. Mărimi caracteristice liniilor electrice aeriene

Tabelul A1.1 Curentul admisibil termic pentru conductoare active folosite la construcția LEA [C4].

Nr. crt.	Secțiunea nominală [mm ²]	Tipul conductorului		
		Aluminiu I _{adm} [A]	OI-Al I _{adm} [A]	Cupru I _{adm} [A]
1	70	250	260	320
2	95	305	315	390
3	120	355	360	455
4	150	415	420	535
5	185	470	485	605
6	240	565	575	725
7	300	665	665	850
8	400	885	865	-
9	450	975	975	-

Tabelul A1.2 Valorile parametrilor de secvență directă unitari pentru diferite tipuri de LEA [C4]

Tensiunea [kV]	Secțiunea conductorului [mm ²]	Rezistența [Ω / km]	Reactanța [Ω / km]	Conductanța [$\mu S / km$]	Susceptanța capacitivă [$\mu S / km$]
110 SC	3x240 OLAI+70 OL	0.122	0.402	50	2.781
110 DC	2x3x240 OLAI+70 OL	0.061	0.198	100	5.743
220 SC	3x450 OLAI+2x95 OL	0.066	0.406	50	2.778
220 DC	2x3x450 OLAI+95 OL	0.033	0.230	100	5.439
400 SC	3x2x450 OLAI+ 2x160/95 OLAI	0.034	0.326	50	3.504
400 DC	2x3(2x450 OLAI)+ 160/95 OLAI	0.017	0.166	100	6.888

SC – simplu circuit

DC – dublu circuit

Anexa 2. Sistemul test cu 25 de noduri și 29 de laturi

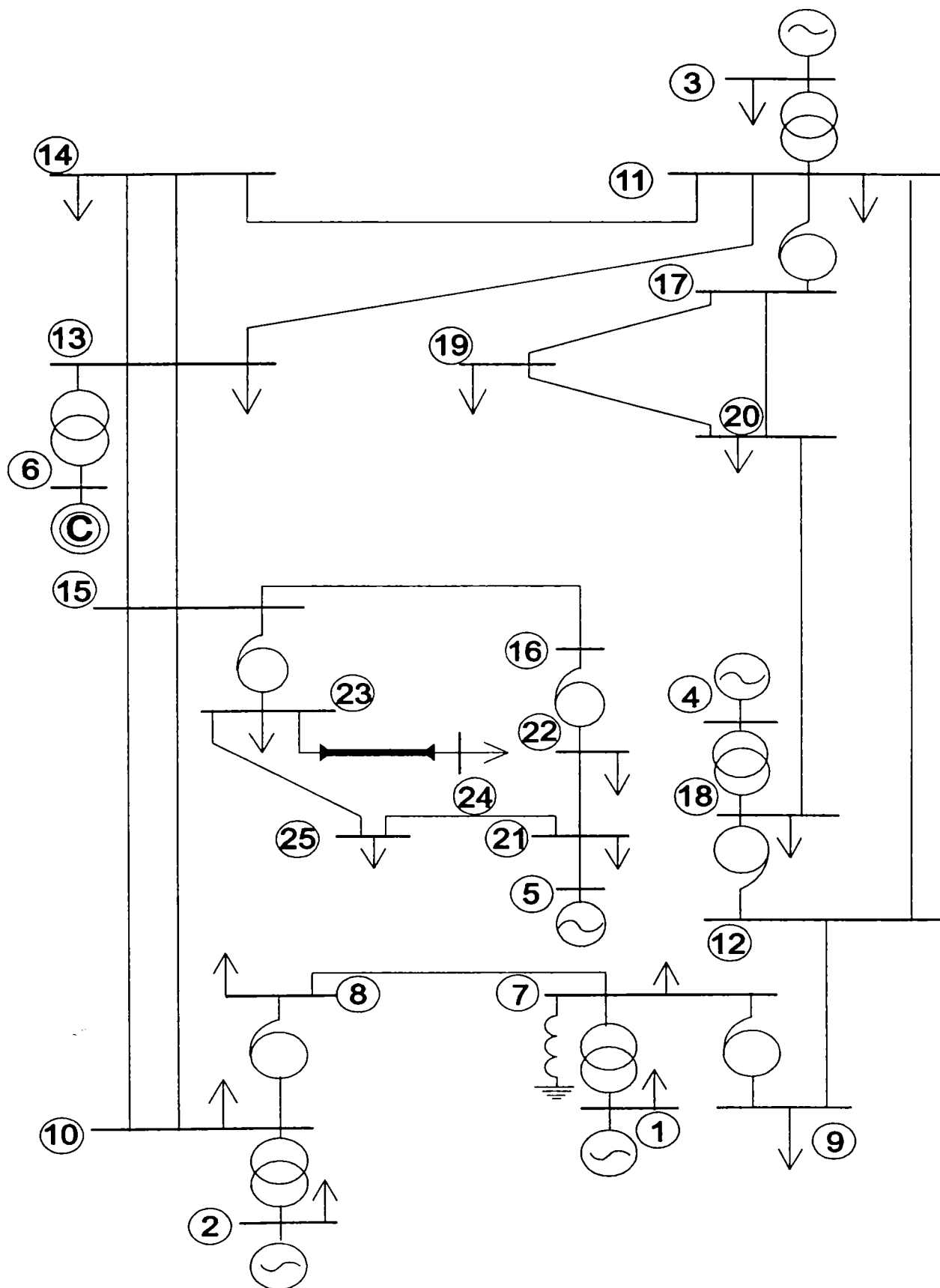


Figura A2.1 Schema monofilară pentru sistemul test cu 25 de noduri

DATE INITIALE ALE LATURILOR					pag. 1/ 1			
RETEAUA: Sistem test cu 25 de noduri					ZONA: 0			
NR. LAT.	NODURI INITIAL FINAL NUMAR NUME		PARAMETRII LONGITUD. R [Ω] X [Ω]	PARAMETRII TRANSV. G [mS] B [mS]	Iadm [A]	LINIE		
	TRAFO & ATTR					Ktr [IT/JT]	TIP buc.	PLOT
1	7	8	2.800	0.0029	1950.00	linie		
	A400	D400	28.800	0.2880				
2	9	12	4.700	0.0018	975.00	linie		
	A220	D220	34.700	0.1770				
3	10	15	4.150	0.0063	1950.00	linie		
	B220	H220	24.600	0.6320				
4	11	12	6.900	0.0024	975.00	linie		
	C220	D220	38.000	0.2400				
5	11	13	9.300	0.0035	975.00	linie		
	C220	F220	55.000	0.3520				
6	11	14	4.640	0.0047	975.00	linie		
	C220	G220	46.880	0.4730				
7	13	14	1.700	0.0028	1950.00	linie		
	F220	G220	11.600	0.2810				
8	13	15	2.350	0.0037	1950.00	linie		
	F220	H220	15.350	0.3700				
9	15	16	2.200	0.0000	975.00	linie		
	H220	I220	12.900	0.0800				
10	5	21	2.100	0.0000	575.00	linie		
	E110	L110	4.620	0.0280				
11	17	19	5.000	0.0011	575.00	linie		
	C110	J110	19.000	0.1080				
12	17	20	5.800	0.0000	575.00	linie		
	C110	K110	11.600	0.0720				
13	18	20	6.750	0.0017	575.00	linie		
	D110	K110	31.900	0.1700				
14	19	20	10.000	0.0000	575.00	linie		
	J110	K110	20.000	0.1250				
15	21	22	2.500	0.0000	575.00	linie		
	L110	I110	5.500	0.0340				
16	21	25	5.500	0.0000	575.00	linie		
	L110	N110	13.800	0.0850				
17	23	24	0.360	0.0070	575.00	linie		
	H110	M110	0.620	0.7000				
18	23	25	7.500	0.0010	575.00	linie		
	H110	N110	15.700	0.0990				
19	1	7	0.001	1.4583	17.5000	2	3	1
	A24	A400	0.075	-9.3750				
20	2	10	0.001	6.8209	15.3651	3	6	2
	B15	B220	0.018	-72.5624				
21	3	11	0.001	4.5472	16.1333	3	4	1
	C15	C220	0.027	-48.3749				
22	4	18	0.010	1.2336	11.5238	7	1	2
	D10	D110	0.208	-6.5306				
23	6	13	0.007	0.6349	23.0476	6	1	2
	F10	F220	0.230	-2.7211				
24	9	7	0.340	0.0054	1.7100	1	1	14
	A220	A400	15.301	-0.0375				
25	10	8	0.170	0.0109	1.7749	1	2	11
	B220	D400	7.751	-0.0750				
26	17	11	0.178	0.0116	2.0284	4	1	8
	C110	C220	7.613	-0.1093				
27	18	12	0.178	0.0116	2.0045	4	1	9
	D110	D220	7.525	-0.1093				
28	23	15	0.178	0.0116	1.9568	4	1	11
	H110	H220	7.394	-0.1093				
29	22	16	0.178	0.0116	1.9807	4	1	10
	I110	I220	7.452	-0.1093				
30	7	0		0.0000		consumator		
	A400	pamint		-0.6250				

Sistemul test 25 – Regimul de bază H

DATE GENERALE	
RETEAUA:Regim de baza H	
PtotGen [MW].....	2371.8
QtotGen [Mvar].....	1137.7
PtotCons [MW].....	-2341.0
QtotCons [Mvar].....	-815.0
Nr. total noduri	25
Nr. noduri generatoare	6
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	30
Nr. tipuri de trafo	7
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:regim de bază H				
REGIMUL:regim optim				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	2371.798		-2341.000	
Q [MVAR]	1133.724		-811.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	2371.798	0.000	-2341.000	-2341.000
Q [MVAR]	1137.724	-107.305	-815.000	-922.305
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSALE	
ΔP [MW]	30.798	23.407	7.392	
ΔQ [MVAR]	215.419	377.170	-161.750	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE		98.70 [%]		
COSTUL TOTAL ORAR		4275.97 \$/H		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1
RETEAUA:Regim de baza H					ZONA: 0
REGIMUL:regim optim					
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]
1	1	A24 ECH	24.500 0.000	506.798 278.915	-116.000 612.000
2	2	B15 GEN	16.100 5.001	1050.000 386.915	0.000 1000.000
3	3	C15 GEN	15.500 0.425	770.000 387.643	-75.000 800.000
4	4	D10 GEN	10.500 -7.092	25.000 17.937	-10.000 31.000
5	5	E110 GEN	115.000 -9.090	20.000 12.019	0.000 17.000
6	6	F10 GEN	10.914 -10.081	0.000 50.295	0.000 60.000
7	7	A400 CONS	414.352 -3.710	-350.000 -120.000	
8	8	D400 CONS	416.884 -3.522	-530.000 -140.000	
9	9	A220 CONS	238.383 -6.387	-156.000 -50.000	
10	10	B220 CONS	240.964 0.799	-175.000 -22.000	
11	11	C220 CONS	239.596 -4.623	-400.000 -210.000	
12	12	D220 CONS	236.936 -7.104	0.000 0.000	
13	13	F220 CONS	227.239 -9.880	-170.000 -95.000	
14	14	G220 CONS	226.084 -11.174	-237.000 -70.000	
15	15	H220 CONS	229.513 -6.917	0.000 0.000	
16	16	I220 CONS	228.437 -7.566	0.000 0.000	
17	17	C110 CONS	117.878 -6.630	0.000 0.000	
18	18	D110 CONS	116.851 -9.785	-120.000 -30.000	
19	19	J110 CONS	115.728 -8.726	-32.000 -10.000	
20	20	K110 CONS	116.641 -8.490	-22.000 4.000	
21	21	L110 CONS	114.146 -9.381	-20.000 -12.000	
22	22	I110 CONS	114.524 -9.100	-35.000 -8.000	
23	23	H110 CONS	114.777 -9.470	-12.000 -5.000	
24	24	M110 CONS	114.441 -9.582	-58.000 -33.000	
25	25	N110 CONS	113.181 -10.073	-24.000 -10.000	

Sistemul test 25 – Regimul de bază M

DATE GENERALE	
RETEAUA:Test 25 Regim de baza M	
PtotGen [MW].....	1656.5
QtotGen [Mvar].....	720.7
PtotCons [MW].....	-1638.7
QtotCons [Mvar].....	-570.5
Nr. total noduri	25
Nr. noduri generatoare	6
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	30
Nr. tipuri de trafo	7
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:Test 25				
REGIMUL:Regim de baza M				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	1656.454		-1638.700	
Q [MVAR]	717.866		-567.700	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	1656.454	0.000	-1638.700	-1638.700
Q [MVAR]	720.666	-101.883	-570.500	-672.383
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	17.754	11.592	6.162	
ΔQ [MVAR]	48.283	217.307	-169.024	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.93 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			33289.08 \$/H	

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1	
RETEAUA:Test 25					ZONA: 0	
REGIMUL:Regim de baza M						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.000	506.454	-80.000	
		ECH	0.000	216.543	600.000	
2	2	B15	15.800	505.000	0.000	
		GEN	-2.531	228.426	600.000	
3	3	C15	15.750	600.000	-75.000	
		GEN	-0.192	221.125	520.000	
4	4	D10	10.400	25.000	-10.000	
		GEN	-6.362	16.176	31.000	
5	5	E110	115.000	20.000	0.000	
		GEN	-10.703	8.480	17.000	
6	6	F10	10.500	0.000	0.000	
		GEN	-10.818	27.116	60.000	
7	7	A400	403.749	-245.000		
		CONS	-5.847	-84.000		
8	8	D400	406.850	-371.000		
		CONS	-7.415	-98.000		
9	9	A220	236.109	-109.200		
		CONS	-7.519	-35.000		
10	10	B220	236.867	-122.500		
		CONS	-5.662	-15.400		
11	11	C220	234.627	-280.000		
		CONS	-5.236	-147.000		
12	12	D220	234.394	0.000		
		CONS	-7.436	0.000		
13	13	F220	228.406	-119.000		
		CONS	-10.704	-66.500		
14	14	G220	227.408	-165.900		
		CONS	-11.257	-49.000		
15	15	H220	230.704	0.000		
		CONS	-9.581	0.000		
16	16	I220	230.146	0.000		
		CONS	-9.974	0.000		
17	17	C110	115.794	0.000		
		CONS	-6.697	0.000		
18	18	D110	116.065	-84.000		
		CONS	-9.109	-21.000		
19	19	J110	114.455	-22.400		
		CONS	-8.238	-7.000		
20	20	K110	115.200	-15.400		
		CONS	-8.103	2.800		
21	21	L110	114.288	-14.000		
		CONS	-11.026	-8.400		
22	22	I110	114.369	-24.500		
		CONS	-10.919	-5.600		
23	23	H110	114.857	-8.400		
		CONS	-11.347	-3.500		
24	24	M110	114.629	-40.600		
		CONS	-11.428	-23.100		
25	25	N110	113.709	-16.800		
		CONS	-11.632	-7.000		

Sistemul test 25 – Regimul de bază L

DATE GENERALE	
RETEAUA:Test 25	
PtotGen [MW].....	946.0
QtotGen [Mvar].....	348.7
PtotCons [MW].....	-936.4
QtotCons [Mvar].....	-326.0
Nr. total noduri	25
Nr. noduri generatoare	6
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	30
Nr. tipuri de trafo	7
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:Test 25				
REGIMUL:Regim de baza L				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	946.047		-936.400	
Q [MVAR]	347.101		-324.400	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	946.047	0.000	-936.400	-936.400
Q [MVAR]	348.701	-91.999	-326.000	-417.999
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	9.647	4.574	5.073	
ΔQ [MVAR]	-69.298	92.659	-161.957	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.98 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			17400.94 \$/H	

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1	
RETEAUA:Test 25					ZONA: 0	
REGIMUL:Regim de baza L						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.000	206.047	-38.000	
		ECH	0.000	110.287	204.000	
2	2	B15	15.750	395.000	0.000	
		GEN	0.263	115.112	500.000	
3	3	C15	15.600	300.000	-25.000	
		GEN	-1.122	88.732	400.000	
4	4	D10	10.600	25.000	-10.000	
		GEN	-4.021	16.132	31.000	
5	5	E110	114.000	20.000	0.000	
		GEN	-6.325	9.680	17.000	
6	6	F10	10.300	0.000	0.000	
		GEN	-7.388	7.158	60.000	
7	7	A400	383.664	-140.000		
		CONS	-4.755	-48.000		
8	8	D400	386.604	-212.000		
		CONS	-4.828	-56.000		
9	9	A220	221.024	-62.400		
		CONS	-5.872	-20.000		
10	10	B220	226.150	-70.000		
		CONS	-3.016	-8.800		
11	11	C220	223.378	-160.000		
		CONS	-4.940	-84.000		
12	12	D220	222.721	0.000		
		CONS	-5.921	0.000		
13	13	F220	222.097	-68.000		
		CONS	-7.355	-38.000		
14	14	G220	221.409	-94.800		
		CONS	-7.888	-28.000		
15	15	H220	224.000	0.000		
		CONS	-6.140	0.000		
16	16	I220	223.935	0.000		
		CONS	-6.307	0.000		
17	17	C110	112.851	0.000		
		CONS	-5.721	0.000		
18	18	D110	112.527	-48.000		
		CONS	-6.662	-12.000		
19	19	J110	112.125	-12.800		
		CONS	-6.601	-4.000		
20	20	K110	112.522	-8.800		
		CONS	-6.451	1.600		
21	21	L110	113.234	-8.000		
		CONS	-6.643	-4.800		
22	22	I110	113.011	-14.000		
		CONS	-6.679	-3.200		
23	23	H110	112.582	-4.800		
		CONS	-7.102	-2.000		
24	24	M110	112.459	-23.200		
		CONS	-7.153	-13.200		
25	25	N110	112.488	-9.600		
		CONS	-7.137	-4.000		

Anexa 3a. Sistemul test cu 25 de noduri – Regim oarecare cu sarcină ridicată

DATE GENERALE	
RETEAUA: test 25 exemplu 1	
PtotGen [MW].....	2375.3
QtotGen [Mvar].....	1198.3
PtotCons [MW].....	-2341.0
QtotCons [Mvar].....	-815.0
Nr. total noduri	25
Nr. noduri generatoare	6
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	30
Nr. tipuri de trafo	7

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 25 exemplu 1 REGIMUL:regim initial				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	2375.254		-2341.000	
Q [MVAR]	1194.348		-811.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	2375.254	0.000	-2341.000	-2341.000
Q [MVAR]	1198.348	-102.923	-815.000	-917.923
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	34.254	27.186	7.069	
ΔQ [MVAR]	280.425	434.652	-154.227	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.56 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR 44625.09 \$/h				

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 25 exemplu 1 REGIMUL:regim corectat				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	2371.819		-2341.000	
Q [MVAR]	1133.325		-811.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	2371.819	0.000	-2341.000	-2341.000
Q [MVAR]	1137.325	-107.260	-815.000	-922.260
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	30.819	23.419	7.399	
ΔQ [MVAR]	215.065	377.067	-162.003	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.70 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR 42756.37 \$/h				

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1	
RETEAUA:test 25 exemplu 1					ZONA: 0	
REGIMUL:regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.200	330.254	-116.000	
		ECH	0.000	330.479	612.000	
2	2	B15	15.700	1050.000	0.000	
		GEN	8.241	340.127	1000.000	
3	3	C15	15.200	950.000	-75.000	
		GEN	11.234	417.554	800.000	
4	4	D10	10.500	25.000	-10.000	
		GEN	-0.896	29.188	31.000	
5	5	E110	110.560	20.000	0.000	
		GEN	-4.364	17.000	17.000	
6	6	F10	10.904	0.000	0.000	
		GEN	-3.774	60.000	60.000	
7	7	A400	405.803	-350.000		
		CONS	-2.476	-120.000		
8	8	D400	404.816	-530.000		
		CONS	-1.358	-140.000		
9	9	A220	232.634	-156.000		
		CONS	-3.839	-50.000		
10	10	B220	235.499	-175.000		
		CONS	3.825	-22.000		
11	11	C220	234.080	-400.000		
		CONS	4.712	-210.000		
12	12	D220	230.988	0.000		
		CONS	-1.180	0.000		
13	13	F220	222.271	-170.000		
		CONS	-3.530	-95.000		
14	14	G220	220.735	-237.000		
		CONS	-4.318	-70.000		
15	15	H220	224.983	0.000		
		CONS	-1.946	0.000		
16	16	I220	224.521	0.000		
		CONS	-2.606	0.000		
17	17	C110	115.234	0.000		
		CONS	2.175	0.000		
18	18	D110	114.284	-120.000		
		CONS	-3.588	-30.000		
19	19	J110	112.949	-32.000		
		CONS	-0.288	-10.000		
20	20	K110	113.709	-22.000		
		CONS	-0.336	4.000		
21	21	L110	109.464	-20.000		
		CONS	-4.631	-12.000		
22	22	I110	109.271	-35.000		
		CONS	-4.270	-8.000		
23	23	H110	111.961	-12.000		
		CONS	-4.704	-5.000		
24	24	M110	111.614	-58.000		
		CONS	-4.822	-33.000		
25	25	N110	109.307	-24.000		
		CONS	-5.345	-10.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1	
RETEAUA:test 25 exemplu 1					ZONA: 0	
REGIMUL:regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.500	506.819	-116.000	
		ECH	0.000	280.521	612.000	
2	2	B15	16.100	1050.000	0.000	
		GEN	4.999	385.972	1000.000	
3	3	C15	15.500	770.000	-75.000	
		GEN	0.435	387.960	800.000	
4	4	D10	10.500	25.000	-10.000	
		GEN	-7.030	14.275	31.000	
5	5	E110	115.000	20.000	0.000	
		GEN	-9.112	15.056	17.000	
6	6	F10	10.904	0.000	0.000	
		GEN	-10.071	49.542	60.000	
7	7	A400	414.266	-350.000		
		CONS	-3.711	-120.000		
8	8	D400	416.860	-530.000		
		CONS	-3.524	-140.000		
9	9	A220	238.181	-156.000		
		CONS	-6.390	-50.000		
10	10	B220	240.980	-175.000		
		CONS	0.797	-22.000		
11	11	C220	239.587	-400.000		
		CONS	-4.613	-210.000		
12	12	D220	236.394	0.000		
		CONS	-7.099	0.000		
13	13	F220	227.348	-170.000		
		CONS	-9.873	-95.000		
14	14	G220	226.171	-237.000		
		CONS	-11.165	-70.000		
15	15	H220	229.719	0.000		
		CONS	-6.919	0.000		
16	16	I220	229.108	0.000		
		CONS	-7.554	0.000		
17	17	C110	118.000	0.000		
		CONS	-6.601	0.000		
18	18	D110	117.687	-120.000		
		CONS	-9.723	-30.000		
19	19	J110	115.934	-32.000		
		CONS	-8.692	-10.000		
20	20	K110	116.932	-22.000		
		CONS	-8.466	4.000		
21	21	L110	114.024	-20.000		
		CONS	-9.376	-12.000		
22	22	I110	113.987	-35.000		
		CONS	-9.060	-8.000		
23	23	H110	116.082	-12.000		
		CONS	-9.459	-5.000		
24	24	M110	115.750	-58.000		
		CONS	-9.569	-33.000		
25	25	N110	113.723	-24.000		
		CONS	-10.048	-10.000		

Anexa 3b. Sistemul test cu 25 de noduri – regim oarecare cu sarcină scăzută

DATE GENERALE	
RETEAUA: test 25 de noduri exemplu 2	
PtotGen [MW].....	1304.0
QtotGen [Mvar].....	553.0
PtotCons [MW].....	-1287.0
QtotCons [Mvar].....	-449.4
Nr. total noduri	25
Nr. noduri generatoare	6
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	30
Nr. tipuri de trafo	7

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA: test 25 exemplu 2 REGIMUL: regim inițial				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	1303.964		-1287.000	
Q [MVAR]	550.798		-447.189	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	1303.964	0.000	-1287.000	-1287.000
Q [MVAR]	553.004	-102.304	-449.395	-551.699
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	16.964	10.950	6.014	
ΔQ [MVAR]	1.304	172.752	-171.447	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.70 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR 26299.28 \$/h				

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA: test 25 exemplu 2 REGIMUL: regim corectat				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	1300.582		-1287.000	
Q [MVAR]	522.780		-447.189	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	1300.582	0.000	-1287.000	-1287.000
Q [MVAR]	524.986	-96.332	-449.395	-545.727
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	13.582	7.812	5.770	
ΔQ [MVAR]	-20.741	143.914	-164.655	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.96 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR 2531.63 \$/h				

DATE SI REZULTATE			NODURI		pag. 1/ 1	
RETEAUA: test 25 exemplu 2				ZONA: 0		
REGIMUL: regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	25.000	158.964	-80.000	
		ECH	0.000	162.655	600.000	
2	2	B15	15.900	500.000	0.000	
		GEN	5.446	209.970	500.000	
3	3	C15	16.000	600.000	-75.000	
		GEN	10.693	114.872	520.000	
4	4	D10	10.467	25.000	-10.000	
		GEN	3.329	18.041	31.000	
5	5	E110	117.000	20.000	0.000	
		GEN	-0.804	1.114	17.000	
6	6	F10	10.900	0.000	0.000	
		GEN	-0.448	44.145	60.000	
7	7	A400	404.582	-193.000		
		CONS	-1.651	-66.169		
8	8	D400	408.692	-290.000		
		CONS	-1.292	-77.197		
9	9	A220	235.971	-86.000		
		CONS	-1.724	-27.570		
10	10	B220	237.220	-96.000		
		CONS	1.338	-12.131		
11	11	C220	230.092	-220.000		
		CONS	5.853	-115.795		
12	12	D220	233.085	0.000		
		CONS	1.338	0.000		
13	13	F220	229.859	-94.000		
		CONS	-0.273	-52.383		
14	14	G220	228.322	-130.000		
		CONS	-0.348	-38.598		
15	15	H220	232.321	0.000		
		CONS	-0.271	0.000		
16	16	I220	231.278	0.000		
		CONS	-0.550	0.000		
17	17	C110	120.146	0.000		
		CONS	4.419	0.000		
18	18	D110	116.439	-66.000		
		CONS	0.619	-16.542		
19	19	J110	118.706	-18.000		
		CONS	3.065	-5.514		
20	20	K110	118.648	-12.000		
		CONS	3.003	2.206		
21	21	L110	116.592	-11.000		
		CONS	-1.180	-6.617		
22	22	I110	117.155	-20.000		
		CONS	-1.233	-4.411		
23	23	H110	115.155	-6.000		
		CONS	-1.548	-2.757		
24	24	M110	114.982	-32.000		
		CONS	-1.613	-18.196		
25	25	N110	115.306	-13.000		
		CONS	-1.711	-5.514		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 1	
RETEAUA: test 25 exemplu 2					ZONA: 0	
REGIMUL: regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.000	355.582	-80.000	
		ECH	0.000	102.617	600.000	
2	2	B15	15.770	450.000	0.000	
		GEN	0.596	248.988	500.000	
3	3	C15	15.770	450.000	-75.000	
		GEN	0.123	107.773	520.000	
4	4	D10	10.467	25.000	-10.000	
		GEN	-3.892	27.361	31.000	
5	5	E110	114.952	20.000	0.000	
		GEN	-7.297	8.121	17.000	
6	6	F10	10.400	0.000	0.000	
		GEN	-7.863	27.920	60.000	
7	7	A400	392.595	-193.000		
		CONS	-4.027	-66.169		
8	8	D400	399.708	-290.000		
		CONS	-4.925	-77.197		
9	9	A220	230.192	-86.000		
		CONS	-5.419	-27.570		
10	10	B220	233.754	-96.000		
		CONS	-3.169	-12.131		
11	11	C220	226.736	-220.000		
		CONS	-3.605	-115.795		
12	12	D220	228.921	0.000		
		CONS	-5.361	0.000		
13	13	F220	225.560	-94.000		
		CONS	-7.744	-52.383		
14	14	G220	224.205	-130.000		
		CONS	-8.261	-38.598		
15	15	H220	228.378	0.000		
		CONS	-6.610	0.000		
16	16	I220	227.774	0.000		
		CONS	-6.906	0.000		
17	17	C110	113.381	0.000		
		CONS	-4.761	0.000		
18	18	D110	114.306	-66.000		
		CONS	-6.602	-16.542		
19	19	J110	112.423	-18.000		
		CONS	-6.034	-5.514		
20	20	K110	113.119	-12.000		
		CONS	-5.906	2.206		
21	21	L110	114.255	-11.000		
		CONS	-7.624	-6.617		
22	22	I110	114.440	-20.000		
		CONS	-7.612	-4.411		
23	23	H110	113.093	-6.000		
		CONS	-7.956	-2.757		
24	24	M110	112.915	-32.000		
		CONS	-8.023	-18.196		
25	25	N110	113.078	-13.000		
		CONS	-8.150	-5.514		

Anexa 4. Sistemul test cu 50 de noduri și 64 de laturi

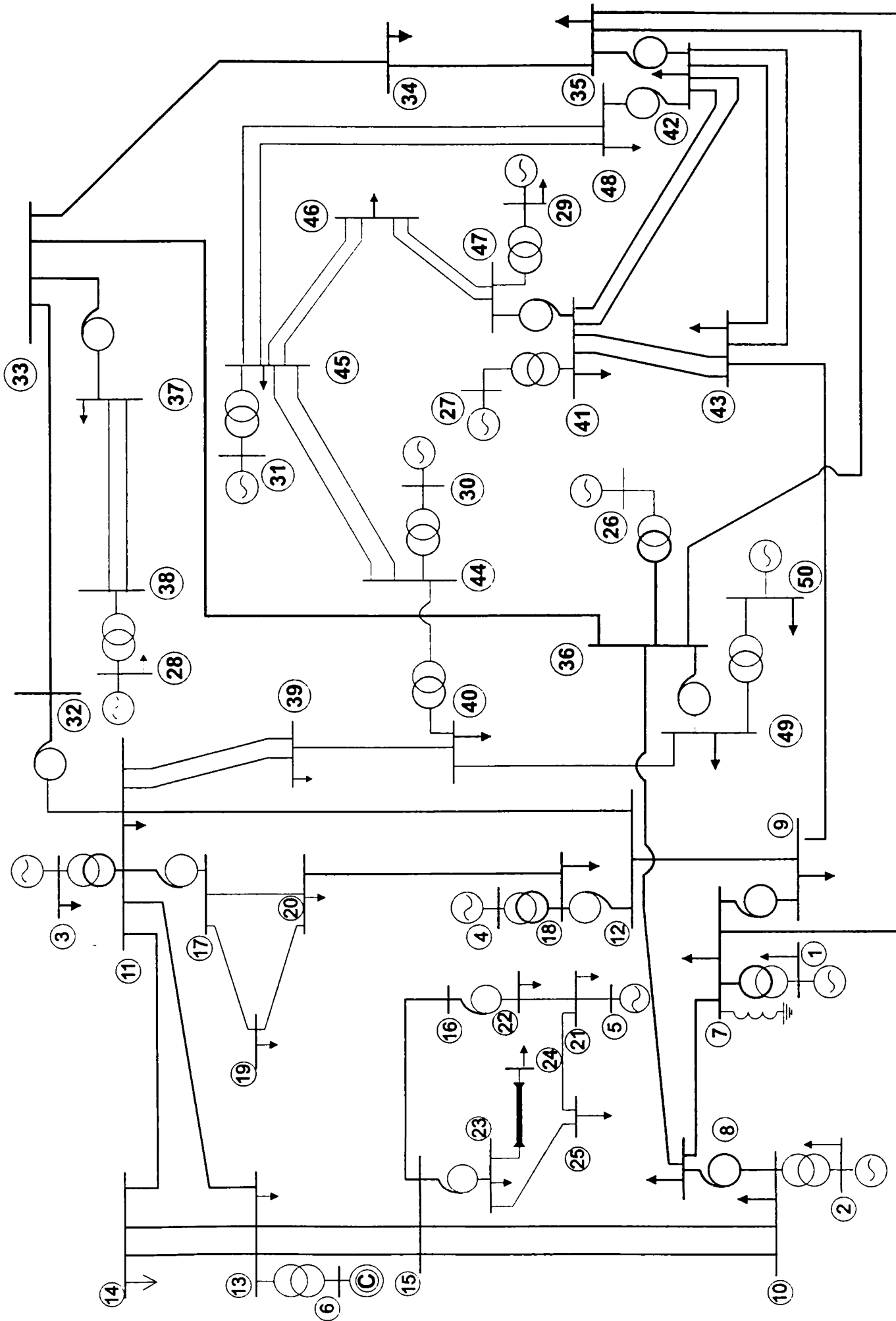


Figura A4.1 Schema monofilară pentru Sistemul test 50

DATE INITIALE LATURI					pag. 1/ 3	
RETEAUA: Sistem test cu 50 de noduri					ZONA: 0	
NR. LAT.	NODURI INITIAL FINAL NUMAR NUME		PARAMETRII LONGITUD. R [Ω] X [Ω]	PARAMETRII TRANSV. G [mS] B [mS]	Iadm [A]	LINIE
	TRAFO & ATTR					
					Ktr [IT/JT]	TIP buc. PLOT
1	5	28	2.100	0.0002	575.00	linie
	E110	L110	5.487	0.0357		
2	24	26	5.000	0.0003	575.00	linie
	C110	J110	13.065	0.0850		
3	24	27	15.800	0.0010	575.00	linie
	C110	K110	41.285	0.2680		
4	25	27	6.750	0.0040	575.00	linie
	D110	K110	17.630	0.1140		
5	26	27	10.000	0.0013	575.00	linie
	J110	K110	26.130	0.1700		
6	28	29	2.500	0.0002	575.00	linie
	L110	I110	6.533	0.0425		
7	28	32	5.500	0.0003	575.00	linie
	L110	N110	14.372	0.0935		
8	30	32	7.500	0.0005	575.00	linie
	H110	N110	19.597	0.1275		
9	45	46	6.200	0.0008	970.00	linie
	V110	Y110	20.130	0.5840		
10	46	47	4.800	0.0012	970.00	linie
	Y110	X110	15.530	0.4510		
11	46	49	8.400	0.0001	970.00	linie
	Y110	Q110	27.270	0.7900		
12	47	48	4.200	0.0010	970.00	linie
	X110	W110	13.600	0.3950		
13	16	19	4.700	0.0009	975.00	linie
	A220	D220	28.300	0.1880		
14	16	44	7.300	0.0015	975.00	linie
	A220	V220	43.976	0.2920		
15	17	22	4.150	0.0034	1950.00	linie
	B220	H220	26.770	0.6910		
16	18	19	6.900	0.0013	975.00	linie
	C220	D220	41.560	0.2760		
17	18	20	9.300	0.0018	975.00	linie
	C220	F220	56.020	0.3720		
18	18	21	4.640	0.0090	975.00	linie
	C220	G220	27.950	0.1850		
19	18	40	1.700	0.0014	1950.00	linie
	C220	T220	10.960	0.2830		
20	20	21	1.700	0.0014	1950.00	linie
	F220	G220	10.960	0.2830		
21	20	22	2.490	0.0020	1950.00	linie
	F220	H220	16.060	0.4150		
22	22	23	2.200	0.0001	975.00	linie
	H220	I220	13.253	0.0880		
23	38	39	1.400	0.0012	1950.00	linie
	O220	S220	9.032	0.2333		
24	40	41	3.400	0.0070	975.00	linie
	T220	U220	20.482	0.1360		
25	41	50	6.900	0.0014	975.00	linie
	U220	P220	41.566	0.2760		

DATE INITIALE LATURI					pag. 2/ 3			
RETEAUA: Sistem test cu 50 de noduri					ZONA: 0			
NR. LAT.	NODURI		PARAMETRII LONGITUD. R [Ω] X [Ω]	PARAMETRII TRANSV. G [mS] B [mS]	Iadm [A] LINIE			
	INITIAL	FINAL			TRAFO & ATTR			
	NUMAR	NUME			Ktr [IT/JT]	TIP buc.	PLOT	
26	43	42	4.000	0.0033	1950.00	linie		
	Q220	W220	25.300	0.6600				
27	44	42	4.150	0.0035	1950.00	linie		
	V220	W220	26.774	0.6920				
28	44	43	4.100	0.0034	1950.00	linie		
	V220	Q220	26.450	0.6910				
29	14	15	2.800	0.0029	1950.00	linie		
	A400	B400	27.450	0.2880				
30	14	36	5.700	0.0058	1950.00	linie		
	A400	Q400	55.882	0.5860				
31	15	37	15.000	0.0028	1950.00	linie		
	B400	P400	27.451	0.2880				
32	33	34	4.290	0.0044	1950.00	linie		
	C400	O400	42.059	0.4410				
33	34	35	4.200	0.0043	1950.00	linie		
	O400	R400	41.176	0.4320				
34	35	36	5.000	0.0051	1950.00	linie		
	R400	Q400	49.020	0.5140				
35	36	37	6.100	0.0062	1950.00	linie		
	Q400	P400	59.804	0.6270				
36	37	34	8.700	0.0089	1950.00	linie		
	P400	O400	85.294	0.8950				
37	30	31	0.360	0.0002	1000.00	linie		
	H110	M110	0.941	0.0061				
38	4	25	0.003	1.3605	11.5238	7	1	2
	D10	D110	0.102	-11.3379				
39	6	20	0.007	0.6349	24.2000	8	1	1
	F10	F220	0.230	-2.7211				
40	10	48	0.001	4.0816	11.5238	7	3	2
	W10	W110	0.034	-34.0136				
41	11	45	0.002	2.7211	11.5238	7	2	2
	V10	V110	0.051	-22.6757				
42	12	46	0.003	1.3605	12.1000	7	1	1
	Y10	Y110	0.102	-11.3379				
43	2	17	0.001	6.8209	15.3651	4	6	2
	B15	B220	0.018	-72.5624				
44	3	18	0.001	6.8209	15.3651	4	6	2
	C15	C220	0.018	-72.5624				
45	9	39	0.002	2.2736	16.1333	4	2	1
	S15	S220	0.054	-24.1875				
46	13	50	0.001	3.4104	15.3651	4	3	2
	P15	P220	0.036	-36.2812				
47	1	14	0.001	1.4583	17.5000	2	3	1
	A24	A400	0.075	-9.3750				
48	7	37	0.001	1.9444	17.5000	2	4	1
	P24	P400	0.056	-12.5000				
49	8	42	0.002	0.6944	10.1062	3	2	1
	W24	W220	0.115	-13.8889				
50	24	18	0.178	0.0116	1.9807	5	1	10
	C110	C220	7.321	-0.1093				

DATE INITIALE LATURI					pag. 3/ 3		
RETEAUA: Sistem test cu 50 de noduri					ZONA: 0		
NR.	NODURI		PARAMETRII LONGITUD. R [Ω] X [Ω]	PARAMETRII TRANSV. G [mS] B [mS]	Iadm [A] LINIE		
	INITIAL NUMAR	FINAL NUME			TRAFO & ATTR		
LAT.					Ktr [IT/JT]	TIP buc.	PLOT
51	25	19	0.178	0.0116	1.9091	5	1 13
	D110	D220	7.321	-0.1093			
52	29	23	0.178	0.0116	1.8614	5	1 15
	I110	I220	7.321	-0.1093			
53	30	22	0.178	0.0116	1.8375	5	1 16
	H110	H220	7.321	-0.1093			
54	45	41	0.089	0.0232	1.9568	5	2 11
	V110	U220	3.660	-0.2186			
55	48	42	0.089	0.0232	2.0284	5	2 8
	W110	W220	3.660	-0.2186			
56	49	43	0.089	0.0232	1.9091	5	2 13
	Q110	Q220	3.660	-0.2186			
57	16	14	0.340	0.0054	1.7316	1	1 13
	A220	A400	15.341	-0.0375			
58	17	15	0.170	0.0109	1.7532	1	2 12
	B220	B400	7.671	-0.0750			
59	18	33	0.170	0.0109	1.7749	1	2 11
	C220	C400	7.671	-0.0750			
60	38	34	0.170	0.0109	1.7316	1	2 13
	O220	O400	7.671	-0.0750			
61	43	36	0.170	0.0109	1.7316	1	2 13
	Q220	Q400	7.671	-0.0750			
62	50	37	0.170	0.0109	1.6883	1	2 15
	P220	P400	7.671	-0.0750			
63	14	0		0.0000			consumator
	A400	pamint		-0.6250			
64	37	0		0.0000			consumator
	P400	pamint		-0.6250			

Sistemul Test cu 50 de noduri – Regimul de bază H

DATE GENERALE	
RETEAUA: Regim de bază H	
PtotGen [MW].....	5500.1
QtotGen [Mvar].....	2524.3
PtotCons [MW].....	-5368.0
QtotCons [Mvar].....	-1919.0
Nr. total noduri	50
Nr. noduri generatoare	13
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	64
Nr. tipuri de trafo	9
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 50				
REGIMUL:Regim de bază H				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	5500.083		-5368.000	
Q [MVAR]	2524.291		-1919.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANȚE TRANSVERSALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	5500.083	0.000	-5368.000	-5368.000
Q [MVAR]	2524.291	-206.588	-1919.000	-2125.588
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSALE	
ΔP [MW]	132.083	110.581	21.502	
ΔQ [MVAR]	398.703	1272.999	-874.296	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			97.60 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR 116972.08 \$/H				

DATE SI REZULTATE			NODURI		pag. 1/ 2	
RETEAUA:test 50				ZONA: 0		
REGIMUL:Regim de bază H						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	23.700	445.083	-116.000	
		ECH	0.000	265.398	1000.000	
2	2	B15	15.600	1050.000	0.000	
		GEN	7.026	405.385	1000.000	
3	3	C15	15.500	1200.000	-75.000	
		GEN	1.559	596.064	1000.000	
4	4	D10	10.300	40.000	-10.000	
		GEN	-9.266	31.879	51.000	
5	5	E110	113.500	20.000	0.000	
		GEN	-10.477	11.301	17.000	
6	6	F10	10.129	0.000	0.000	
		GEN	-10.814	57.068	60.000	
7	7	P24	24.500	1125.000	-99.000	
		GEN	8.563	449.532	1300.000	
8	8	W24	23.700	160.000	-60.000	
		GEN	-6.162	97.181	600.000	
9	9	S15	15.400	400.000	0.000	
		GEN	3.025	181.195	500.000	
10	10	W10	10.900	300.000	-44.000	
		GEN	-0.029	187.712	314.000	
11	11	V10	10.600	160.000	-15.000	
		GEN	1.407	88.452	200.000	
12	12	Y10	9.680	0.000	0.000	
		GEN	-10.322	27.175	30.000	
13	13	P15	16.000	600.000	-44.000	
		GEN	9.317	125.950	600.000	
14	14	A400	400.507	0.000		
		CONS	-3.481	0.000		
15	15	B400	399.206	-663.000		
		CONS	-1.459	-175.000		
16	16	A220	225.541	-195.000		
		CONS	-8.074	-63.000		
17	17	B220	232.785	-219.000		
		CONS	2.539	-28.000		
18	18	C220	227.972	-375.000		
		CONS	-3.692	-231.000		
19	19	D220	223.360	0.000		
		CONS	-8.231	0.000		
20	20	F220	213.887	-213.000		
		CONS	-10.542	-113.000		
21	21	G220	214.262	-296.000		
		CONS	-11.337	-44.000		
22	22	H220	215.636	0.000		
		CONS	-7.322	0.000		
23	23	I220	213.728	0.000		
		CONS	-8.324	0.000		
24	24	C110	114.807	0.000		
		CONS	-6.088	0.000		
25	25	D110	115.053	-150.000		
		CONS	-11.485	-38.000		
26	26	J110	112.026	-40.000		
		CONS	-8.972	-13.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2
RETEAUA:test 50					ZONA: 0
REGIMUL:Regim de bază H					
NR. CRT.	NR. NCD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]
27	27	K110	113.032	-28.000	
		CONS	-10.614	-5.000	
28	28	L110	112.575	-25.000	
		CONS	-10.860	-15.000	
29	29	I110	113.465	-44.000	
		CONS	-10.368	-10.000	
30	30	H110	113.483	-15.000	
		CONS	-10.554	-6.000	
31	31	M110	112.908	-73.000	
		CONS	-10.795	-41.000	
32	32	N110	111.219	-30.000	
		CONS	-11.697	-13.000	
33	33	C400	406.221	0.000	
		CONS	-4.495	0.000	
34	34	O400	404.843	0.000	
		CONS	-5.864	0.000	
35	35	R400	391.958	-538.000	
		CONS	-12.550	-100.000	
36	36	Q400	390.338	-675.000	
		CONS	-10.948	-125.000	
37	37	P400	412.474	-94.000	
		CONS	2.331	-75.000	
38	38	O220	232.986	-230.000	
		CONS	-5.135	-120.000	
39	39	S220	238.680	-75.000	
		CONS	-2.284	-31.000	
40	40	T220	220.847	-300.000	
		CONS	-5.836	-163.000	
41	41	U220	226.635	-110.000	
		CONS	-3.392	-48.000	
42	42	W220	234.897	-31.000	
		CONS	-8.054	-50.000	
43	43	Q220	223.865	-438.000	
		CONS	-12.874	-100.000	
44	44	V220	223.733	-163.000	
		CONS	-11.627	-113.000	
45	45	V110	117.341	-38.000	
		CONS	-2.861	-25.000	
46	46	Y110	113.721	-81.000	
		CONS	-10.262	-38.000	
47	47	X110	113.666	-56.000	
		CONS	-8.981	-31.000	
48	48	W110	119.036	-29.000	
		CONS	-5.134	-18.000	
49	49	Q110	116.616	-25.000	
		CONS	-12.985	-6.000	
50	50	P220	241.822	-119.000	
		CONS	4.473	-81.000	

Sistemul test cu 50 de noduri – regimul de bază M

DATE GENERALE	
RETEAUA: Regim de bază M	
PtotGen [MW].....	4370.8
QtotGen [Mvar].....	1590.7
PtotCons [MW].....	-4291.0
QtotCons [Mvar].....	-1532.0
Nr. total noduri	50
Nr. noduri generatoare	13
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	64
Nr. tipuri de trafo	9
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 50				
REGIMUL:Regim de bază M				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	4370.848		-4291.000	
Q [MVAR]	1590.746		-1532.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	4370.848	0.000	-4291.000	-4291.000
Q [MVAR]	1590.746	-205.577	-1532.000	-1737.577
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSALE	
ΔP [MW]	79.848	57.873	21.975	
ΔQ [MVAR]	-146.830	746.677	-893.507	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.17 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			89541.2 \$/H	

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 2	
RETEAUA:test 50					ZONA: 0	
REGIMUL:Regim de bază M						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.700	470.848	-116.000	
		ECH	0.000	186.990	1000.000	
2	2	B15	15.700	1050.000	0.000	
		GEN	6.835	204.733	1000.000	
3	3	C15	15.700	1000.000	-75.000	
		GEN	0.268	409.857	1000.000	
4	4	D10	10.575	40.000	-10.000	
		GEN	-7.416	26.729	51.000	
5	5	E110	119.000	20.000	0.000	
		GEN	-7.581	8.395	27.000	
6	6	F10	10.593	0.000	0.000	
		GEN	-8.647	58.058	60.000	
7	7	P24	25.000	650.000	-99.000	
		GEN	1.779	230.806	1300.000	
8	8	W24	25.000	160.000	-60.000	
		GEN	-6.962	88.479	600.000	
9	9	S15	15.800	400.000	0.000	
		GEN	3.327	123.029	500.000	
10	10	W10	10.700	180.000	-44.000	
		GEN	-4.114	96.861	300.000	
11	11	V10	10.600	100.000	-15.000	
		GEN	-0.197	43.653	200.000	
12	12	Y10	10.1391	0.000	0.000	
		GEN	-11.136	28.985	30.000	
13	13	P15	15.500	300.000	-44.000	
		GEN	1.682	84.169	600.000	
14	14	A400	402.617	0.000		
		CONS	-3.360	0.000		
15	15	B400	400.521	-530.000		
		CONS	-2.054	-140.000		
16	16	A220	229.517	-156.000		
		CONS	-7.225	-50.000		
17	17	B220	237.865	-175.000		
		CONS	2.443	-22.000		
18	18	C220	234.245	-300.000		
		CONS	-3.947	-185.000		
19	19	D220	229.563	0.000		
		CONS	-7.259	0.000		
20	20	F220	225.978	-170.000		
		CONS	-8.396	-90.000		
21	21	G220	225.866	-237.000		
		CONS	-9.153	-35.000		
22	22	H220	227.048	0.000		
		CONS	-5.584	0.000		
23	23	I220	225.771	0.000		
		CONS	-6.263	0.000		
24	24	C110	118.270	0.000		
		CONS	-5.695	0.000		
25	25	D110	118.893	-120.000		
		CONS	-9.516	-30.000		
26	26	J110	116.341	-32.000		
		CONS	-7.829	-10.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2
RETEAUA: test 50					ZONA: 0
REGIMUL: Regim de bază M					
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]
27	27	K110	117.280	-22.000	
		CONS	-8.966	-4.000	
28	28	L110	118.251	-20.000	
		CONS	-7.954	-12.000	
29	29	I110	118.806	-35.000	
		CONS	-7.665	-8.000	
30	30	H110	119.041	-12.000	
		CONS	-7.913	-5.000	
31	31	M110	118.603	-58.000	
		CONS	-8.086	-33.000	
32	32	N110	117.328	-24.000	
		CONS	-8.645	-10.000	
33	33	C400	403.740	0.000	
		CONS	-4.657	0.000	
34	34	O400	405.639	0.000	
		CONS	-5.982	0.000	
35	35	R400	397.962	-430.000	
		CONS	-11.513	-80.000	
36	36	Q400	397.161	-540.000	
		CONS	-10.582	-100.000	
37	37	P400	408.438	-75.000	
		CONS	-1.612	-60.000	
38	38	O220	232.683	-184.000	
		CONS	-4.757	-96.000	
39	39	S220	236.683	-60.000	
		CONS	-1.668	-25.000	
40	40	T220	227.177	-240.000	
		CONS	-6.248	-130.000	
41	41	U220	228.466	-88.000	
		CONS	-5.645	-38.000	
42	42	W220	236.846	-25.000	
		CONS	-8.658	-40.000	
43	43	Q220	228.514	-350.000	
		CONS	-12.150	-80.000	
44	44	V220	228.713	-130.000	
		CONS	-11.017	-90.000	
45	45	V110	117.520	-30.000	
		CONS	-5.548	-20.000	
46	46	Y110	116.526	-65.000	
		CONS	-11.080	-30.000	
47	47	X110	116.096	-45.000	
		CONS	-10.178	-25.000	
48	48	W110	119.781	-23.000	
		CONS	-7.220	-14.000	
49	49	Q110	119.227	-20.000	
		CONS	-12.340	-5.000	
50	50	P220	235.195	-95.000	
		CONS	-0.879	-65.000	

Sistemul test cu 50 de noduri – regimul de bază L

DATE GENERALE	
RETEAUA: Regim de bază L	
PtotGen [MW].....	3285.0
QtotGen [Mvar].....	1026.4
PtotCons [MW].....	-3222.0
QtotCons [Mvar].....	-1156.0
Nr. total noduri	50
Nr. noduri generatoare	13
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	64
Nr. tipuri de trafo	9
Nr. zone	0

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 50				
REGIMUL:Regim de bază L				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	3284.964		-3222.000	
Q [MVAR]	1026.381		-1156.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	3284.964	0.000	-3222.000	-3222.000
Q [MVAR]	1026.381	-198.979	-1156.000	-1354.979
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSALE	
ΔP [MW]	62.964	42.215	20.749	
ΔQ [MVAR]	-328.599	550.840	-879.439	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.08 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			69533.1 \$/H	

DATE SI REZULTATE NODURI				pag. 1/ 2	
RETEAUA:test 50				ZONA: 0	
REGIMUL:Regim de bază L					
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]
1	1	A24	24.000	471.964	-116.000
		ECH	0.000	120.120	1000.000
2	2	B15	15.100	883.000	0.000
		GEN	6.285	61.293	1000.000
3	3	C15	15.300	600.000	-75.000
		GEN	-4.387	240.366	1000.000
4	4	D10	10.500	25.000	-10.000
		GEN	-9.148	25.147	31.000
5	5	E110	118.020	20.000	0.000
		GEN	-7.035	5.652	17.000
6	6	F10	10.260	0.000	0.000
		GEN	-9.499	45.128	60.000
7	7	P24	24.600	650.000	-99.000
		GEN	3.010	167.334	1300.000
8	8	W24	24.500	160.000	-60.000
		GEN	-6.642	73.033	600.000
9	9	S15	15.200	0.000	0.000
		GEN	-11.908	53.545	500.000
10	10	W10	10.200	75.000	-44.000
		GEN	-6.691	30.280	214.000
11	11	V10	10.600	100.000	-15.000
		GEN	-0.806	46.176	200.000
12	12	Y10	10.221	0.000	0.000
		GEN	-10.550	18.006	30.000
13	13	P15	15.700	300.000	-44.000
		GEN	2.901	140.299	600.000
14	14	A400	395.541	0.000	
		CONS	-2.652	0.000	
15	15	B400	393.359	-398.000	
		CONS	-1.507	-105.000	
16	16	A220	227.029	-117.000	
		CONS	-6.665	-38.000	
17	17	B220	231.041	-131.000	
		CONS	2.314	-17.000	
18	18	C220	229.964	-225.000	
		CONS	-7.559	-139.000	
19	19	D220	227.166	0.000	
		CONS	-8.350	0.000	
20	20	F220	223.921	-128.000	
		CONS	-9.295	-68.000	
21	21	G220	224.008	-178.000	
		CONS	-10.365	-26.000	
22	22	H220	224.047	0.000	
		CONS	-5.888	0.000	
23	23	I220	223.186	0.000	
		CONS	-6.353	0.000	
24	24	C110	116.319	0.000	
		CONS	-8.677	0.000	
25	25	D110	118.187	-90.000	
		CONS	-10.462	-23.000	
26	26	J110	115.147	-24.000	
		CONS	-10.125	-8.000	

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2
RETEAUA:test 50					ZONA: 0
REGIMUL:Regim de bază L					
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]
27	27	K110	116.400	-17.000	
		CONS	-10.606	-3.000	
28	28	L110	117.393	-15.000	
		CONS	-7.437	-9.000	
29	29	I110	117.708	-26.000	
		CONS	-7.311	-6.000	
30	30	H110	118.087	-9.000	
		CONS	-7.644	-4.000	
31	31	M110	117.753	-44.000	
		CONS	-7.778	-25.000	
32	32	N110	116.730	-18.000	
		CONS	-8.062	-8.000	
33	33	C400	397.042	0.000	
		CONS	-8.362	0.000	
34	34	O400	400.128	0.000	
		CONS	-9.866	0.000	
35	35	R400	396.165	-323.000	
		CONS	-12.433	-60.000	
36	36	Q400	394.702	-405.000	
		CONS	-9.687	-75.000	
37	37	P400	402.386	-56.000	
		CONS	-1.665	-45.000	
38	38	O220	229.730	-138.000	
		CONS	-11.383	-72.000	
39	39	S220	230.801	-45.000	
		CONS	-11.881	-19.000	
40	40	T220	225.451	-180.000	
		CONS	-8.533	-98.000	
41	41	U220	227.775	-66.000	
		CONS	-6.565	-29.000	
42	42	W220	232.653	-19.000	
		CONS	-8.407	-30.000	
43	43	Q220	227.258	-263.000	
		CONS	-10.951	-60.000	
44	44	V220	227.296	-98.000	
		CONS	-10.043	-68.000	
45	45	V110	117.239	-23.000	
		CONS	-6.165	-15.000	
46	46	Y110	115.775	-49.000	
		CONS	-10.514	-23.000	
47	47	X110	114.543	-34.000	
		CONS	-10.153	-19.000	
48	48	W110	116.386	-17.000	
		CONS	-8.092	-11.000	
49	49	Q110	118.630	-15.000	
		CONS	-11.148	-4.000	
50	50	P220	233.991	-71.000	
		CONS	-0.888	-49.000	

Anexa 5a. Sistemul test cu 50 de noduri – Regim oarecare cu sarcină ridicată

DATE GENERALE	
RETEAUA: test 50 exemplu 1	
PtotGen [MW].....	4954.6
QtotGen [Mvar].....	2128.5
PtotCons [MW].....	-4835.0
QtotCons [Mvar].....	-1738.9
Nr. total noduri	50
Nr. noduri generatoare	13
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	64
Nr. tipuri de trafo	9

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA: test 50 exemplu 1 REGIMUL: regim initial				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	4954.563		-4835.000	
Q [MVAR]	2120.598		-1731.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	4954.563	0.000	-4835.000	-4835.000
Q [MVAR]	2128.459	-201.890	-1738.862	-1940.751
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	119.563	97.694	21.869	
ΔQ [MVAR]	187.708	1073.738	-886.030	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE				97.59 [%]
COSTUL TOTAL ORAR				105612.08 \$/h

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA: test 50 exemplu 1 REGIMUL: regim corectat				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	4937.208		-4835.000	
Q [MVAR]	2017.271		-1731.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	4937.208	0.000	-4835.000	-4835.000
Q [MVAR]	2017.271	-207.194	-1731.000	-1938.194
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	102.208	80.285	21.923	
ΔQ [MVAR]	79.077	969.263	-890.186	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE				97.93 [%]
COSTUL TOTAL ORAR				103300.19 \$/h

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 2	
RETEAUA:test 50 exemplu 1					ZONA: 0	
REGIMUL:regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	23.500	530.563	-116.000	
		ECH	0.000	-7.862	1000.000	
2	2	B15	15.750	900.000	0.000	
		GEN	2.983	462.309	1000.000	
3	3	C15	16.000	650.000	-75.000	
		GEN	-8.902	623.075	1000.000	
4	4	D10	10.500	36.000	-10.000	
		GEN	-13.261	29.026	51.000	
5	5	E110	115.774	18.000	0.000	
		GEN	-14.147	4.837	17.000	
6	6	F10	10.300	0.000	0.000	
		GEN	-15.788	52.146	60.000	
7	7	P24	24.000	1140.000	-99.000	
		GEN	6.604	270.346	1300.000	
8	8	W24	25.000	400.000	-60.000	
		GEN	0.098	252.486	600.000	
9	9	S15	15.750	380.000	0.000	
		GEN	-0.922	113.758	500.000	
10	10	W10	10.750	240.000	-44.000	
		GEN	1.592	81.371	314.000	
11	11	V10	10.600	180.000	-15.000	
		GEN	-1.229	79.129	200.000	
12	12	Y10	10.000	0.000	0.000	
		GEN	-9.831	7.186	30.000	
13	13	P15	15.800	480.000	-44.000	
		GEN	5.358	152.791	600.000	
14	14	A400	392.714	0.000		
		CONS	-4.113	0.000		
15	15	B400	399.636	-597.000		
		CONS	-3.446	-158.000		
16	16	A220	225.318	-176.000		
		CONS	-8.911	-57.000		
17	17	B220	234.059	-197.000		
		CONS	-0.787	-25.000		
18	18	C220	235.170	-338.000		
		CONS	-11.526	-208.000		
19	19	D220	227.119	0.000		
		CONS	-11.966	0.000		
20	20	F220	221.200	-192.000		
		CONS	-15.551	-102.000		
21	21	G220	222.290	-266.000		
		CONS	-16.722	-40.000		
22	22	H220	220.764	0.000		
		CONS	-11.517	0.000		
23	23	I220	218.897	0.000		
		CONS	-12.376	0.000		
24	24	C110	118.220	0.000		
		CONS	-13.132	0.000		
25	25	D110	117.746	-135.000		
		CONS	-15.174	-34.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu 1					ZONA: 0	
REGIMUL: regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
26	26	J110	115.751	-36.000		
		CONS	-15.124	-12.000		
27	27	K110	116.395	-25.000		
		CONS	-15.605	-5.000		
28	28	L110	115.209	-23.000		
		CONS	-14.525	-14.000		
29	29	I110	116.190	-40.000		
		CONS	-14.140	-9.000		
30	30	H110	116.666	-14.000		
		CONS	-14.317	-5.000		
31	31	M110	116.162	-66.000		
		CONS	-14.523	-37.000		
32	32	N110	114.298	-27.000		
		CONS	-15.261	-12.000		
33	33	C400	411.286	0.000		
		CONS	-10.781	0.000		
34	34	O400	406.809	0.000		
		CONS	-9.352	0.000		
35	35	R400	395.959	-484.000		
		CONS	-13.954	-90.000		
36	36	Q400	393.245	-608.000		
		CONS	-10.900	-113.000		
37	37	P400	410.852	-85.000		
		CONS	0.111	-68.000		
38	38	O220	232.770	-207.000		
		CONS	-8.533	-108.000		
39	39	S220	236.332	-68.000		
		CONS	-5.690	-28.000		
40	40	T220	227.004	-270.000		
		CONS	-12.082	-147.000		
41	41	U220	228.758	-99.000		
		CONS	-7.513	-43.000		
42	42	W220	241.405	-28.000		
		CONS	-4.267	-45.000		
43	43	Q220	226.718	-394.000		
		CONS	-11.436	-90.000		
44	44	V220	227.904	-147.000		
		CONS	-9.554	-102.000		
45	45	V110	117.911	-34.000		
		CONS	-6.027	-23.000		
46	46	Y110	114.458	-73.000		
		CONS	-9.815	-34.000		
47	47	X110	115.302	-50.000		
		CONS	-7.142	-28.000		
48	48	W110	121.005	-26.000		
		CONS	-2.517	-16.000		
49	49	Q110	118.122	-23.000		
		CONS	-11.628	-5.000		
50	50	P220	237.606	-107.000		
		CONS	1.381	-73.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu					ZONA: 0	
REGIMUL: regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.300	457.208	-116.000	
		ECH	0.000	125.450	1000.000	
2	2	B15	15.750	1050.000	0.000	
		GEN	6.834	305.277	1000.000	
3	3	C15	15.600	1100.000	-75.000	
		GEN	0.849	504.914	1000.000	
4	4	D10	10.500	40.000	-10.000	
		GEN	-8.381	34.085	51.000	
5	5	E110	116.200	20.000	0.000	
		GEN	-8.862	3.547	17.000	
6	6	F10	10.300	0.000	0.000	
		GEN	-9.694	54.248	60.000	
7	7	P24	24.600	890.000	-99.000	
		GEN	5.001	409.129	1300.000	
8	8	W24	24.250	160.000	-60.000	
		GEN	-6.686	138.210	600.000	
9	9	S15	15.700	400.000	0.000	
		GEN	3.116	113.135	500.000	
10	10	W10	10.750	240.000	-44.000	
		GEN	-2.178	123.831	314.000	
11	11	V10	10.600	130.000	-15.000	
		GEN	-0.893	77.566	200.000	
12	12	Y10	10.000	0.000	0.000	
		GEN	-10.600	9.412	30.000	
13	13	P15	15.800	450.000	-44.000	
		GEN	5.319	118.468	600.000	
14	14	A400	398.950	0.000		
		CONS	-3.354	0.000		
15	15	B400	400.706	-597.000		
		CONS	-1.717	-158.000		
16	16	A220	226.956	-176.000		
		CONS	-7.635	-57.000		
17	17	B220	236.889	-197.000		
		CONS	2.452	-25.000		
18	18	C220	231.075	-338.000		
		CONS	-3.875	-208.000		
19	19	D220	226.404	0.000		
		CONS	-7.768	0.000		
20	20	F220	220.065	-192.000		
		CONS	-9.446	-102.000		
21	21	G220	220.170	-266.000		
		CONS	-10.224	-40.000		
22	22	H220	221.730	0.000		
		CONS	-6.433	0.000		
23	23	I220	219.842	0.000		
		CONS	-7.259	0.000		
24	24	C110	116.528	0.000		
		CONS	-5.931	0.000		
25	25	D110	117.179	-135.000		
		CONS	-10.514	-34.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu					ZONA: 0	
REGIMUL: regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
26	26	J110	114.166	-36.000		
		CONS	-8.418	-12.000		
27	27	K110	115.215	-25.000		
		CONS	-9.799	-5.000		
28	28	L110	115.663	-23.000		
		CONS	-9.296	-14.000		
29	29	I110	116.656	-40.000		
		CONS	-8.963	-9.000		
30	30	H110	117.185	-14.000		
		CONS	-9.192	-5.000		
31	31	M110	116.682	-66.000		
		CONS	-9.396	-37.000		
32	32	N110	114.787	-27.000		
		CONS	-10.069	-12.000		
33	33	C400	406.968	0.000		
		CONS	-4.637	0.000		
34	34	O400	406.098	0.000		
		CONS	-5.973	0.000		
35	35	R400	396.277	-484.000		
		CONS	-12.041	-90.000		
36	36	Q400	395.450	-608.000		
		CONS	-10.787	-113.000		
37	37	P400	415.149	-85.000		
		CONS	0.132	-68.000		
38	38	O220	232.149	-207.000		
		CONS	-4.992	-108.000		
39	39	S220	235.636	-68.000		
		CONS	-1.938	-28.000		
40	40	T220	224.208	-270.000		
		CONS	-6.117	-147.000		
41	41	U220	228.143	-99.000		
		CONS	-4.653	-43.000		
42	42	W220	238.593	-28.000		
		CONS	-8.496	-45.000		
43	43	Q220	227.504	-394.000		
		CONS	-12.525	-90.000		
44	44	V220	227.675	-147.000		
		CONS	-11.365	-102.000		
45	45	V110	117.888	-34.000		
		CONS	-4.338	-23.000		
46	46	Y110	114.195	-73.000		
		CONS	-10.579	-34.000		
47	47	X110	114.486	-50.000		
		CONS	-9.596	-28.000		
48	48	W110	119.453	-26.000		
		CONS	-6.316	-16.000		
49	49	Q110	118.440	-23.000		
		CONS	-12.691	-5.000		
50	50	P220	238.765	-107.000		
		CONS	1.602	-73.000		

Anexa 5b. Sistemul test cu 50 de noduri – Regim oarecare cu sarcină scăzută

DATE GENERALE	
RETEAUA:test 50 exemplu 2	
PtotGen [MW].....	3825.9
QtotGen [Mvar].....	1159.4
PtotCons [MW].....	-3762.0
QtotCons [Mvar].....	-1372.4
Nr. total noduri	50
Nr. noduri generatoare	13
Nr. nod de referinta	1
Nr. laturi	64
Nr. tipuri de trafo	9

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 50 exemplu 2 REGIMUL:regim initial				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	3825.894		-3762.000	
Q [MVAR]	1135.994		-1349.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	3825.894	0.000	-3762.000	-3762.000
Q [MVAR]	1159.411	-220.144	-1372.417	-1592.561
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	63.894	40.704	23.190	
ΔQ [MVAR]	-433.150	517.101	-950.251	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.33 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			85587,34 \$/h	

REZULTATE GLOBALE CIRCULATIE PUTERI				
RETEAUA:test 50 exemplu 2 REGIMUL:regim corectat				
TOTAL PUTERI	NODURI GENERATOARE		NODURI CONSUMATOARE	
P [MW]	3830.120		-3762.000	
Q [MVAR]	1254.419		-1349.000	
TOTAL PUTERI	GENERATE	CONSUMATE		
		ADMITANTE TRANSVERSEALE	INJECTATE	TOTAL
P [MW]	3830.120	0.000	-3762.000	-3762.000
Q [MVAR]	1254.419	-203.672	-1349.000	-1552.672
PIERDERI	TOTALE	LONGITUDINALE	TRANSVERSEALE	
ΔP [MW]	68.120	46.185	21.935	
ΔQ [MVAR]	-298.253	592.177	-890.430	
RANDAMENTUL TRANSPORTULUI DE ENERGIE			98.22 [%]	
COSTUL TOTAL ORAR			79564.09\$/h	

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu 2					ZONA: 0	
REGIMUL: regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	26.000	617.894	-116.000	
		ECH	0.000	298.638	1000.000	
2	2	B15	15.384	600.000	0.000	
		GEN	-0.307	2.732	1000.000	
3	3	C15	16.150	1100.000	-75.000	
		GEN	1.554	397.406	1000.000	
4	4	D10	10.346	28.000	-10.000	
		GEN	-6.604	-9.823	51.000	
5	5	E110	120.725	20.000	0.000	
		GEN	-8.990	3.260	17.000	
6	6	F10	10.600	0.000	0.000	
		GEN	-8.632	46.211	60.000	
7	7	P24	25.400	300.000	-99.000	
		GEN	-3.332	101.325	1300.000	
8	8	W24	24.850	300.000	-60.000	
		GEN	-1.698	-13.594	600.000	
9	9	S15	15.900	350.000	0.000	
		GEN	1.742	64.099	500.000	
10	10	W10	10.700	150.000	-44.000	
		GEN	-1.377	68.781	314.000	
11	11	V10	10.500	90.000	-15.000	
		GEN	-2.806	20.371	200.000	
12	12	Y10	10.300	0.000	0.000	
		GEN	-8.850	10.617	30.000	
13	13	P15	16.000	270.000	-44.000	
		GEN	-1.607	145.971	600.000	
14	14	A400	419.634	0.000		
		CONS	-4.014	0.000		
15	15	B400	412.946	-464.000		
		CONS	-5.070	-123.000		
16	16	A220	238.282	-137.000		
		CONS	-6.573	-44.000		
17	17	B220	236.345	-153.000		
		CONS	-2.900	-20.000		
18	18	C220	241.604	-263.000		
		CONS	-2.825	-162.000		
19	19	D220	235.734	0.000		
		CONS	-6.153	0.000		
20	20	F220	232.370	-149.000		
		CONS	-8.437	-79.000		
21	21	G220	232.856	-207.000		
		CONS	-8.497	-31.000		
22	22	H220	231.638	0.000		
		CONS	-7.496	0.000		
23	23	I220	230.246	0.000		
		CONS	-8.051	0.000		
24	24	C110	120.501	0.000		
		CONS	-4.412	0.000		
25	25	D110	120.348	-105.000		
		CONS	-8.138	-27.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu 2					ZONA: 0	
REGIMUL: regim initial						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
26	26	J110	118.722	-28.000		
		CONS	-6.308	-9.000		
27	27	K110	119.266	-20.000		
		CONS	-7.468	-4.000		
28	28	L110	120.220	-18.000		
		CONS	-9.394	-11.000		
29	29	I110	120.982	-31.000		
		CONS	-9.221	-7.000		
30	30	H110	120.435	-11.000		
		CONS	-9.479	-4.000		
31	31	M110	120.054	-51.000		
		CONS	-9.627	-29.000		
32	32	N110	119.229	-21.000		
		CONS	-10.031	-9.000		
33	33	C400	416.441	0.000		
		CONS	-3.998	0.000		
34	34	O400	418.227	0.000		
		CONS	-6.185	0.000		
35	35	R400	412.468	-377.000		
		CONS	-10.694	-70.000		
36	36	Q400	410.531	-473.000		
		CONS	-9.873	-88.000		
37	37	P400	419.688	-66.000		
		CONS	-4.830	-53.000		
38	38	O220	239.114	-161.000		
		CONS	-5.167	-84.000		
39	39	S220	241.181	-53.000		
		CONS	-2.537	-22.000		
40	40	T220	234.971	-210.000		
		CONS	-5.141	-114.000		
41	41	U220	234.705	-77.000		
		CONS	-5.461	-34.000		
42	42	W220	240.069	-22.000		
		CONS	-4.897	-35.000		
43	43	Q220	239.342	-307.000		
		CONS	-10.233	-70.000		
44	44	V220	236.959	-114.000		
		CONS	-8.473	-79.000		
45	45	V110	119.868	-27.000		
		CONS	-5.202	-18.000		
46	46	Y110	117.549	-57.000		
		CONS	-8.828	-27.000		
47	47	X110	117.411	-39.000		
		CONS	-7.204	-22.000		
48	48	W110	120.793	-20.000		
		CONS	-3.950	-13.000		
49	49	Q110	120.366	-18.000		
		CONS	-10.358	-4.000		
50	50	P220	240.840	-83.000		
		CONS	-3.767	-57.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 1/ 2	
RETEAUA: test 50 exemplu 2					ZONA: 0	
REGIMUL: regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
1	1	A24	24.350	469.220	-116.000	
		ECH	0.000	128.611	1000.000	
2	2	B15	15.500	967.200	0.000	
		GEN	6.043	144.613	1000.000	
3	3	C15	15.500	801.600	-75.000	
		GEN	-2.679	306.615	1000.000	
4	4	D10	10.500	32.600	-10.000	
		GEN	-8.649	27.902	51.000	
5	5	E110	118.500	20.000	0.000	
		GEN	-7.694	4.297	17.000	
6	6	F10	10.400	0.000	0.000	
		GEN	-9.432	48.791	60.000	
7	7	P24	24.800	650.000	-99.000	
		GEN	1.324	162.766	1300.000	
8	8	W24	24.900	160.000	-60.000	
		GEN	-7.174	76.433	600.000	
9	9	S15	15.500	201.600	0.000	
		GEN	-4.454	69.747	500.000	
10	10	W10	10.450	127.900	-44.000	
		GEN	-5.694	49.541	314.000	
11	11	V10	10.600	100.000	-15.000	
		GEN	-3.729	61.519	200.000	
12	12	Y10	10.400	0.000	0.000	
		GEN	-11.219	25.436	30.000	
13	13	P15	15.600	300.000	-44.000	
		GEN	1.182	148.149	600.000	
14	14	A400	399.657	0.000		
		CONS	-3.430	0.000		
15	15	B400	398.656	-464.000		
		CONS	-2.221	-123.000		
16	16	A220	229.160	-137.000		
		CONS	-7.336	-44.000		
17	17	B220	235.768	-153.000		
		CONS	1.902	-20.000		
18	18	C220	232.808	-263.000		
		CONS	-6.125	-162.000		
19	19	D220	229.507	0.000		
		CONS	-8.179	0.000		
20	20	F220	225.684	-149.000		
		CONS	-9.216	-79.000		
21	21	G220	225.673	-207.000		
		CONS	-10.117	-31.000		
22	22	H220	226.398	0.000		
		CONS	-6.146	0.000		
23	23	I220	225.193	0.000		
		CONS	-6.720	0.000		
24	24	C110	117.488	0.000		
		CONS	-7.585	0.000		
25	25	D110	117.872	-105.000		
		CONS	-10.376	-27.000		

DATE SI REZULTATE NODURI					pag. 2 / 2	
RETEAUA: test 50 exemplu 2					ZONA: 0	
REGIMUL: regim corectat						
NR. CRT.	NR. NOD	NUME TIP NOD	TENSIUNE MODUL [KV] FAZA [grd]	CONS - GEN P [MW] Q [MVAR]	LIMITE Q MIN/MAX [MVAR]	
26	26	J110	115.768	-28.000		
		CONS	-9.377	-9.000		
27	27	K110	116.519	-20.000		
		CONS	-10.193	-4.000		
28	28	L110	117.938	-18.000		
		CONS	-8.105	-11.000		
29	29	I110	118.500	-31.000		
		CONS	-7.915	-7.000		
30	30	H110	118.998	-11.000		
		CONS	-8.199	-4.000		
31	31	M110	118.613	-51.000		
		CONS	-8.352	-29.000		
32	32	N110	117.282	-21.000		
		CONS	-8.766	-9.000		
33	33	C400	401.788	0.000		
		CONS	-6.874	0.000		
34	34	O400	404.636	0.000		
		CONS	-8.278	0.000		
35	35	R400	398.514	-377.000		
		CONS	-12.329	-70.000		
36	36	Q400	396.735	-473.000		
		CONS	-10.523	-88.000		
37	37	P400	407.615	-66.000		
		CONS	-2.107	-53.000		
38	38	O220	232.175	-161.000		
		CONS	-8.385	-84.000		
39	39	S220	234.472	-53.000		
		CONS	-7.038	-22.000		
40	40	T220	227.394	-210.000		
		CONS	-7.789	-114.000		
41	41	U220	229.795	-77.000		
		CONS	-6.580	-34.000		
42	42	W220	236.405	-22.000		
		CONS	-8.882	-35.000		
43	43	Q220	230.796	-307.000		
		CONS	-11.901	-70.000		
44	44	V220	230.024	-114.000		
		CONS	-10.879	-79.000		
45	45	V110	118.747	-27.000		
		CONS	-6.357	-18.000		
46	46	Y110	117.034	-57.000		
		CONS	-11.170	-27.000		
47	47	X110	116.016	-39.000		
		CONS	-10.496	-22.000		
48	48	W110	118.570	-20.000		
		CONS	-7.987	-13.000		
49	49	Q110	119.069	-18.000		
		CONS	-12.092	-4.000		
50	50	P220	234.498	-83.000		
		CONS	-1.351	-57.000		

Anexa 6. Alte reguli folosite la diagnoză

```
run1:-
  repeat,
  shiftwindow(8),
  clearwindow,
  write(" Selectati cu ajutorul
    tastelor sageti ! "),
  shiftwindow(1),
  menu(6,55,7,7,
    ["Load Data",
    "Load Knowledge",
    "",
    "Diagnosis",
    "Indicators",
    "",
    "Help Information",
    "OS Shell",
    "Exit Expert"]," EXPERT ",1,
    CHOICE),
  proces1(CHOICE),
  enddl(CHOICE),!.

proces1(0):-exit.
proces1(1):-load_data.
proces1(2):-load_know.
proces1(4):-diagnoza.
proces1(5):-showIndicatori.
proces1(9):-enddl(9).

procesd(1):- captabel('U'),!,
  retractall(tensiune(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaUnod(1,0,1).
procesd(2):- captabel('P'),!,
  retractall(putereP(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaPgnod(1,0,1).
procesd(3):- captabel('Q'),!,
  retractall(putereQ(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaQgnod(1,0,1).
procesd(4):- captabel('L'),!,
  retractall(laturaL(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaSLEA(1,0,1).
procesd(5):- captabel('T'),!,
  diagnozaSTR(1,0,1).
procesd(6):-
  captabel('U'),
  retractall(tensiune(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaUnod(1,0,1),!,
  captabel('P'),
  retractall(putereP(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaPgnod(1,0,1),!,
  captabel('Q'),
  retractall(putereQ(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaQgnod(1,0,1),!,
  captabel('L'),
  retractall(laturaL(_,_,_,_,_),
  Rez),
  diagnozaSLEA(1,0,1),!,
  captabel('T'),!,
  diagnozaSTR(1,0,1),
  salvareRez.
procesd(7).

enddl(0).

enddl(9):- clearwindow,
  write("Sunteti sigur ? (d/n) "),
  readchar(C),write(C),
  clearwindow,
  C='d',
  setColor(112),
  setbkColor(0),
  exit.

diagnoza:-
  know_file(_),
  shiftwindow(8),
  clearwindow,
  write("Selectati cu ajutorul tastelor
    sageti !"),
  shiftwindow(1),
  menu(6,55,7,7,
    ["U  Diagnosis",
    "Pg. Diagnosis",
    "Qg. Diagnosis",
    "LEA Diagnosis",
    "TR  Diagnosis",
    "All Diagnosis"],
    "Diagnosis",1,CHOICED),
  procesd(CHOICED),
  endd(CHOICED),!.

diagnoza:-
  not(data_file(_)),!,
  clearwindow,
  nl,write("Nu s-au incarcat datele
  si cunostintele !"),
  apasa.

diagnoza:-
  not(know_file(_)),
  clearwindow,
  nl,write("Nu s-au incarcat
  cunostintele !"),
  apasa.

calculePg(Nr,P,Pn,Popt,i(I1,L1,I2,
  L2,Nota,Ab),Rez):-
  P>0.1,Pn>0.1,
  Pmin=0.2*Pn, Pmax=Pn*1.01,
  cautPopt(Nr,Popt),!,
  fuzzy3(P,Pmin,Popt,Pmax,i(I1,L1,I2,L2,
  Nota,Ab),Rez).
calculePg(_ ,P,Pn,0,i(1," ",0," ",10,0),
" "):-
  P<=0.1,!,
  Pn<=0.1,!.

calcQn(P,Pn,_ ,Cosfin,Qefn,Qn):-
  Pn>0.1,!,
  Q1=Pn*sqrt(1/(Cosfin*Cosfin)-1),
  Qn=round(Q1*10)/10,
  Q3=P*sqrt(1/(Cosfin*Cosfin)-1),
  Qefn=round(Q3*10)/10.
calcQn(_ ,Pn,Qmax,_ ,Qefn,Qmax):-
  Pn<=0.1,!,
  Qefn=0.9*Qmax.

cautaDelta(Nod,Delta):-
  ng(_ ,_ ,Nod,_ ,_ ,_ ,Delta,_ ,_ ,_ ,
  _ ,_ ,_ ,!),
  nc(_ ,_ ,Nod,_ ,_ ,_ ,Delta,_ ,_ ,_ ,!).

cautaLat(N,Nodi,Nodf,Fact,Pdc):-
  le(N,Nodi,Nodf,Fact,
  _ ,_ ,_ ,_ ,Pd,_ ,Pi,_ ),!,
  P1=abs(Pd), P2=abs(Pi),
  mare(P1,P2,P),
  corectiePd(P,Pdc).
```

```

cautaLat (N,Nodi,Nodf,Fact,Pdc):-
  date_gen(,,_,NrLea,_),
  Ntrafo=N-NrLea,
  ltrafo(Ntrafo,Nodi,Nodf,Fact,_,
  _,_,_,_,Pd,_,Pi,_)!,
  P1=abs(Pd), P2=abs(Pi),
  mare(P1,P2,P),
  corectiePd(P,Pdc).

corectiePd(Pd,Pdc):-
  Pd<0.01,Pdc=0.1,!.
corectiePd(Pd,Pd).

% pentru regim H
cautlim5(Nod,Umin,Uadmic,Uoptc,
  Uadmasc,Umax):-
  incarcare(Pr),Pr>=85,
  uadminodh(L2),
  cautEl(Nod, L2, Uadmih),
  uadmsnodh(L3),
  cautEl(Nod, L3, Uadmsh),
  uoptnodh(L4),
  cautEl(Nod, L4, Uopth),
  uadminodm(L5),
  cautEl(Nod, L5, Uadmim),
  uadmsnodm(L6),
  cautEl(Nod, L6, Uadmsm),
  uoptnodm(L7),
  cautEl(Nod, L7, Uoptm),
  uminnod(L11),
  cautEl(Nod, L11, Umin),
  umaxnod(L12),
  cautEl(Nod, L12, Umax),!,
  corectie5(Uadmih,Uadmsh,Uopth,Uadm
im,Uadmsm,Uoptm,Pr,
  Uadmic,Uadmasc,Uoptc).

% pentru regim M1
cautlim5(Nod,Umin,Uadmic,Uoptc,Uadmasc
  ,Umax):-
  incarcare(Pr),
  Pr<85,Pr>=70,
  uadminodh(L2),
  cautEl(Nod, L2, Uadmih),
  uadmsnodh(L3),
  cautEl(Nod, L3, Uadmsh),
  uoptnodh(L4),
  cautEl(Nod, L4, Uopth),
  uadminodm(L5),
  cautEl(Nod, L5, Uadmim),
  uadmsnodm(L6),
  cautEl(Nod, L6, Uadmsm),
  uoptnodm(L7),
  cautEl(Nod, L7, Uoptm),
  uminnod(L11),
  cautEl(Nod, L11, Umin),
  umaxnod(L12),
  cautEl(Nod, L12, Umax),!,
  corectie5(Uadmih,Uadmsh,Uopth,Uadm
im,Uadmsm,Uoptm,Pr,Uadmic,Uadmasc,Uoptc).

% pentru regim M2
cautlim5(Nod,Umin,Uadmic,Uoptc,Uadmasc,Umax):-
  incarcare(Pr),
  Pr<70,Pr>=55,
  uadminodm(L5),
  cautEl(Nod, L5, Uadmim),
  uadmsnodm(L6),
  cautEl(Nod, L6, Uadmsm),

uoptnodm(L7),
cautEl(Nod, L7, Uoptm),
uadminodl(L8),
cautEl(Nod, L8, Uadmil),
uadmsnodl(L9),
cautEl(Nod, L9, Uadmsl),
uoptnodl(L10),
cautEl(Nod, L10, Uoptl),
uminnod(L11),
cautEl(Nod, L11, Umin),
umaxnod(L12),
cautEl(Nod, L12, Umax),!,
corectie5(Uadmim,Uadmsm,Uoptm,Uadm
il,Uadmsl,Uoptl,Pr,Uadmic,Uadmasc,
Uoptc).

% pentru regim L
cautlim5(Nod,Umin,Uadmic,Uoptc,Uadmasc
  ,Umax):-
  incarcare(Pr),Pr<55,
  uadminodm(L5),
  cautEl(Nod, L5, Uadmim),
  uadmsnodm(L6),
  cautEl(Nod, L6, Uadmsm),
  uoptnodm(L7),
  cautEl(Nod, L7, Uoptm),
  uadminodl(L8),
  cautEl(Nod, L8, Uadmil),
  uadmsnodl(L9),
  cautEl(Nod, L9, Uadmsl),
  uoptnodl(L10),
  cautEl(Nod, L10, Uoptl),
  uminnod(L11),
  cautEl(Nod, L11, Umin),
  umaxnod(L12),
  cautEl(Nod, L12, Umax),!,
  corectie5(Uadmim,Uadmsm,
Uoptm,Uadmil,Uadmsl,Uoptl,Pr,
Uadmic,Uadmasc,Uoptc).

% pentru regim H
cautlim3(Nod,Umin,Uoptc,Umax):-
  incarcare(Pr),Pr>=85,
  uoptnodh(L1),
  cautEl(Nod, L1, Uopth),
  uoptnodm(L2),
  cautEl(Nod, L2, Uoptm),
  uminnod(L4),
  cautEl(Nod, L4, Umin),
  umaxnod(L5),
  cautEl(Nod, L5, Umax),!,
  corectie3(Uopth,Uoptm,Pr,
Uoptc).

% pentru regim M1
cautlim3(Nod, Umin, Uoptc, Umax):-
  incarcare(Pr),
  Pr<85,Pr>=70,
  uoptnodh(L1),
  cautEl(Nod, L1, Uopth),
  uoptnodm(L2),
  cautEl(Nod, L2, Uoptm),
  uminnod(L4),
  cautEl(Nod, L4, Umin),
  umaxnod(L5),
  cautEl(Nod, L5, Umax),!,
  corectie3(Uopth,Uoptm,Pr,Uoptc).

% pentru regim M2
cautlim3(Nod, Umin, Uoptc, Umax):-
  incarcare(Pr),

```

```
Pr<70,Pr>=55,
uoptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Uoptm),
uoptnodl(L3),
cautEl(Nod, L3, Uoptl),
uminnod(L4),
cautEl(Nod, L4, Umin),
umaxnod(L5),
cautEl(Nod, L5, Umax),!,
corectie3(Uoptm,Uoptl,Pr,Uoptc).
```

```
% pentru regim L
cautlim3(Nod, Umin, Uoptc, Umax):-
incarcare(Pr),Pr<=55,
uoptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Uoptm),
uoptnodl(L3),
cautEl(Nod, L3, Uoptl),
uminnod(L4),
cautEl(Nod, L4, Umin),
umaxnod(L5),
cautEl(Nod, L5, Umax),!,
corectie3(Uoptm,Uoptl,Pr,Uoptc).
```

```
% pentru regim H
cautPopt(Nod, Poptc):-
incarcare(Pr), Pr>=85,
poptnodh(L1),
cautEl(Nod, L1, Popth),
poptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Poptm),
corectie3(Popth,Poptm,Pr,
Poptcc),
Poptc=round(10*Poptcc)/10,!.

```

```
% pentru regim M1
cautPopt(Nod, Poptc):-
incarcare(Pr),
Pr<85,Pr>=70,
poptnodh(L1),
cautEl(Nod, L1, Popth),
poptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Poptm),
corectie3(Popth,Poptm,Pr,
Poptcc),
Poptc=round(10*Poptcc)/10,!.

```

```
% pentru regim M2
cautPopt(Nod, Poptc):-
incarcare(Pr),
Pr<70,Pr>=55,
poptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Poptm),
poptnodl(L3),
cautEl(Nod, L3, Poptl),
corectie3(Poptm,Poptl,Pr,
Poptcc),
Poptc=round(10*Poptcc)/10,!.

```

```
% pentru regim L
cautPopt(Nod, Poptc):-
incarcare(Pr), Pr<=55,
poptnodm(L2),
cautEl(Nod, L2, Poptm),
poptnodl(L3),!,
cautEl(Nod, L3, Poptl),
corectie3(Poptm,Poptl,Pr,
Poptcc),
Poptc=round(10*Poptcc)/10.
```

```
corectie5(Uadmih,Uadmsh,Uopth,Uadmim,
```

```
Uadmsm,Uoptm,Pr,Uadmic,Uadmsc,
Uoptc):-
Pr>=85,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(1+Pc/Pch),
Uadmic=Uadmih*(1-D*(1-Uadmim/Uadmih)),
Uadmsc=Uadmsh*(1-D*(1-Uadmsm/Uadmsh)),
Uoptc =Uopth*(1-D*(1-Uoptm/Uopth)),!.
```

```
corectie5(Uadmih,Uadmsh,Uopth,
Uadmim,Uadmsm,Uoptm,Pr,Uadmic,
Uadmsc,Uoptc):-
Pr>=70,Pr<85,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(0.7+Pc/Pch),
Uadmic=Uadmim*(1+D*(1-Uadmih/Uadmim)),
Uadmsc=Uadmsm*(1+D*(1-Uadmsh/Uadmsm)),
Uoptc =Uoptm*(1+D*(1-Uopth/Uoptm)),!.
```

```
corectie5(Uadmim,Uadmsm,Uoptm,
Uadmil,Uadmsl,Uoptl,Pr,Uadmic,
Uadmsc,Uoptc):-
Pr<70,Pr>=55,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(0.7+Pc/Pch),
Uadmic=Uadmim*(1-D*(1-Uadmil/Uadmim)),
Uadmsc=Uadmsm*(1-D*(1-Uadmsl/Uadmsm)),
Uoptc =Uoptm*(1-D*(1-Uoptl/Uoptm)),!.
```

```
corectie5(Uadmim,Uadmsm,Uoptm,
Uadmil,Uadmsl,Uoptl,Pr,Uadmic,
Uadmsc,Uoptc):-
Pr<55,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),!,
D=3.333*(0.4+Pc/Pch),
Uadmic=Uadmil*(1+D*(1-Uadmim/Uadmil)),
Uadmsc=Uadmsl*(1+D*(1-Uadmsm/Uadmsl)),
Uoptc =Uoptl*(1+D*(1-Uoptm/Uoptl)).
```

```
corectie3(Uopth,Uoptm,Pr,Uoptc):-
Pr>=85,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(1+Pc/Pch),
Uoptc =Uopth*(1-D*(1-Uoptm/Uopth)),!.
```

```
corectie3(Uopth,Uoptm,Pr,Uoptc):-
Pr<85,Pr>=70,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(0.7+Pc/Pch),
Uoptc =Uoptm*(1+D*(1-Uopth/Uoptm)),!.
```

```
corectie3(Uoptm,Uoptl,Pr,Uoptc):-
Pr<70,Pr>=55,
rez_glob(,,_,Pc,_,_,_,_,_,_
_,_,_,_,_,_,_),
consumul_t_h(Pch),
D=3.333*(0.7+Pc/Pch),
Uoptc =Uoptm*(1-D*(1-Uoptl/Uoptm)),!.
```

```

corectie3(Uoptm,Uoptl,Pr,Uoptc):-
    Pr<55,
    rez_glob(_,_ ,_,Pc,_'_'_'_'_')
    _'_'_'_'_')
    consumul_t_h(Pch),!,
    D=3.333*(0.4+Pc/Pch),
    Uoptc =Uoptl*(1+D*(1-Uoptm/Uoptl)).

incarcare(Pr):-
    rez_glob(_,_ ,_,Pcn,_ ,_
    _'_'_'_'_')
    consumul_t_h(Pch),!,
    Pr=-Pcn/Pch*100.

medieU(Niv):-
    Niv>=9, Niv<=17.

inaltaU(Niv):-
    Niv>=1, Niv<=8.

comp2(M,Mmin,Mmax):-
    M>=Mmin, M<=Mmax.

mare(P1,P2,P):-
    P1>=P2,P=P1,!,
    P=P2.

calificativ3(Nota,Str):-
    Nota<7, Nota>=4,
    Str="Admis.Sup.",!;
    Nota>-7, Nota<=-4,
    Str="Admis.Inf.",!;
    Notan=abs(Nota),
    Notan>=7,
    Str="Optim    ",!

calificativ5(Nota,Str):-
    Nota>-5.5, Nota<=-4,
    Str="Admis.Inf.",!;
    Nota<5.5, Nota>=4,
    Str="Admis.Sup.",!;
    Nota<=-5.5, Nota>-8.5,
    Str="Favor.Inf.",!;
    Nota>=5.5, Nota<8.5,
    Str="Favor.Sup.",!;
    Notan=abs(Nota),
    Notan>=8.5,
    Str="Optim    ".

cautel(1,[Elm|_],Elm):-!.
cautel(Poz,[_|L],Elm):-
    Pozn= Poz-1,
    cautel(Pozn,L,Elm).

fuzzy4(U,Umin,_ ,_,Ind,Rez):-
    U<Umin,
    Ind=i(0.0,"O",1.0,"S",4.0,1),
    Rez="Depasire limita inferioara -
Alarma !",!.

fuzzy4(U,_ ,_,Umax,Ind,Rez):-
    U>Umax,
    Ind=i(0.0,"O",1.0,"R",4.0,1),
    Rez="Depasire limita superioara.
Alarma !",!.

fuzzy4(U,Umin,Uec,_ ,_,Ind,Rez):-
    comp2(U,Umin,Uec),
    I1= round(100.0*(Umin-U)/(Uec-Umin)),
    I2= round(100.0*(U-Uec)/(Uec-Umin)),
    I11=(I1/100.0),I22=(I2/100.0),
    I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
    Nota=I11*(10.0)+I22*(4.0),
    Ab=((U-Uec)*(U-Uec))/(Uec*Uec),
    Ind=i(I11N,"O",I22N,"S",Nota,Ab),
    calificativ3(Nota,Str),
    str_real(I1_str,I11N),
    str_real(I2_str,I22N),
    AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
    AbNN=AbN/10,
    str_real(Ab_str,AbNN),
    concat(Str," 'O' = ",Str1),
    concat(Str1,I1_str,Str2),
    concat(Str2,"\t'S' = ",Str3),
    concat(Str3,I2_str,Str4),
    concat(Str4,"\t",Str5),
    concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy4(U,_ ,_,Uopt,_,Ind,Rez):-
    comp2(U,Uec,Uopt),
    Ind=i(1.0,"O",0.0,"A",10.0,0),
    calificativ3(10,Str),
    str_real(I1_str,1.0),
    str_real(I2_str,0.0),
    str_real(Ab_str,0),
    concat(Str," 'O' = ",Str1),
    concat(Str1,I1_str,Str2),
    concat(Str2,"\t'A' = ",Str3),
    concat(Str3,I2_str,Str4),
    concat(Str4,"\t\t",Str5),
    concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy4(U,_ ,_,Uopt,Umax,Ind,Rez):-
    comp2(U,Uopt,Umax),
    I1= round(100.0*(U-Uopt)/(Umax-Uopt)),
    I2= round(100.0*(Umax-U)/(Umax-Uopt)),
    I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
    I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
    Nota=I11*4.0+I22*10.0,
    Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
    Ind=i(I22N,"O",I11N,"R",Nota,Ab),
    calificativ3(Nota,Str),
    str_real(I1_str,I11N),
    str_real(I2_str,I22N),
    AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
    AbNN=AbN/10,
    str_real(Ab_str,AbNN),
    concat(Str," 'O' = ",Str1),
    concat(Str1,I2_str,Str2),
    concat(Str2,"\t'R' = ",Str3),
    concat(Str3,I1_str,Str4),
    concat(Str4,"\t",Str5),
    concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy5(U,Umin,_ ,_,Ind,Rez):-
    U<Umin,
    Ind=i(0.0,"S",1.0,"FS",4.0,1),
    Rez="Depasire limita inferioara
Alarma !",!.

fuzzy5(U,_ ,_,Umax,Ind,Rez):-
    U>Umax,
    Ind=i(0.0,"R",1.0,"FR",4.0,1),
    Rez="Depasire limita superioara
Alarma !",!.

fuzzy5(U,Umin,Uadmi,Uopt,_ ,_,Ind,Rez):-
    comp2(U,Umin,Uadmi),
    I1= round(100*(Umin-U)/(Uadmi-Umin)),
    I2= round(100*(U-Uadmi)/(Uadmi-Umin)),
    I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),

```

```

I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
Nota=I11*7.0+I22*4.0,
Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
Ind=i(I11N,"S",I22N,"FS",Nota,Ab),
calificativ5(Nota,Str),
str_real(I1_str, I11N),
str_real(I2_str, I22N),
AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
AbNN=AbN/10,
str_real(Ab_str,AbNN),
concat(Str," 'S' = ",Str1),
concat(Str1,I1_str,Str2),
concat(Str2,"\t'FS' = ",Str3),
concat(Str3, I2_str, Str4),
concat(Str4,"\t",Str5),
concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy5(U,_,Uadmi,Uopt,_,_,Ind,Rez):-
comp2(U,Uadmi,Uopt),
I1= round(100*(Uadmi-U)/(Uopt-Uadmi)),
I2= round(100*(U-Uopt)/(Uopt-Uadmi)),
I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
Nota=I11*10.0+I22*7.0,
Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
Ind=i(I11N,"O",I22N,"S",Nota,Ab),
calificativ5(Nota,Str),
str_real(I1_str, I11N),
str_real(I2_str, I22N),
AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
AbNN=AbN/10,
str_real(Ab_str,AbNN),
concat(Str," 'O' = ",Str1),
concat(Str1,I1_str,Str2),
concat(Str2,"\t'S' = ",Str3),
concat(Str3, I2_str, Str4),
concat(Str4,"\t",Str5),
concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy5(U,_,_,Uopt, Uadms,_,Ind,Rez):-
comp2(U,Uopt,Uadms),
I1= round(100*(U-Uopt)/(Uadms-Uopt)),
I2= round(100*(Uadms-U)/(Uadms-Uopt)),
I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
Nota=I11*7.0+I22*10.0,
Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
Ind=i(I22N,"O",I11N,"R",Nota,Ab),
calificativ5(Nota,Str),
str_real(I1_str, I11N),
str_real(I2_str, I22N),
AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
AbNN=AbN/10,
str_real(Ab_str,AbNN),
concat(Str," 'O' = ",Str1),
concat(Str1,I2_str,Str2),
concat(Str2,"\t'R' = ",Str3),
concat(Str3, I1_str, Str4),
concat(Str4,"\t",Str5),
concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

fuzzy5(U,_,_,Uopt, Uadms, Umax,Ind,Rez):-
comp2(U,Uadms,Umax),
I1= round(100*(U-Uadms)/(Umax-Uadms)),
I2= round(100*(Umax-U)/(Umax-Uadms)),
I11=(I1/100.0), I22=(I2/100.0),
I11N=abs(I11), I22N=abs(I22),
Nota=I11*4.0+I22*7.0,
Ab=((U-Uopt)*(U-Uopt))/(Uopt*Uopt),
Ind=i(I22N,"R",I11N,"FR",Nota,Ab),
calificativ5(Nota,Str),
str_real(I1_str, I11N),
str_real(I2_str, I22N),
AbN = round(1000*sqrt(Ab)),
AbNN=AbN/10,
str_real(Ab_str,AbNN),
concat(Str," 'R' = ",Str1),
concat(Str1,I2_str,Str2),
concat(Str2,"\t'FR' = ",Str3),
concat(Str3, I1_str, Str4),
concat(Str4,"\t",Str5),
concat(Str5,Ab_str,Rez),!.

%salvează tensiunile defecte
salveazaU(Nod,U,Uopt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
abs(Nota)<8.5,
assert(tensiune(N,Nod,U,Uopt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N+1,!.

%salveaza tens. reguloatoare
salveazaU(Nod,U,Uopt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(tensiune(0,Nod,U,Uopt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N,!.
salveazaU(____,N,N).

salveazaPg(Nod,P,Popt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
abs(Nota)<7,
assert(putereP(N,Nod,P,Popt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N+1,!.

salveazaPg(Nod,P,Popt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(putereP(0,Nod,P,Popt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N,!.
salveazaPg(____,N,N).

salveazaQg(Nod,Q,Qadms,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(putereQ(N,Nod,Q,Qadms,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N+1,!.

salveazaL(Nodi,Nodf,S,Smax,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(laturaL(N,Nodi,Nodf,S,Smax,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),NN=N+1,!.

salveazaT(Nodi,Nodf,S,Smax,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(laturaT(N,Nodi,Nodf,S,Smax,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N+1,!.

salveazaD(Nodi,Nodf,R,Ropt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab),N,NN):-
assert(laturaD(N,Nodi,Nodf,R,Ropt,
i(I1,L1,I2,L2,Nota,Ab)),REZ),
NN=N+1,!.
tens_nivel(1,[Cap|_],Un):-!,Un=Cap.
tens_nivel(Niv,[_|Rest],Un):-!,
NivN=Niv-1,
tens_nivel(NivN,Rest,Un).

tens_niv_nod(Nod,Un):-
ng(____,Nod,____,Niv,____,____,____,____),

```

```

tens_nivel(Niv,nivele,Un).

tens_niv_nod(Nod,Un):-
    nc(,,Nod,,Niv,,),
    tens_nivel(Niv,nivele,Un).

salvareRez:-
    data_file(DataFile),!,
    rez_glob(,,Pcn,Qcn,,),
    DP,DQ,,Cost),
    makeFisNote(DataFile,"",FisNote),
    abateriU(NotaU),
    abateriPg(NotaPg),
    abateriQg(NotaQg),
    abateriLEA(NotaL),
    abateriTR(NotaTR),
    make_indici(FisNote,NotaU,NotaPg,
    NotaQg,NotaL,NotaTR,Pcn,Qcn,DP,DQ,
    Cost,Indici),
    openwrite(save_file,FisNote),
    writedevic(save_file),
    write(Indici),
    closefile(save_file),
    writedevic(screen),
    consumul_t_h(Pch),!,
    reglist(ListaReg),
    reglajuh(ListaUH),
    reglajum(ListaUM),
    reglajul(ListaUL),!,
    asserta(data_fis(DataFile)),
    asserta(consumH(Pch)),
    assertz(pierderiP(Dp)),
    assertz(pierderiQ(DQ)),
    assertz(consumP(Pcn)),
    assertz(consumQ(Qcn)),
    assertz(cost(Cost)),
    assertz(reg_list(ListaReg)),
    assertz(reglaj_uh(ListaUH)),
    assertz(reglaj_um(ListaUM)),
    assertz(reglaj_ul(ListaUL)),
    makeFisInd(DataFile,"",FisInd),
    save(FisInd,REZ),
    writedevic(screen),
    nl,write("Valorile au fost salvate
in fisierul ",FisInd," !"),apasa.

help:- existfile("expert.hlp"),
    file_str("expert.hlp",Help),!,
    display(Help).
help:-
    write("Nu exista fisierul Help!"),
    apasa, clearwindow.

load_data:-
    retractall(,date),retractall(,REZ),
    pick_dbal(Data), consult(Data,date),
    clearwindow, nl, write("A fost incarcat
fisierul de date: \n",Data).

load_knowl:-
    data_file(,), retractall(, cunostinte),
    retractall(,REZ),
    date_gen(Nrnod, ,),
    Nrnod<>0, pick_knw(Know),
    consult(Know, cunostinte),
    verfbk,!,
    nl, write("A fost incarcat fisierul
de cunostinte: \n",Know).

load_knowl:-
    not(data_file(,)),!,
    nl,write("NU este incarcat fisierul
de date !"), apasa.

load_knowl:-
    data_file(,), not(verfbk),!,
    nl,write("Baza de cunostinte
invalida !"),apasa.

Verfbk1:-
    date_gen(Nrnod, Nrnodgen, ,),
    date_gen_knw(Nrnodk, Nrnodgenk,
    ,),!,
    Nrnod=Nrnodk, Nrnodgen=Nrnodgenk.

pick_dbal(Data) :-
    makewindow(10,7,7," Alegeti fisisreul
de DATE ",10,10,10,60),
    dir("","*.dba",Data),removewindow.

pick_knw1(Know) :-
    makewindow(10,7,7," Alegeti fisiserul
de CUNOSTINTE,10,10,10,60),
    dir("","*.knw",Know),removewindow.

run2 :-
    repeat,
    selectati,
    menu(6,55,7,7,
    ["Incarcare Date",
    "Incarcare Cunostinte",
    "Diagnoza Generala",
    "Optimizarea U",
    "Optimizarea Pg",
    "Afisari Elemente",
    "Informatii Ajutor",
    "Iesire SO",
    "Iesire EXPERT"]," EXPERT ",1,
    CHOICE),
    proces2(CHOICE),
    endd2(CHOICE),!.

proces2(0):-exit.
proces2(1):-load_data.
proces2(2):-load_know.
proces2(4):-diagnoza_gen.
proces2(5):-optimizareU.
proces2(6):-optimizareP.
proces2(7):-afisari,!.
proces2(9):-help.
proces2(10):-system("").
proces2(11):-endd(10).

endd2(0):-!.
endd2(11):-!,
    sterge8, clearwindow,
    write(" Sunteti sigur ? (d/n) "),
    readchar(C),write(C),
    clearwindow,
    C='d', exit.
endd2():-fail.

afisari:-
    data_fis(,), repeat,
    return, menu(6,55,7,7,
    ["Tensiuni in noduri",
    "Puteri Active",
    "Puteri Reactive",
    "Circulatii LEA",
    "Circulatii TRAF0",

```



```

"Indicatori"], " AFISARI ", 1,
CHOICE),
procesf(CHOICE),
enddf(CHOICE), !.
afisari:-
not(data_fis(_)),
nl,write(" Nu s-au incarcat datele
si cunostintele ! "),
apasa.

procesf(0):-run.
procesf(1):-captabelF('U'),afisU.
procesf(2):-captabelF('P'),afisP.
procesf(3):-captabelF('Q'),afisQ.
procesf(4):-captabelFL('L'),afiscrlEA.
procesf(5):-captabelFL('T'),afiscrlTr.
procesf(6):-afis_ind.

enddf(0):-!.
enddf(_):-fail.

calificativ(GrU,GrP,GrQ,GrL,GrT,
CalifR):-
GrU>=0.5,GrP>=0.5,
GrQ>=0.5,GrL>=0,
GrT>=0,!,
CalifR="OPTIM".

calificativ(GrU,GrP,GrQ,GrL,GrT,
CalifR):-
GrU>0, GrP>0,
GrQ>0, GrL>0,
GrT>0,!,
CalifR="ADMISIBIL".

calificativ(_____,CalifR):-
CalifR="INADMISIBIL".

minimm(GrApU,GrApP,GrApQ,GrApL,
GrApT,GrApR):-
GrApL>0,GrApT>0,!,
minim(GrApU,GrApP,M1),
minim(GrApQ,M1,GrApR).

minimm(_____,GrApL,GrApT,GrApR):-
GrApL=0,GrApR=0,!,
GrApT=0,GrApR=0.

maximm(GrInU,GrInP,GrInQ,GrApL,
GrApT,GrInR):-
GrApL>0,GrApT>0,!,
maxim(GrInU,GrInP,M1),
maxim(GrInQ,M1,GrInR).

maximm(_____,GrInL,GrInT,GrInR):-
GrInL=1,GrInR=1,!,
GrInT=1,GrInR=1.

cautaTens(Lnod,LInd,LNod,LInd,Nr,
Nr):-!.
cautaTens(LNod,LInd,LNodF,LIndF,Nod,
Nr):-
tensiune(_____,_____,_____,_____,Ind),!,
LIndN=[Ind|LInd],
LNodN=[Nod|LNod],
NodN=Nod+1,
cautaTens(LNodN,LIndN,LNodF,
LIndF,NodN,Nr).
existaUInadm:-
tensiune(_____,_____,_____,_____,i(_____,_____,_____,_____,Nota,_)),
NotaN=abs(Nota),NotaN=4,!.

existaUAdm:-
tensiune(_____,_____,_____,_____,i(_____,_____,_____,_____,Nota,_)),
NotaN=abs(Nota),
NotaN<7,NotaN>4,!.

calcGradMax([],LMaxime,Grad):-
minimList(LMaxime,1,Min),
Grad=Min.

calcGradMax([i(I1,_____,I2,_____,_____,_____)|
ListaInd],LMaxime,Grad):-
I11=abs(I1), I22=abs(I2),
maxim(I11,I22,Max),
LMaximeN=[Max|LMaxime],
calcGradMax(ListaInd,LMaximeN,Grad).

calcGradMin([],LMinime,Grad):-
maximList(LMinime,0,Max),
Grad=Max.

calcGradMin([i(I1,_____,I2,_____,_____,_____)|
ListaInd],LMinime,Grad):-
I11=abs(I1), I22=abs(I2),
minim(I11,I22,Min),
LMinimeN=[Min|LMinime],
calcGradMin(ListaInd,LMinimeN,Grad).

calcGradMinP([],LMaxime,Grad):-
minimList(LMaxime,1,Min),
Grad=Min.

calcGradMinP([i(I1,_____,_____,_____,_____)|
ListaInd],LMaxime,Grad):-
I11=abs(I1),
LMaximeN=[I11|LMaxime],
calcGradMinP(ListaInd,LMaximeN,Grad).

calcGradMaxP([],LMinime,Grad):-
maximList(LMinime,0,Max),
Grad=Max.

calcGradMaxP([i(_____,_____,I2,_____,_____,_____)|
ListaInd],LMinime,Grad):-
I22=abs(I2),
LMinimeN=[I22|LMinime],
calcGradMaxP(ListaInd,LMinimeN,Grad).

minimList([],Min,Min).
minimList([Cap|Rest],Min,Fin):-
minim(Cap,Min,MinN),
minimList(Rest,MinN,Fin).

maximList([],Max,Max).
maximList([Cap|Rest],Max,Fin):-
maxim(Cap,Max,MaxN),
maximList(Rest,MaxN,Fin).

maxim(I1,I2,Max):-
I1>=I2,Max=I1,!.
maxim(_____,I2,I2).

minim(I,Min,MinN):-
I<=Min,MinN=I,!.
minim(_____,Min,Min).

cautaPg(Lnod,LInd,LNod,LInd,Nr,
Nr):-!.
cautaPg(LNod,LInd,LNodF,LIndF,Nod,
Nr):-
NodN=Nod+1,

```

```

putereP( _, NodN, _, _, Ind), !,
LIndN={ Ind|LInd},
LNodN={ NodN|LNod},
cautaPg (LNodN, LIndN, LNodF,
LIndF, NodN, Nr) .

cautaPg (LNod, LInd, LNodF, LIndF, Nod,
Nr) :-
    NodN=Nod+1, !,
    cautaPg (LNod, LInd, LNodF, LIndF,
NodN, Nr) .

existaPInadm:-
    putereP( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota), NotaN=4, !.

existaPAdm:-
    putereP( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota),
    NotaN<7, NotaN>4, !.

/* DIAGNOZA PUTERILOR REACTIVE*/
diagnozaQ:-
    nr_nod_genQ(NrNG), NrNG>0, !,
    retractall(diagQ( _, _, _, _, _), ACT),
    cautaQg([], [], _, ListaInd, 0, NrNG),
    diagnozaRegimQ(ListaInd).
diagnozaQ:-
    write("Toate puterile reactive
generate sunt optime").

cautaQg(Lnod, LInd, LNod, LInd, Nr,
Nr) :-!.
cautaQg(LNod, LInd, LNodF, LIndF, Nod,
Nr) :-
    NodN=Nod+1,
    putereQ( _, NodN, _, _, Ind), !,
    LIndN={ Ind|LInd},
    LNodN={ Nod|LNod},
    cautaQg(LNodN, LIndN, LNodF,
LIndF, NodN, Nr) .

diagnozaRegimQ( _):-
    existaQInadm, !,
    write("\tRegim INADMISIBIL. Alarma !"),
    assert(diagQ("INADMISIBIL", 'A',
0, 'I', 1), ACT),
    intreaba(R, "puterilor reactive
generate"),
    tensiunile defecte
afisare(R, 'Q'), !.

diagnozaRegimQ(ListaInd):-
    existaQAdm, !,
    calcGradMax(ListaInd, [], GrIn),
    calcGradMin(ListaInd, [], GrAp), !,
    write("\tRegim ADMISIBIL"),
    write("\t 'O': ", GrAp),
    write("\t 'A': ", GrIn),
    assert(diagQ("ADMISIBIL", 'O', GrAp,
'A', GrIn), ACT) .

diagnozaRegimQ(ListaInd):-
    calcGradMax(ListaInd, [], GrAp),
    calcGradMin(ListaInd, [], GrIn),
    GrAP>=0.5, !,
    write("\tRegim OPTIM  "),
    write("\t 'O': ", GrAp),
    write("\t 'A': ", GrIn),
    assert(diagQ("OPTIM  ", 'O', GrAp,
'A', GrIn), ACT) .

'A', GrIn), ACT) .

existaQInadm:-
    putereQ( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota), NotaN=4, !.

existaQAdm:-
    putereQ( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota),
    NotaN<7, NotaN>4, !.

cautaLEA(Lnod, LInd, LNod, LInd, Nr,
Nr) :-!.
cautaLEA(LN, LInd, LNF, LIndF, N, Nr) :-
    NN=N+1,
    laturaL(NN, _, _, _, _, Ind), !,
    LIndN={ Ind|LInd},
    LNN={ N|LN},

cautaLEA(LNN, LIndN, LNF, LIndF, NN, Nr) .

existaLEAInadm:-
    laturaL( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota), NotaN=4, !.

existaLEAAdm:-
    laturaL( _, _, _, _, i( _, _, _, _, Nota, _)),
    NotaN=abs(Nota),
    NotaN<7, NotaN>4, !.

/* DIAGNOZA CIRCULATIILOR PE TRAFU*/

diagnozaTR:-
    nr_TRAFO(NrT), NrT>0, !,
    retractall(diagTR( _, _, _, _, _), ACT),
    cautaTR([], [], _, ListaInd, 0, NrT),
    diagnozaRegimT(ListaInd) .

cautaTR(Lnod, LInd, LNod, LInd, Nr,
Nr) :-!.
cautaTR(LN, LInd, LNF, LIndF, N, Nr) :-
    NN=N+1,
    laturaT(NN, _, _, _, _, Ind), !,
    LIndN={ Ind|LInd},
    LNN={ N|LN},
    cautaTR(LNN, LIndN, LNF, LIndF, NN, Nr) .

diagnozaRegimT( _):-
    existaTrInadm, !,
    write("\tRegim INADMISIBIL. Alarma !"),
    assert(diagTR("INADMISIBIL", 'A',
0, 'I', 1), ACT) .

diagnozaRegimT(ListaInd):-
    existaTrAdm, !,
    calcGradMinP(ListaInd, [], GrAp),
    calcGradMaxP(ListaInd, [], GrIn), !,
    write("\tRegim ADMISIBIL"),
    write("\t 'O': ", GrAp),
    write("\t 'A': ", GrIn),
    assert(diagTR("ADMISIBIL", 'O', GrAp,
'A', GrIn), ACT) .

diagnozaRegimT(ListaInd):-
    calcGradMin(ListaInd, [], GrAp),
    calcGradMax(ListaInd, [], GrIn),
    GrAP>=0.5, !,
    write("\tRegim OPTIM  "),
    write("\t 'O': ", GrAp),
    write("\t 'A': ", GrIn),

```

```

assert(diagTR("OPTIM ", 'O', GrAp,
'A', GrIn), ACT).

existaTRInadm:-
laturaT(, , , , , i(, , , , , Nota, _),
NotaN=abs(Nota), NotaN=4, !.

existaTRAdm:-
laturaT(, , , , , i(, , , , , Nota, _),
NotaN=abs(Nota),
NotaN<7, NotaN>4, !.

/* OPTIMIZAREA TENSIUNILOR */
% determina Minimal Hitting Sets
detMHS(Nr, LStart, LStart):-
testeaza(Nr, 1, LStart), !.

detMHS(Nr, LStart, LRegMin):-
genereaza(LRegMin, LStart, Nr),
testeaza(Nr, 1, LRegMin), !.

existaTR(Nod1, Nod2, Un1, Un2):-
ltrafo(, , Nod1, Nod2, , , , , , , ,
, , , , , ),
nc(, , Nod1, , , , , , , , , ),
tens_niv_nod(Nod1, Un1),
nc(, , Nod2, , , , , , , , , ), !,
tens_niv_nod(Nod2, Un2).

existaTR(Nod1, Nod2, Un1, Un2):-
ltrafo(, , Nod2, Nod1, , , , , , , ,
, , , , , ),
nc(, , Nod1, , , , , , , , , ),
tens_niv_nod(Nod1, Un1),
nc(, , Nod2, , , , , , , , , ), !,
tens_niv_nod(Nod2, Un2).

stergeOptimU:-
retractall(lista_r(, , , ), ACT),
retractall(lista_reg(, ), ACT),
retractall(lista_reg_cut(, ), ACT),
retractall(lista_reg_fin(, ), ACT),
retractall(numar_reg(, ), ACT),
retractall(actiuneU(, , , , , , , ),
ACT).

singulare(0, LReg, LReg):-!.
% determina regulat. care apar singure
in lista de regulatoare care regleaza o
anumita tensiune
singulare(N, LReg, Final):-
unic(N, LReg, LRegN), !,
NN=N-1,
singulare(NN, LRegN, Final).
singulare(N, LReg, Final):-
NN=N-1,
singulare(NN, LReg, Final).

% ia cate o lista de regulatoare
corespunzatoare la tens. defecta N
si det daca este unic
unic(N, LReg, LRegN):-
lista_r(N, , Lista), !,
det_reg(Lista, [], 0, Nr, Reg),
Nr=1, not(apartine(Reg, LReg)),
LRegN=[Reg|LReg], !.
unic(, , LReg, LReg).

% detrnina primul element nenul din
lista (Cap) si numara toate elementele
nenule Nr

det_reg([], [Reg|_], Nr, Nr, Reg):-!.
det_reg([Cap|Lista], LReg, Nr, Fin,
Reg):-
Cap>0, !,
LRegN=[Cap|LReg],
NrN=Nr+1,
det_reg(Lista, LRegN, NrN, Fin, Reg).
det_reg([_|Lista], LReg, Nr, Fin, Reg):-
det_reg(Lista, LReg, Nr, Fin, Reg).

% este TRUE daca listele sunt
identice idiferent e ordine
identic([], []):-!.
identic([C|Rest], Lista):-
sterge(C, Lista, ListaN),
identic(Rest, ListaN).

% cauta tens. defecte care corespund
la fiecare regulator
cautaUReg([], Lista, ListaI):-
invers(Lista, [], ListaI).

% cauta cate tens def. care corespund
regulatorului curent
cautaUReg([Reg|ListaReg], ListaU,
Final):-
cautaU(Reg, [], 0, NrU),
ListaUN=[NrU|ListaU],
cautaUReg(ListaReg, ListaUN, Final).

% cauta pentru regulatorul Reg cate
(Nr) tensiuni def. sunt
cautaU(Reg, LNod, Nr, NrF):-
lista_r(, , Nod, Lista),
not(apartine(Nod, LNod)),
apartine(Reg, Lista), !,
NrN=Nr+1,
LNodN=[Nod|LNod],
cautaU(Reg, LNodN, NrN, NrF).
cautaU(, , NrF, NrF).

% numara cate regulatoare sunt in
lista coresp. regimului
nr_reg([], Lista, Nr, Lista):-
assert(numar_reg(Nr), ACT).

nr_reg([r(Reg, _) | ListaReg], Lista, Nr,
Final):-
NrN=Nr+1,
ListaN=[Reg|Lista],
nr_reg(ListaReg, ListaN, NrN, Final).

apartineReg([Cap|_], Lista):-
apartine(Cap, Lista), !.
apartineReg([_|ListaReg], Lista):-
apartineReg(ListaReg, Lista).

% numara (F) tensiunile defecte;
Lista contine tens. "defecte"
numarUDef(N, F, Lista):-
tensiune(, , Nod, , , i(, , , , , Nota, _))
not(apartine(Nod, Lista)),
abs(Nota)<8.5, !,
NN=N+1,
ListaN=[Nod|Lista],
numarUDef(NN, F, ListaN).
numarUDef(N, N, _).

% cauta lista cu toate regulatoarele
care corespund tensiunii nodului
cautaRegU(Lista):-

```

```

tensiune(N,Nod,_,_,i(,_,_,_,Nota,_)
abs(Nota)<8.5,
cautaReg(Nod,Lista,[],ListaReg),
assert(lista_r(N,Nod,ListaReg),ACT),
fail.
cautaRegU(_).

cautaReg(, [], LReg, LReg).
cautaReg(Nod, [Cap|Lista], LReg,
LRegF):-
cautaElm(Nod, Cap, Reg),
LRegN=[Reg|LReg],
cautaReg(Nod, Lista, LRegN, LRegF).

cautaElm(Nod, r(Nod, _), Nod):-!.
cautaElm(Nod, r(Reg, List), Reg):-
apartine(Nod, List), !.
cautaElm(, r(, _), 0).

stergeL(Final, [], Final).
stergeL(Lista, [Cap|Rest], Final):-
sterge(Cap, Lista, ListaN),
stergeL(ListaN, Rest, Final).

sterge(N, [N|Lista], Lista):-!.
sterge(N, [M|Lista], [M|ListaN]):-
sterge(N, Lista, ListaN).

este_minim(ListaReg):-
numar_reg(N), !,
numara(ListaReg, 0, Nr),
Nr<trunc(N/2)-1.

numara([], N, N):-!.
numara([_|Lista], Nr, Fin):-
NrN=Nr+1,
numara(Lista, NrN, Fin).

% sorteaza lista reguletoarelor dupa
numarul de tensiuni care le regleza
fiecare
sorteaza(LReg, LUDef, LRSort, LUSort):-
schimba(LReg, LUDef, LRSort1,
LUSort1), !,
sorteaza(LRSort1, LUSort1, LRSort,
LUSort).
sorteaza(LRSort, LUSort, LRSort, LUSort).

elimina([], [], LRegF, LRegF).
elimina([Reg|LReg], [Nr|LNrU], LRegF, Final)
:-Nr>0, !,
elimina(LReg, LNrU, [Reg|LRegF], Final).

elimina([_|LReg], [0|LNrU], LRegF,
Final):-
elimina(LReg, LNrU, LRegF, Final).

schimba([X], [Y], [X], [Y]):-fail.
schimba([X1, X2|LReg], [Y1, Y2|LUDef],
[X2, X1|LReg], [Y2, Y1|LUDef]):-Y2>Y1.
schimba([X|LReg], [Y|LUDef], [X|LReg1],
[Y|LUDef1]):-
schimba(LReg, LUDef, LReg1, LUDef1).
schimba([], [], [], []):-fail.

invers([], Lista, Lista).
invers([C|Rest], Lista, ListaI):-
ListaN=[C|Lista],
invers(Rest, ListaN, ListaI).

```

```

det_actiuni([]):-!.

% pentru nodurile de pe laturile TRAFU
det_actiuni([Reg|ListaReg]):-
tensiune(, Reg, U, Uopt, _),
existaTR(Reg, _, UnR, _), !,
actiuneaU(Reg, U, Uopt, Act, Val),
Plot=round(Val/(0.0125*UnR)),
assert(actiuneU(Reg, U, Uopt, Act,
Val, Plot)),
det_actiuni(ListaReg).

% pentru nodurile rg de tens. care sunt
generatoare
det_actiuni([Reg|ListaReg]):-
tensiune(, Reg, U, Uopt, _), !,
actiuneaU(Reg, U, Uopt, Act, Val),
assert(actiuneU(Reg, U, Uopt,
Act, Val, 0)),
det_actiuni(ListaReg).

actiuneaU(, U, Uopt, Act, Val):-
U<=0.9975*Uopt, !,
V=(Uopt-U)*10,
Val=round(V)/10,
Act="ridica".

actiuneaU(, U, Uopt, Act, Val):-
U>=1.0025*Uopt, !,
V=(U-Uopt)*10,
Val=round(V)/10,
Act="coboara".

% regula pentru reguletoare (Reg)
care au deja tens. optima
actiuneaU(Reg, _, Uopt, Act, ValF):-
lista_r(, Nod, Lista),
apartine(Reg, Lista),
tensiune(, Nod, U1, Uopt1, _), !,
actiuneaU(Nod, U1, Uopt1, Act, Val)
Vall=10*Val*Uopt/(2*Uopt1),
ValF=round(Vall)/10.

proporie_cons(Prop):-
consumH(Ph),
consumP(P), !,
Pc=abs(P),
Prop=Pc/Ph.

regim(Prop, Lista):-
Prop>=0.85, !,
reglaj_uh(Lista), !.

regim(Prop, Lista):-
Prop<0.85,
Prop>=0.55, !,
reglaj_um(Lista), !.

regim(Prop, Lista):-
Prop<0.55,
reglaj_ul(Lista), !.

afiseazaActU:-
actiuneU(Nod, U, Uopt, Act, Val, Plot),
UoptN=round(Uopt*10)/10,
UN=round(U*10)/10,
scrie(Plot, Str),
nl, write("nod ", Nod, "\t\t", UN, "\t",
UoptN, "\t", Act, "\t", Val, "\t", Str),
ecran('U'),

```

```

fail.
afiseazaActU:-apasa.

scrie(Plot,Str):-
    Plot<>0,!,
    str_int(Str,Plot).
scrie(0," ").

afisLRegFin(Lista):-
    nl,write(Lista),!.
afisLRegFin(_).

/* OPTIMIZAREA PUTERILOR GENERATE */

actiuniP:-
    putereP(_,Nod,P,Popt,_),
    actiuneaP(Nod,P,Popt,Act,Val),
    PN=round(P*10)/10,
    assert(actiuneaP(Nod,PN,Popt,Act,
Val),ACT),
    fail.
actiuniP.

actiuneaP(_,U,Uopt,Act,Val):-
    U<=0.998*Uopt,!,
    V=(Uopt-U)*10,
    Val=round(V)/10,
    Act="ridica".

actiuneaP(_,U,Uopt,Act,Val):-
    U>=1.002*Uopt,!,
    V=(U-Uopt)*10,
    Val=round(V)/10,
    Act="coboara".

% regula pentru regulatoare (Reg)
care au deja tens. optima
actiuneaP(_,_,_, "",0).
afiseazaActP:-
    actiuneP(Nod,P,Popt,Act,Val),
    PoptN=round(10*Popt)/10,
    Val<>0,
    nl,write("nod ",Nod,"\\t\\t",P,"\\t",
PoptN,"\\t",Act,"\\t",Val),
    ecran('P'),
    fail.
afiseazaActP:-apasa.

ecranF(C):-cursor(Rand,_),Rand=21,!,
    apasa,clearwindow,captabelF(C).
ecranF(_).

intreaba(R,Str):-shiftwindow(8),
    clearwindow,
    write(" Doriti afisarea ",Str,
" (D/N) ? "),
    readchar(R1), upper_lower(R,R1),
    shiftwindow(1).

selectati:-
    shiftwindow(8),
    clearwindow,
    write(" Selectati cu ajutorul
tastelor sageti !"),
    shiftwindow(1).
return:-
    shiftwindow(8),
    clearwindow,
    write(" Selectati cu ajutorul tastelor
sageti ! [ESC - REVENIRE]"),
    shiftwindow(1).

load_data2:-
    retractall(_,date),
    retractall(_,ind),
    retractall(_,act),
    pick_dba2(Data),
    consult(Data,date),
    clearwindow,
    nl,write("A fost incarcat fisierul
de date: \\n",Data).

load_know2:-
    data_file(_),
    retractall(_,ind),
    retractall(_,act),
    date_gen(Nrnod,_,_,_),
    Nrnod<>0,
    pick_knw2(Know),
    consult(Know,ind),
    verfbk,!,
    nl,write("A fost incarcat fisierul
de cunostinte: \\n",Know).

load_know2:-
    not(data_file(_)),!,
    nl,write("NU este incarcat fisierul
de date !"),
    apasa.

load_know2:-
    data_file(_),
    not(verfbk),!,
    nl,write("Baza de cunostinte
invalida !"),
    apasa.

Verfbk2:-
    data_file(Fis_dba),
    data_fis(Fis_ind),!,
    fronttoken(Fis_dba,Numel,_),
    fronttoken(Fis_ind,Nume2,_),
    Numel=Nume2.

pick_dba2(Data):-
    scrie8(" Alegeti fisierul de DATE "),
    makewindow(10,7,7,"",10,10,10,60),
    dir("", "*.dba",Data),removewindow.

pick_knw2(Know):-
    scrie8(" Alegeti fisierul de
CUNOSTINTE "),
    makewindow(10,7,7,"",10,10,10,60),
    dir("", "*.ind",Know),removewindow.

```