

SISTEM EXPERT PENTRU DIAGNOZA REGIMURILOR STAȚIONARE ALE REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE DESCRIEREA PROGRAMULUI ȘI STUDIU DE CAZ

EXPERT SYSTEM FOR STEADY STATE OPERATION DIAGNOSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS. SOFTWARE AND CASE STUDY

Gheorghe TĂNASE

CEZ România

Bd. Ion Ionescu de la Brad 2B, sect.1, 013813 București, Romania, E-mail: ghe_tanase@yahoo.com

Ioan BORLEA Gheorghe VUC Dan JIGORIA-OPREA Ștefan KILYENI Bucur LUȘTREA

“Politehnica” University of Timisoara, Power Systems Department

Bd. V. Parvan 2, 300223 Timișoara, Romania, Tel./fax +40 256 403416, E-mail: ioan.borlea@et.upt.ro

Maria VINȚAN

University “Lucian Blaga” of Sibiu, Department of Electrical Engineering and Electronics

E. Cioran 4, 220025 Sibiu, Romania, Tel/fax: +40 269 212716, E-mail: maria.vintan@ulbsibiu.ro

Rezumat: Această lucrare prezintă sistemul expert DiagRED pentru diagnoza regimurilor staționare ale rețelelor electrice de distribuție. Sunt prezentate structura și componentele DiagRED. Sunt descrise baza de date, baza de cunoștințe și interfața utilizator. Principalii funcționari și principalele reguli, implementate în limbajul Prolog, sunt prezentate și comentate.

Cuvinte cheie: Diagnoza Bazată pe Model, Rețea Electrică de Distribuție, Diagnoza Regimurilor Staționare de Funcționare, Sisteme Expert.

Abstract: This paper presents DiagRED expert system used for steady state operation diagnosis of electrical distribution networks. Both the structure and the components of the software tool are presented. Also the used data and knowledge base and the user interface are described. The main functions and rules, implemented using Prolog environment are outlined and analyzed.

Keywords: Model Based Diagnosis, Electrical Distribution Network, Steady State Diagnosis, Expert System.

1. Introducere

În ultima perioadă, tehnologia sistemelor expert (SE) a câștigat interes deosebit în diverse domenii. Un aspect al tendinței curente este aplicarea SE în diverse probleme ingineresti și activități productive. Acest lucru este valabil și pentru domeniul ingineriei electrice și este estimat că el va continua în viitor.

Un SE este un program pentru calculator care are o bază de cunoștințe (date și reguli), un motor de inferență și o interfață utilizator. El este proiectat să rezolve sarcini dificile într-o manieră asemănătoare cu a expertului uman.

SE oferă un număr de avantaje [1-5]:

1. *Asistă expertii umani.* Un SE poate realiza performanță la un nivel atins de o persoană cu expertiză recunoscută în domeniul respectiv de competență. De aceea, el poate reduce sarcinile manuale oboseitoare și redundante și oferă expertului uman un mediu care îi crește productivitatea și ca urmare conduce la o funcționare eficientă. În domeniul sistemelor electroenergetice SE au fost deja aplicate pentru asistarea operatorilor la supravegherea și controlul funcționării sistemului și în prezent există suficientă expertiză în acest domeniu.

1. Introduction

In the last years, the expert system (ES) technology has captured interest in many fields. One aspect of the current trend is the application of the ES to various engineering problems and production activities. This aspect is also valid in electric power engineering and it is estimated to continue in the future.

An ES is a computer program that has a knowledge base (data and rules), an inference engine and a user interface. It is designated to solve a difficult task in same manner as a human expert.

ES presents a number of advantages [1-5]:

1. *Assisting the human experts.* An ES can implement performance at the level exhibited by a person with recognized expertise in the problem field. Therefore, it can reduce tedious and redundant manual tasks and provide to the human expert an environment that enhances his productivity and thus lead to efficient operation. In the power system (PS) area, the ES has been already implemented for helping the engineers to survey and to control the system operation and nowadays there is enough useful examination in this field.

2. *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 dez-voltă. Această calitate este foarte potrivită pentru domeniul SEE deoarece permite îmbunătățirea permanentă a perfor-manțelor SE.

3. *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.

4. *Universalitate*. Baza de cunoștințe depinde de domeniul de aplicație al SE dar mașina de inferență și interfața utilizator sunt independente. De ceea, prin înlocuirea bazei de cunoștințe pentru același nucleu se pot obține ES diferite.

5. *Rapiditate*. SE poate realiza expertiza corectă oricând este nevoie de acesta. SE asigură o reacție mult mai rapidă la situațiile de urgență decât experții umani.

Toate aceste calități ale SE le fac foarte util de aplicat la urmărirea și conducerea regimurilor rețelelor electrice de distribuție (RED) unde calculatorul poate substitui cu succes activitate omului.

Această lucrare continuă lucrarea anterioară [10] în care sunt prezentate conceptele de bază și fundamentele teoretice al Diagnozei Bazate pe Model (MBD) aplicată la analiza regimurilor staționare ale rețelelor electrice de distribuție. În [10] sunt prezentate modelele pentru descrierea sistemului, presupuneri și observații. Sunt prezentați indicatorii fuzzy ai mărimilor electrice de interes pentru diagnoză și este descrisă metodologia de implementare într-o aplicație de tip SE.

2. Determinarea impedanței prin măsurători

În figura 1 este reprezentată diagrama bloc a mediului de diagnoză. Datele provenite din rețea prin SCADA sunt colectate în baza de date. Baza de reguli conține informații tip expert care sunt folosite la diagnoză și împreună cu baza de date formează baza de cunoștințe a DiagRED. Pentru îmbunătățirea calității, baza de cunoștințe poate fi modificată de către expertul în domeniul ingineriei energetice și de către inginerul de cunoștințe.

2. *Flexibility*. Each production rule represents a piece of knowledge relevant to the task. Hence it is very convenient to add, to remove and to modify a rule in a knowledge base as experience is gained. This quality is very appropriate for the PS domain because it permanently improve the ES performances.

3. *Transparency*. Production rules are closed to natural language and therefore easy to understand. The ES can give the steps that led to the conclusion and can explain the reasoning process. The user can confirm or correct the conclusion by examining the explanations given by the inference engine. This is the reason why ES is a valuable tool in the assistance of the PS control.

4. *Universality*. The knowledge base depends on the field, but the inference engine is independent. So, different ES can be developed by the replacement of the knowledge base.

5. *Quickness*. The ES can provide the right expertise whenever needed. ES can provide quicker reactions to emergency events than the human operators.

All the qualities outlined before makes the ES very useful in electrical distribution systems (EDS) supervisory and operation where computer can successfully substitute human activity.

This paper continues the previous work [10], where the basic concepts and theoretical foundations for Model Based Diagnosis (MBD) applied to steady state EDS diagnosis are presented. In [10] are also presented the models used to describe the system, the assumptions and observations. Even more, fuzzy indexes corresponding to the main electrical quantity used in diagnoses are revealed and the integration of this method in an ES application is described.

2. DiagRED structure

Figure 1 reveals the block structure of the diagnosis environment. The network data provided by the SCADA system are collected in the database. The rules base has expert-type information used for the diagnosis, and together with the database determines the knowledge base of DiagRED. To enhance its quality, the knowledge base can be updated by the expert in the electric power system engineering and by the knowledge engineer.

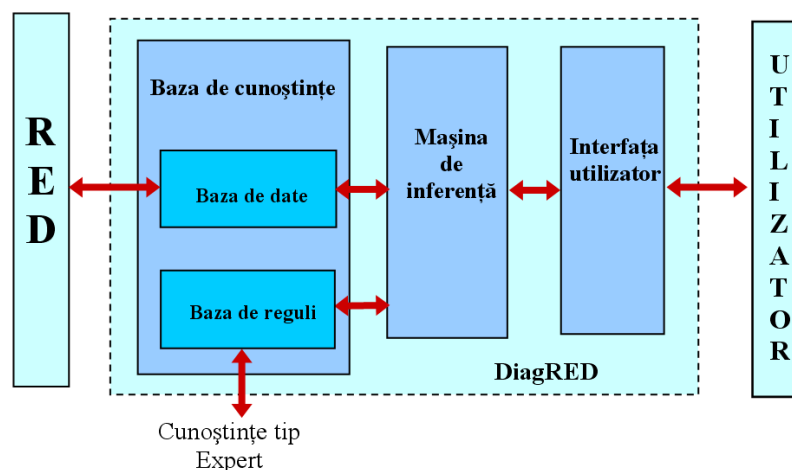


Figura 1. Schema generală a DiagRED
Figure 1. DiagRED general chart

Fizic DiagRED este un program pe calculator care:

- primește date de intrare despre RED de la sistemul de control și achiziție de date (SCADA);
- comunică bidirecțional prin interfața utilizator.

Baza de cunoștințe trebuie să conțină regulile de cunoștințe. Unele dintre aceste reguli sunt obținute din experiența experții umani, altele sunt stabilite din considerații tehnice și economice. Pentru o performanță crescută a DiagRED, baza de cunoștințe trebuie periodic actualizată utilizând o analiză continuă a rezultatelor obținute.

DiagRED are două module de program, fiecare dintre ele cu propria interfață. Primul modul calculează indicatorii fuzzy locali și globali pentru toate mărimile electrice utilizate la diagnoză iar al doilea modul determină măsurile de reparare care trebuie aplicate pentru obținerea regimului cvasi-optimal.

3. Baza de date și baza de cunoștințe

3.1 Baza de date

Baza de date este conținută de un fișier tip text cu numele <numele_rețelei>.DBA. Informația din acest fișier este structurată ca functori Prolog. Fiecare tip de functor este declarat în program la secțiunea *database*. Functorii conținuți în baza de date sunt următorii:

- *date_gen(Nrnod, NrLE, NrTrafo, NrStatii, NrFideri)*; conține date generale despre rețeaua luată în analiză: numărul total de noduri, numărul de laturi tip LEA sau LES, numărul de laturi tip transformator, numărul de stații care alimentează radial rețeaua de distribuție și numărul total de fideri din rețea; baza de date conține un singur element de acest tip.
- *st(Nr, Nume, NrSt, NrFideri)*; conține date referitoare la stațiile electrice din rețea: numărul curent al functorului, numele stației, numărul stației și numărul de fideri ai stației respective; baza de date conține câte element de acest tip pentru fiecare stație electrică.
- *nod(N, Nume, Nr, NrSt, NrFider, U, Un, Niv, P, Q)*; conține date referitoare la nodurile rețelei: numărul curent, numele nodului, numărul nodului, numărul stației de la care este alimentat, numărul fiderului de care aparține, tensiunea nodului, tensiunea nominală a nodului, nivelul tensiunii nodului, puterile activă și reactivă consumate în nod; baza de date conține câte element de acest tip pentru fiecare nod din rețea.
- *le(Nr, Nodi, Nodf, NrSt, NrFider, Ief, Iadm, Niv, Lung, Pd, Qd, Pi, Qi, DPl, DQl, Func)* conține date referitoare la laturile tip linie electrică (LEA sau LES) din rețea: numărul curent, numărul inițial al laturii, numărul final al laturii, numărul stației de care aparține, numărul fierului în care se află, valoarea efectivă a curentului de fază, Valoarea admisibilă a curentului de fază, nivelul tensiunii, lungimea laturii, puterile activă și reactivă de circulației în sens direct ("d" – inițial la final) și invers ("i" – final la inițial), pierderile active și reactive longitudinale și starea laturii (1 – în funcțiune, 0 – deconectată); baza de date conține câte un element de acest tip pentru fiecare latură tip linie electrică din rețea.
- *trafo(Nr, Nodi, Nodf, NrSt, NrFider, Sef, Sec, Sn, NivI, NivJ, Pd, Qd, Pi, Qi, DPl, DQl, Func)*; conține date referitoare la laturile tip transformator din rețea: numărul curent al înregistrării, numerele nodurilor inițial și final ale laturii, numerele stației și fiderului de care aparține, puterea aparentă de circulație pe latură, puterea aparentă economică de funcționare a trans-

DiagRED is a software application which:

- receives input data about the EDS from SCADA
- has a bi-directional communication line with the human user through the user interface

The knowledge base must contain the diagnosis rules. Some of these rules are obtained from the human experts by experience, other are settled on the technical and economical considerations. To achieve a better performance for DiagRED, the knowledge base must be periodically updated by using a perpetual analyzes of the results.

DiagRED has two-program modules, each with its own interface. The first module calculates the local and global fuzzy indexes for all electrical quantities used in diagnosis and the second one determines the repair measures which must be applied in order to achieve the quasi-optimal state.

3. The Database and the knowledge base

3.1. The DataBase

The database is a text type file and its name has the following form: <network_name>.DBA. The information in this file is structured as Prolog functors. Each functor type is declared in the *database* section in the program. The used functors from the database are:

- *date_gen(Nrnod, NrLE, NrTrafo, NrStatii, NrFideri)* - general data concerning the analyzed network: the number of buses, the number of branches (OPL or UPL), the number of transformers, the number of radial power stations and the number of feeders; the database has only one element of this type.
- *st(Nr, Nume, NrSt, NrFideri)* – data concerning the power stations: current functor number, station name, station number, the number of feeders from the station; the database has one element of this type for each station.
- *nod(N, Nume, Nr, NrSt, NrFider, U, Un, Niv, P, Q)* – data concerning the buses: current bus number, bus name, station number from which is supplied, the number of the depending feeder, bus voltage, bus rated voltage, bus voltage level, active and reactive power; the database has one element of this type for each bus.
- *le(Nr, Nodi, Nodf, NrSt, NrFider, Ief, Iadm, Niv, Lung, Pd, Qd, Pi, Qi, DPl, DQl, Func)* – data concerning the branches (OPL or UPL): current branch number, initial branch number, final branch number, station number, feeder number, electric phase current value, admissible value of phase current, voltage level, branch length, active and reactive powers from the normal (d - initial to final) and reverse (i - final to initial) power flows, active and reactive longitudinal losses and branch state (1 – connected, 0 – disconnected); the database has one element of this type for every branch.
- *trafo(Nr, Nodi, Nodf, NrSt, NrFider, Sef, Sec, Sn, NivI, NivJ, Pd, Qd, Pi, Qi, DPl, DQl, Func)* – data concerning the transformers: current number, initial and final bus number of transformer branch, station and feeder number, apparent power flow on the branch, economical rated apparent power of the equivalent transformer, voltage level (high

formatorului echivalent, puterea aparentă nominală a transformatorului echivalent, nivelul tensiunii la înaltă tensiune și la medie tensiune, puterile active și reactive de circulație în sens direct și invers pe latură (sensul este raportat la numerotarea nodurilor), pierderile active și reactive longitudinale și starea de funcționare a laturii; baza de date conține câte un element pentru fiecare latură tip transformator.

- *rez_glob*(Pg, Qg, Pc, Qc, DP, DQ, Rnd); conține rezultatul bilanțurilor de putere activă și reactivă: puterile totale activă și reactivă generate, puterile totale activă și reactivă consumate, pierderile totale de putere activă și reactivă și randamentul de transport; element unic.
- *data_file*(d_file); conține numele fișierului care conține baza de date; element unic.

3.2. Baza de cunoștințe

Baza de cunoștințe este conținută în fișierul text cu numele <numele_rețelei>.KNW și în secțiunea *clauses* a programului sistem expert DiagRED.

Fișierul *.KNW are 6 tipuri de funcționări. Fiecare funcțor definește o listă de date pentru un regim de bază. Funcțorii sunt următorii:

- *umaxnod*(reallist), *uminod*(reallist) pentru valorile limită ale benzilor de tensiune;
 - *uoptnodh*(reallist), pentru valorile optime ale tensiunii din noduri în regimul de bază H (regimul maxim);
 - *uoptnodl*(reallist), pentru valorile optime ale tensiunii din noduri în regimul de bază L (regimul minim);
 - *compensatoare*(reglist) – mijloacelor de compensare a puterii reactive și zonele de influență ale acestora;
 - *generatoare*(reglist) – mijloacelor de compensare a puterii active și zonele de influență ale acestora;
- De asemenea baza de cunoștințe mai conține:
- *loadTotH*(real) cu valoarea consumului total de putere activă pentru regimul H;
 - *loadTotL*(real) cu valoarea consumului total de putere activă pentru regimul L;
 - *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.

În secțiunea *clauses* a DiagRED se află reguli care implementează metoda de diagnoza prezentată în [10] astfel:

- reguli pentru calculul indicatorilor fuzzy pentru: tensiunile nodale, puterile activă și reactivă consumate și puterile de circulație pe laturile rețelei; de asemenea există reguli de definire a indicatorilor globali fuzzy;
- reguli pentru diagnoza globală;
- reguli pentru determinarea mulțimilor țintă minime a reguletoarelor de tensiune și a reguletoarelor de putere activă;
- reguli generale de căutare și afișare a informațiilor.

4. Interfața utilizator

Sistemul expert este alcătuit din două module de program. Primul modul (DiagRED modulul 1) calculează valorile indicatorilor locali și globali fuzzy iar al doilea modul (DiagRED modulul 2) calculează diagnoza globală și determină măsurile care trebuie luate, adică reguletoarele de tensiune și de putere activă care trebuie ajustate, pentru ca regimul să devină cvasi-optimal. Interfața cu utilizatorul a modulului întâi are următoarele opțiuni (Figura 2):

and medium voltage), active and reactive power flow (“d” and “i”), active and reactive longitudinal losses and branch state; the database has one element for each transformer.

- *rez_glob*(Pg, Qg, Pc, Qc, DP, DQ, Rnd) – the result of the active and reactive power balance after the power flow: active and reactive generated power, active and reactive consumed power, transport efficiency; unique element.
- *data_file*(d_file); the name of the database file; unique element.

3.2. The knowledge base

The knowledge base is a text type file and its name has the following form: <network_name>.KNW. The information in this file is declared in the *clauses* section in the program.

The *.KNW file has 6 types of functions. Each of them defines a list of data for the base regime. The functions are the following:

- *umaxnod*(reallist), *uminod*(reallist) for the limits of voltage range;
 - *uoptnodh*(reallist), optimal bus voltages for the base H (high) regime;
 - *uoptnodl*(reallist), optimal bus voltages for the base L (low) regime;
 - *compensatoare*(reglist) – reactive power compensation equipment and their influence area;
 - *generatoare*(reglist) – active power compensation equipment and their influence area;
- Also, the knowledge base has:
- *loadTotH*(real) total active power consumption for H regime;
 - *loadTotL*(real) total active power consumption for L regime;
 - *know_file*(string) file name for the knowledge base;
 - *date_gen_knw*(string) compatibility key with the database.

In the *clauses* section of DiagRED there are rules which implements the diagnosis method presented in [10] as in the following:

- rules for computing the fuzzy indexes for the bus voltages, active and reactive consumed powers and the power flow on the branches; also are rules to define the global fuzzy indexes;
- rules for the global diagnosis;
- rules for determining the minimal target set of voltage and reactive power controllers;
- general search and display information on screen rules.

4. User interface

The ES is made of two program units. The first one (DiagRED unit 1) computes the values for the global and local fuzzy indexes and the second one (DiagRED unit 2) computed the global diagnosis and determines the measures which must be taken, the voltage and active power controllers which must be adjusted, in order to bring the system to quasi-optimal state. The human interface of the first unit has the following options (Figure 2):



Figura 2. Meniul general al DiagRED modulul 1
Figure 2. Main menu of DiagRED unit 1

- **Încărcare date** – încarcă baza de date;
- **Listare date** – afișează pe ecran baza de date;
- **Listare SCADA** – afișează datele preluate de la SCADA;
- **Încărcare cunoștințe** – încarcă baza de cunoștințe;
- **Listare cunoștințe** – afișează pe ecran baza de cunoștințe;
- **Calcul indicatori** – calculează și afișează indicatorii fuzzy pentru fiecare mărime electrică în parte;
- **Diagnoza regim** – calculează și afișează indicatorii fuzzy pentru toate mărimile electrice diagnosticate;
- **Informații ajutor** – afișează fișierul de "help";
- **Sistem de operare** – ieșire spre SO;
- **Ieșire** – ieșire din program.

Opțiunea **Calcul indicatori** afișează următorul submeniu (Figura 3):

- **Diagnoza P cons.** – diagnoza puterilor active consumate;
- **Diagnoza Q cons.** – diagnoza puterilor reactive consumate;
- **Diagnoza U nod** – diagnoza tensiunilor din nodurile RED;
- **Diagnoza LE** – diagnoza circulațiilor de putere pe linii;
- **Diagnoza TRAF0** – diagnoza puterilor pe transformatoare;
- **Indicatori fuzzy** – realizează toate diagnozele de mai sus;

În urma activării uneia dintre opțiunile prezentate în meniul **Indicatori fuzzy**, rezultatele sunt prezentate sub formă de tabele. Tabelele cuprind valorile ferme ale mărimilor analizate, calificativele acordate, valorile gradelor de apartenență la mulțimile fuzzy corespunzătoare.

Interfața cu utilizatorul a modulului al doilea al DiagRED prezintă meniul principal cu următoarele opțiuni (Figura 4):

- **Încărcare date** – încarcă baza de date;
- **Listare date** – afișare pe ecran a bazei de date;
- **Încărcare cunoștințe** – încarcă baza de cunoștințe;
- **Listare cunoștințe** – afișarea bazei de cunoștințe;
- **Diagnoza globală** – calculul indicatorilor globali ai regimului;



Figura 4. Meniul general al DiagRED modulul 2
Figure 4. Main menu of DiagRED unit 2

- **Optimizare U** – determină măsurile de îmbunătățire a tensiunilor în noduri;
- **Optimizare Pc** – determină măsurile de compensare a puterilor active;
- **Informații ajutor** – afișează fișierul "help";
- **Sistem de operare** – ieșire spre SO;
- **Ieșire** – ieșire din program.

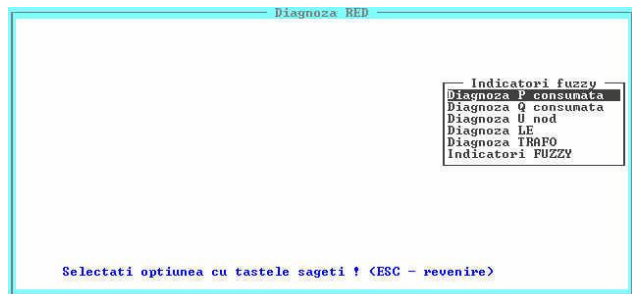


Figura 3. Submeniul Indicatori fuzzy – DiagRED
Figure 3. Indicatori fuzzy menu option– DiagRED

- **Încărcare date** – load the database;
- **Listare date** – display the database;
- **Listare SCADA** – display the SCADA received data;
- **Încărcare cunoștințe** – load the knowledge database;
- **Listare cunoștințe** – display the knowledge base;
- **Calcul indicatori** – computes and displays the fuzzy indexes for every electrical quantity;
- **Diagnoza regim** – computes and displays the fuzzy indexes for every diagnosed electrical quantity;
- **Informații ajutor** – help;
- **Sistem de operare** – exit to OS;
- **Ieșire** – exit.

The **Calcul indicatori** option reveals the following menu (Figure 3):

- **Diagnoza P cons.** – consumed active power diagnosis;
- **Diagnoza Q cons.** – consumed reactive power diagnosis;
- **Diagnoza U nod** – bus voltage diagnosis;
- **Diagnoza LE** – branch powerflow diagnosis;
- **Diagnoza TRAF0** – transformer powerflow diagnosis;
- **Indicatori fuzzy** – all the above diagnoses;

After selecting one of the above options, the results are displayed as tables. They consist of firm values for the analyzed electrical quantities, the given qualifier, the values for the belonging degrees to the corresponding fuzzy sets.

The human interface of the second unit has the following options (Figure 4):

- **Încărcare date** – load database;
- **Listare date** – display database;
- **Încărcare cunoștințe** – load knowledge base;
- **Listare cunoștințe** – display the knowledge base;
- **Diagnoza globală** – compute the global indexes for the regime;

- **Optimizare U** – determines the measures to improve the buses voltages;
- **Optimizare Pc** – determines the measure to compensate the reactive power;
- **Informații ajutor** – help;
- **Sistem de operare** – exit to OS;
- **Ieșire** – exit.

5. Diagnoza RED test cu 13 noduri

În acest paragraf se prezintă diagnoza unui regim oarecare al RED test cu 13 de noduri [11]. Schema RED test este prezentată în figura 5 iar datele complete ale rețelei și ale regimului analizat sunt prezentate în [9]. Pentru simularea RED s-a folosit Powerworld 8.0. Regimurile de bază maxim și minim folosite pentru calcularea indicatorilor fuzzy ai mărimilor electrice de interes sunt prezentate în [9].

Aplicând DiagRED pentru regimul oarecare au fost obținute rezultatele prezentate în figurile de mai jos.

În figura 6 se observă că sunt identificate cu ajutorul indicatorilor fuzzy puterile active consumate care au valori neașteptat de mari.

În figura 7 sunt prezentați indicatorii fuzzy pentru tensiunile nodale. Se observă că 2 dintre ele au depășit limita inferioară a benzii admisibile iar 4 sunt în partea inferioară a benzii admisibile. Ca urmare regimul trebuie cât mai urgent adus în limitele admisibile din punctul de vedere al tensiunilor nodale.

5. EDS diagnosis for 13 bus test system

In this section, the authors present the diagnosis for a 13 bus test system [11]. The EDS is presented in Figure 5 and the complete data for the analyzed network and regime are presented in [9]. Simulations were made using Powerworld 8.0 software. The minim and maxim regime used to compute the fuzzy indexes are presented in [9].

The results obtained applying DiagRED for one usual regime are presented and analyzed below.

In Figure 6 can be noticed the unexpected high values of consumed active power which were identified using the fuzzy indexes.

In figure 7 are presented the values of fuzzy indexes for bus voltages. It is easy to notice that two of them have overcome the inferior limit of the admissible range and four of them are in the lower area of the admissible range. So, the system state must be corrected and brought as soon as possible between the admissible limits concerning bus voltages.

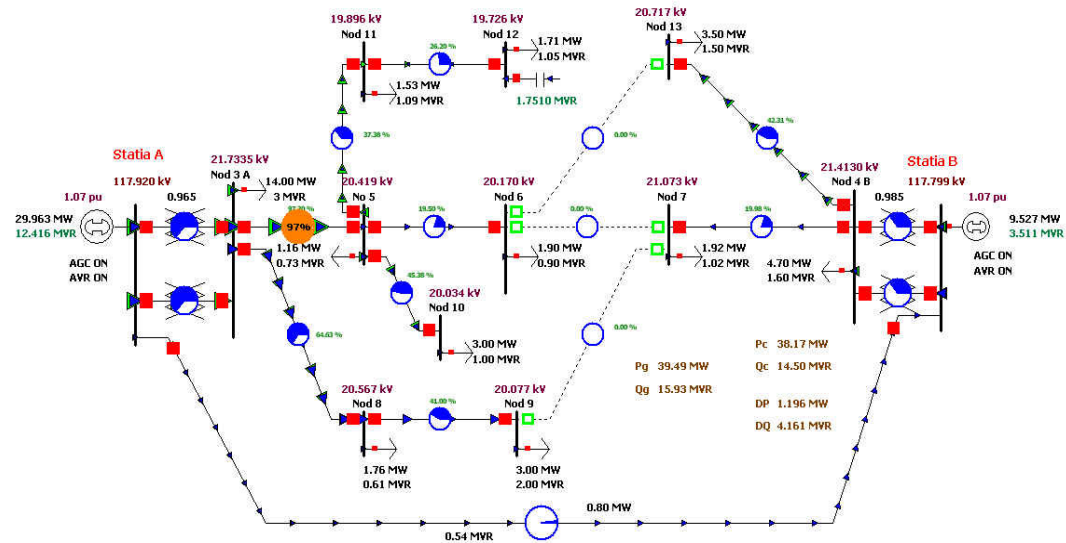


Figura 5. RED test cu 13 noduri – regim inițial
Figure 5. 13 bus EDS – initial regime

Line	Numar	Nume	P [MW]	Calificativ	Grade de apartenenta
3	Nod3	14	ridicatat	'H' = 0.57	'L' = 0.43
4	Nod4	4.7	ridicatat	'H' = 0.56	'L' = 0.44
5	Nod5	1.1586	ridicatat	'H' = 0.98	'L' = 0.02
6	Nod6	1.9	foarte ridicatat	'H' = 1.00	'L' = 0.00
7	Nod7	1.9214	ridicatat	'H' = 0.99	'L' = 0.01
8	Nod8	1.7558	ridicatat	'H' = 0.98	'L' = 0.02
9	Nod9	3	foarte ridicatat	'H' = 1.00	'L' = 0.00
10	Nod10	3	foarte ridicatat	'H' = 1.00	'L' = 0.00
11	Nod11	1.5258	ridicatat	'H' = 0.98	'L' = 0.02
12	Nod12	1.7052	ridicatat	'H' = 0.98	'L' = 0.02
13	Nod13	3.5	foarte ridicatat	'H' = 1.00	'L' = 0.00
Calificativ global pentru P consumata:					ridicatat ('H' = 1 'L' = 0)

Figura 6. Indicatori fuzzy pentru puterea activă consumată
Figure 6. Fuzzy indexes for consumed active power

Line	Numar	Nume	U [kV]	Calificativ	Grade de apartenenta
3	Nod3	21.733	optim	'O' = 0.87	'AI' = 0.13
4	Nod4	21.511	optim	'O' = 0.86	'AI' = 0.14
5	Nod5	20.419	admis. inf.	'O' = 0.38	'AI' = 0.62
6	Nod6	20.169	admis. inf.	'O' = 0.18	'AI' = 0.82
7	Nod7	21.173	optim	'O' = 0.83	'AI' = 0.17
8	Nod8	20.566	optim	'O' = 0.5	'AI' = 0.5
9	Nod9	20.076	admis. inf.	'O' = 0.09	'AI' = 0.91
10	Nod10	20.833	admis. inf.	'O' = 0.04	'AI' = 0.96
11	Nod11	19.895	Depasire limita inferioara. Alarma !		
12	Nod12	19.725	Depasire limita inferioara. Alarma !		
13	Nod13	21.007	optim	'O' = 0.81	'AI' = 0.19

Figura 7. Indicatori fuzzy pentru tensiunile nodale
Figure 7. Bus voltages fuzzy indexes

Line	Iniț. Pin.	Col 1	Col 2	Col 3	Calificativ	Grade de apartenenta
3	5	306.178	315	admis. sup.	'O' = 0.28	'AS' = 0.72
7	8	167.921	260	optim	'O' = 1	'A' = 0
7	4	63.924	315	optim	'O' = 1	'A' = 0
13	4	103.459	260	optim	'O' = 1	'A' = 0
5	6	61.353	315	optim	'O' = 0.97	'AI' = 0.03
5	10	93.008	205	optim	'O' = 1	'A' = 0
5	11	97.118	260	optim	'O' = 1	'A' = 0
8	9	106.526	260	optim	'O' = 1	'A' = 0
11	12	53.692	205	optim	'O' = 1	'A' = 0

Figura 8. Indicatori fuzzy pentru circulația de puteri pe liniile electrice
Figure 8. Fuzzy indexes for branch power flow

Sunt necesare masuri zonale de reglaj a tensiunilor nodale !
Sunt necesare masuri zonale de reglaj a circulațiilor pe TRAP0 !
Sunt necesare masuri zonale de reglaj a circulațiilor pe LE !
Nivelul puterilor active consumate în noduri este foarte ridicat !
Nivelul puterilor reactive consumate în noduri este ridicat !

Figura 9. Diagnoza globală
Figure 9. Global diagnosis

În figura 8 sunt prezentate rezultatele diagnozei circulațiilor pe laturile tip linie electrică. O singură linie electrică este încărcată spre maxim, fără a depăși această limită, celelalte neavând probleme de încărcare.

Figura 9 prezintă diagnoza globală pentru mărimile electrice urmărite. Se poate concluziona că există probleme „zonale” cu valorile tensiunilor nodale și la fel și cu circulațiile pe laturile RED. Nivelul puterilor consumate, activă și reactivă este „foarte ridicat”.

În figurile 10 și 11 sunt prezentate rezultatele proceselor de determinare a mulțimilor țintă minime pentru reglarea tensiunilor și puterilor active consumate.



Figura 10. Optimizarea valorilor tensiunilor nodale
Figure 10. Optimizing the values of bus voltages

În cazul tensiunilor sunt identificate 3 noduri reglatoare (3, 6 și 12), din cele 4 care pot fi alese (3, 4, 6, 12). Nodurile 3 și 4 sunt secundarele transformatoarelor coborâtore din stațiile electrice care alimentează RED iar în nodurile 6 și 12 se află mijloace pentru compensarea puterii reactive. Rezultatul diagnozei precizează valorile de corecție necesar a fi realizate pentru fiecare regulator în parte. Regimul fiind unul foarte încărcat se observă că sunt necesare corecții pozitive adică ridicarea tensiunilor în vederea aducerii lor în banda optimă.

În cazul diagnozei puterilor active consumate se identifică nodurile cu consumuri neconforme, adică nodurile 6, 9, 10, 13 și lista de reglatoare de putere activă care trebuie să aducă regimul la unul cvasioptim, adică reglatoarele 6, 9, 13. Valorile de corecție calculate pentru fiecare regulator de putere activă țin cont de deficitul de putere generată pentru întreaga zonă de influență a fiecărui regulator.

In figure 8 are presented the result for the branch power flow diagnosis. Only one power line is almost overloaded, the other are not presenting loading problems.

Figure 9 presents the global diagnosis for the desired electrical quantities. It is ok to conclude that are „zonal” issues regarding bus voltages and branch power flow. Also, the level of consumed active and reactive power is „very high”.

In Figure 9 and Figure 10 are presented the result of the processes with returns the minimal target sets in order to adjust the voltages and the consumed active power.



Figura 11. Optimizarea valorilor puterilor consumate
Figure 11. Optimizing the consumed power values

Considering the voltages, 3 adjustable buses are identified (3, 6 and 12) from the whole four possibilities (3, 4, 6, 12). Buses number 3 and 4 are the transformer secondaries from the power substations which supply the EDS and in bus 6 and 12 have means for reactive power compensation. The diagnosis result gives the necessary correction values for each controller. The analyzed regime, being a high load regime, determines positive corrections to be made, meaning increasing the voltages to bring them into the optimal range.

Considering the active power diagnosis, the problematic buses are identified (6, 9, 10, 13) and also the list of active power controllers (6, 9, 13) which will bring the system to quasi-optimal regime. The correction values computed for each active power controller considers the generated power deficit for the entire influence area of each controller.

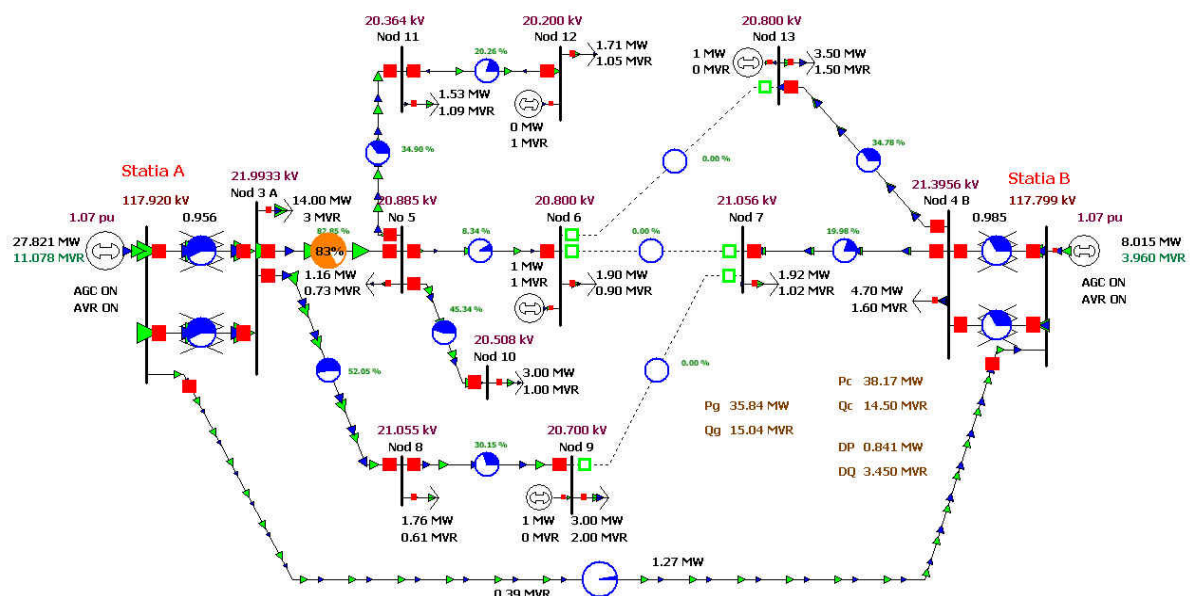


Figura 12. RED cu 13 noduri – optimizat
Figure 12. Optimized 13 bus EDS

După aplicarea măsurilor de optimizare a regimului sugerate de DiagRED, atât pentru tensiuni cât și pentru puterile active generate se obține regimul din figura 12. Se pot observa "repararea" mărimilor neconforme atât tensiuni nodale (nodurile 12, 11, 10, 9, 6 și 5) cât și a puterilor consumate în noduri (13, 10, 9 și 6). Desigur că orice regim se poate optimiza în limita mijloacelor de reglaj tensiune și putere activă de care se dispune. Avantajul utilizării DiagRED este minimizarea acțiunilor de reglaj pentru "repararea" unui regim.

La o nouă rulare a DiagRED, pentru indicatorii fuzzy ai tensiunilor nodale se obțin calificative cvasioptime. În concluzie regimul a fost îmbunătățit astfel încât de la un regim de alarmă, cu depășiri de limite, a rezultat un regim cvasioptim.

6. Concluzii

Sistemul DiagRED descris în această lucrare este un sistem expert pentru diagnoza regimurilor staționare ale RED. Construit în limbajul Prolog, DiagRED prezintă o serie de avantaje: asistarea operatorilor de sistem, rapiditate, flexibilitate și transparență. El acționează ca un expert uman realizând judecăți corecte cu privire la regimul staționar al RED. Interfața sa este foarte simplă și prietenoasă.

Regulile de diagnoză utilizate sunt complexe dar foarte logice, conținând considerații economice, tehnice și euristice.

Diagnoza realizată de DiagRED pornește de la efectele observate ca și simptome (valori ale tensiunilor și puterilor injectate neoptime) și ajunge la cauze, care sunt de fapt măsurile de reparare aplicate reguletoarelor de tensiune și putere activă.

Mulțumiri

Acestă lucrare a fost finanțată parțial prin Grantul CNCSIS cod 485 / 2009.

Bibliografie (References)

1. Liu C.C., *CIGRE Task Force 38.06.03: Practical use of Expert Systems in Planning and Operation of PSs*, ELECTRA, No. 146, February 1993, p.31-67.
2. Cho H.J., Park J.K., *An Expert System for Section Diagnosis of Power Systems using Fuzzy Relations*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 1, February 1997, p.342-347.
3. Yang H.T., Chang W.Y., Huang C.L., *On-line Fault Diagnosis of Power Substation using Connectionist Expert System*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 1, February 1995, p.323-330.
4. Hsu Y.Y., Su C.C., *A Rule-Based Expert System for Steady-State Stability Analysis*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, p.771-777.
5. Laframboise J.R., Ferland G., Chikhani A.Y., Salama M.M.A., *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, p.1433-1440.
6. Borlea I., *Contribuții privind diagnoza regimurilor de funcționare a sistemelor electrice de putere*, Teză de doctorat, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, 2003.
7. Luștea B., Borlea I., *Application of Model Based Diagnosis for Steady State Power Systems Operation: Theory and Basic Concepts*, Proceedings of the 5th International Power Systems Conference, Timișoara, 6-7 Nov. 2003.
8. Luștea B., Borlea I., *Application of Model Based Diagnosis for Steady State Power Systems Operation: Implementation aspects*, Proceedings of the 5th International Power Systems Conference, Timișoara, 6-7 Nov. 2003.
9. Tănase Gh., *Contribuții privind utilizarea sistemelor expert pentru monitorizarea și diagnoza regimurilor de funcționare a rețelelor electrice*, Teză de doctorat, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, 2009.
10. Tănase Gh., Borlea I. Vuc Gh., Jigoria-Oprea D., Kilyeni Șt., Luștea B., Vințan M., *Expert system for steady state operation diagnosis of electrical distribution networks: Theory and Basic Concepts*, Proceedings of the 8th International Power Systems Conference, Timișoara, 4-5 Nov. 2009.
11. Kilyeni Șt., *Tehnici numerice de analiza asistată de calculator a regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice*, Orizonturi Universitare, Timisoara, 2004.

After applying the DiagRED suggested optimization measures, for the voltages and the generated active powers, the regime presented in Figure 12 is obtained. It is easy to observe the "solving" of the electric quantities which were problematic, both the voltages (5, 6, 9, 10, 11, 12) and the powers (6, 9, 10, 13). Of course that every regime can be optimized between the limits of the available voltage and power adjustment means. The advantage of using DiagRED is minimization the adjustment actions to "fix" a regime.

Running again the DiagRED diagnosis, the fuzzy indexes of the voltages have quasi-optimal qualifiers. In conclusion, the regime has been improved from a regime in alarm state to a quasi-optimal one.

6. Conclusion

The DiagRED ES described in this paper diagnoses the stationary regimes of EDS. Built in Prolog, DiagRED present a series of advantages: assisting the human operators, quickness, flexibility and transparency. It acts like a human expert determining correct judgments regarding the steady state of EDS. Its interface is very simple and friendly.

The diagnosis rules used are very complex but also logical, considering economical, technical and heuristic information.

The diagnosis resulted using DiagRED starts from the observed effects – considered symptoms (non-optimal voltages and injected powers) and leads to causes, which are in fact the adjustments which must be applied to the active power and voltage controllers.

Acknowledgments

This work was partially supported by the Romanian National Council of Academic Research (CNCSIS) through the research Grant No. 485 / 2009.