

SISTEM EXPERT PENTRU DIAGNOZA REGIMURILOR STAȚIONARE ALE REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE. TEORIE ȘI CONCEPTE DE BAZĂ

EXPERT SYSTEM FOR STEADY STATE OPERATION DIAGNOSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS. THEORY AND BASIC CONCEPTS

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: În această lucrare se prezintă aspectele teoretice ale aplicării diagnozei bazate pe model la diagnoza regimurilor staționare de funcționare ale rețelelor electrice de distribuție. Rezultatele oferă criterii de proiectare privind implementarea metodologiei într-un sistem expert care să poată fi utilizat de operatorii de sistem pentru luarea în timp real unor decizii optime.

Cuvinte cheie: diagnoza bazată pe model, rețele electrice de distribuție, diagnoza regimurilor staționare, indicatori fuzzy

1. Introducere

În ultima perioadă, controlul funcționării rețelelor electrice de distribuție (RED) complexe a devenit o sarcină dificilă și din ce în ce mai complicată, datorită creșterii consumului și datorită necesității nivelului ridicat de siguranță și calitate în furnizarea energiei electrice. De aceea, implementarea sistemelor SCADA și creșterea puterii de calcul a calculatoarelor, aduc noi posibilități de control și monitorizare a RED [6].

În această situație, dezvoltarea aplicațiilor inteligente pe calculator devine din ce în ce mai stringentă. Astfel de programe pot să aibă un comportament asemănător cu cel al specialistului uman, care poate face aprecieri în manieră fuzzy, poate face judecăți, poate învăța și lua decizii justificabile.

Diagnoza sistemelor tehnice este identificarea componentelor neconforme care conduc la funcționarea nedorită a sistemului. Problema diagnozei apare atunci când sunt observate unele simptome, adică atunci când comportarea sistemului este în contradicție cu comportarea dorită. Soluția problemei diagnozei este determinarea mulțimii țintă minime a cauzelor care explică pe deplin toate simptomele observate [1-4].

La diagnoza bazată pe model (MBD) [1] atenția trebuie îndreptată asupra relațiilor dintre componentele sistemului.

Abstract: This paper presents theoretical aspects of applying the model based diagnosis to electrical distribution networks steady state operation. The results provide design criteria for the methodology of expert system implementation, which can be used by power system operators for taking real-time optimal decisions.

Keywords: Model Based Diagnosis, Electrical Distribution Network, Steady State Operation Diagnosis, Fuzzy indexes.

1. Introduction

In last decades, the control of complex electrical distribution networks (EDN) operation was a very hard and complicated task, due to complexity caused by the increasing consumption and the need of high-level security and quality energy supply. Therefore, using SCADA and the increasing computing capability, gives new possibilities to control and monitor the EDN [6].

In this context, the development of intelligent computer applications becomes more and more stringent. Such computer applications may have a human likely behaviour and can do appreciations in fuzzy manner, can do judgements, can learn and make justifiable decisions.

The technical systems diagnosis is the task of identifying non-conform components that cause the system not function as is intended. The diagnosis problem arises when same symptoms are observed, that is, when the system's actual behaviour is in contradiction with the expected behaviour. The solution to the diagnosis problem is the determination of the minimal target set of causes that fully explains all the observed symptoms [1-4].

In Model Based Diagnosis (MBD) [1] the focus is on the logical relations between system components. So, the

Astfel că, funcționarea fiecărei componente și interconexiunile între ele sunt reprezentate sub forma unui sistem logic denumit descrierea sistemului (*SD*). Comportarea așteptată a sistemului este o consecință logică a *SD*. Aceasta înseamnă că existența unei componente neconforme conduce la inconsistența dintre comportarea așteptată și comportarea observată a sistemului [7, 8].

Pe scurt, procesul de diagnoză începe cu identificarea simptomelor care reprezintă discrepanțele dintre *SD* și comportarea curentă. Fiecare simptom identifică un set de cauze posibile ca și componente candidate. Diagnoza minimală este cea mai mică mulțime de componente care intersectează toate mulțimile candidate. Găsirea soluției de diagnoza presupune două etape: mai întâi se generează o mulțime de componente candidate dintre cele posibile și apoi se determină mulțimea minimă de componente.

Scopul acestei lucrări este implementarea metodologiei de diagnoză într-o aplicație sistem expert care să ofere suport pentru deciziile în timp real ale operatorului de sistem.

2. MBD pentru diagnoza regimurilor staționare ale RED

În această secțiune se prezintă implementarea MBD pentru diagnoza regimurilor staționare ale RED [9]. Rețeaua electrică de distribuție care urmează să fie diagnosticată este descrisă printr-un set de formule propoziționale. Pentru fiecare componentă *X* a RED este utilizată o variabilă propozițională care indică dacă acea componentă funcționează așa cum ar trebui sau nu. Dacă nu există evidențe că RED nu funcționează așa cum ar trebui, putem presupune că toate variabilele propoziționale sunt adevărate. Altfel, unele dintre ele sunt false.

Pentru diagnoza regimurilor staționare ale RED, descrierea sistemului (*SD*) conține:

- parametrii sistemului descriși de matricea de admitanță nodală și valorile limită și optime ale mărimilor electrice pentru funcționare normală,
 - topologia rețelei,
 - relațiile bine cunoscute de calcul a circulațiilor de puteri,
 - localizarea și zonele de influență pentru regulatoarele de putere activă și de tensiune,
 - reguli fuzzy pentru determinarea indicatorilor fuzzy.
- Mulțimea presupunerilor (*ASS*) conține propoziții de forma:
- Ieșirea regulatorului de tensiune (TC)*i* este *optimă*, unde $i = 1, \dots, T$, T – numărul de TC.
 - Ieșirea regulatorului de putere activă (PC)*j* este *optimă*, unde $j = 1, \dots, P$, P – numărul de PC.

Rezultatele obținute din $SD \cup ASS$ sunt propoziții de forma:

- tensiunea nodului numărul *k* este *optimă*, unde $k = 1, \dots, N$, N – numărul de noduri.
- puterea activă injectată în nodul *l* este *optimă*, unde $l = 1, \dots, G$, G – numărul de generatoare.
- valoarea curentului de circulație pe latura linie electrică numărul *m* este *optimă* sau *admisibilă*, unde $m = 1, \dots, L$, L – numărul de linii electrice.
- puterea aparentă de circulație pe transformatorul *n* este *optimă* sau *admisibilă*, unde $n = 1, \dots, T$, T – numărul de transformatoare.

La începutul procesului de diagnoză toate regulatoarele sunt presupuse a fi *optime*.

Mulțimea observațiilor (*OBS*) conține propoziții de forma:

operation of each component and the interconnections between components, are represented as a logical system called System Description (*SD*). The expected behaviour of the system is a logical consequence of the *SD*. This means that the existence of faulty components leads to inconsistency between the observed and the expected behaviour of the system [7, 8].

In summary, the diagnosis process starts with identifying symptoms that represent discrepancies between the *SD* and system actual behaviour. Each symptom identifies a set of conflicting components as initial candidates. Minimal diagnosis is the smallest set of components that intersects all candidate sets. Finding the diagnosis solution means a two step process: first a set of candidates is generated from symptoms and secondly the minimal set of components is determined.

The aim of this paper is the diagnosis methodology implementation into an expert system application that can support system operator on-line decisions.

2. MBD for EDN steady state operation diagnosis

In this section is presented the implementation of MBD for EDN steady state operation diagnosis [9]. The EDN to be diagnosed is described by a set of propositional formulas. For each *X* component of the EDN, a propositional variable is used to indicate if the component is working as it should. If there is no evidence that the EDN is not working as it should, we can assume that propositional variables are true. Otherwise some of them are false.

For the EDN steady state operation diagnosis, the system description (*SD*) content is the following:

- the system parameters described by nodal admittance matrix and the limit and optimal electrical values for normal operation;
- network topology;
- well known power flow computation expressions ;
- voltage and active power controllers localisation and influence areas;
- fuzzy rules for fuzzy indexes determination.

The assumptions set (*ASS*) uses this type of propositions:

- Output of voltage controller (TC) *i* is *optimal*, where $i = 1, \dots, T$, T – number of TC.
- Output of active power controller (PC) *j* is *optimal*, where $j = 1, \dots, P$, P – number of PC.

Obtained results from $SD \cup ASS$ are proposition of this form:

- Bus number *k* voltage is *optimal*, where $k = 1, \dots, N$, N – number of system buses.
- Active power injected in bus number *l* is *optimal*, where $l = 1, \dots, G$, G – number of generators.
- The value for the flow current on line number *m* is *optimal* or *admissible*, where $m = 1, \dots, L$, L – number of electrical lines.
- Apparent power flow for transformer number *n* is *optimal* or *admissible*, where $n = 1, \dots, T$, T – number of transformers.

In the beginning process of the diagnose all controllers are supposed to be *optimal*.

The observations set (*OBS*) have this form of propositions:

- Tensiune nodului k este A .
- Puterea activă injectată în nodul l este A .
- Puterea reactivă injectată în nodul q este A .
- Curentul de circulație pe linia m este A .
- Puterea aparentă de circulație pe transformatorul n este A , unde $A \in \{\text{optim, admisibil, non admisibil}\}$

Acest set de observații este obținut prin procesarea mărimilor oferite de SCADA.

Mulțimea țintă Δ , care este soluția de diagnoză în acord cu MBD conține:

- Ieșirea regulatorului de tensiune i este NOT *optimă*.
- Ieșirea regulatorului de putere activă j este NOT *optimă*.

3. Indicatori fuzzy utilizați la diagnoza regimurilor staționare ale RED

Așa cum s-a prezentat mai sus, compararea la valorilor curente ale mărimilor electrice de interes pentru diagnoză cu valori de referință cvasi-optime ale tensiunilor nodale, puterilor active injectate în noduri și a puterilor de circulație pe laturi este esențială. Există două probleme:

- stabilirea regimurilor de bază și a valorilor cvasi-optime;
- determinarea indicatorilor fuzzy cu ajutorul mărimilor măsurate și a celor cvasi-optime.

Mulțimea valorilor cvasi-optime este necesară pentru aprecierea regimului curent. Aceasta implică optimizarea regimului curent, ceea ce este inacceptabil pentru o diagnoză în timp real. De aceea, valorile cvasi-optime vor fi preluate de la un regim de referință optimizat, denumit regim de bază. Aceasta presupune identificarea și apoi optimizarea a două regimuri de bază:

- regimul optimizat de bază cu sarcină ridicată (H) și
- regimul optimizat de bază cu sarcină scăzută (L).

Regimurile de bază sunt stabilite cu ajutorul curbei zilnice de sarcină a RED corespunzătoare la două situații diferite și în acord cu experiența operatorului de sistem. Aceste regimuri sunt apoi optimizate cu un program adecvat de optimizare. Se obține în final două seturi de valori cvasi-optime dintre care se alege unul ca referință pentru regimul curent analizat. Regimul de bază ales este cel mai apropiat ca și consum de regimul curent analizat.

Regimul analizat poate fi caracterizat de un set de indicatori fuzzy [5, 9]:

- Indicatori fuzzy locali pentru fiecare mărime electrică considerată la diagnoză: tensiunea nodală, puterile activă și reactivă injectate, circulațiile de puteri pe laturi;
- Indicatori fuzzy globali calculați din indicatorii fuzzy locali în acord cu regulile de însumare fuzzy specifice pentru fiecare mărime electrică [9].

De exemplu, în figura 1 se prezintă metoda de calcul a indicatorului fuzzy pentru tensiunea nodală [9].

Pentru puterile activă și reactivă injectate în noduri se folosesc modele fuzzy similare cu 3 funcții de apartenență [9].

Notațiile din figura 1 sunt:

- O – mulțimea fuzzy pentru valorile optime:
 $O = \{(U, \mu_O(U)) | U \in [U \text{ min}, U \text{ max}]\}$
- HA – mulțimea fuzzy pentru valorile admisibile superior:
 $HA = \{(U, \mu_{HA}(U)) | U \in [U_{opt}, U \text{ max}]\}$
- LA – mulțimea fuzzy pentru valorile admisibile inferior:
 $LA = \{(U, \mu_{LA}(U)) | U \in [U \text{ min}, U_{opt}]\}$

- Bus k voltage is A .
- Active power injected in bus l is A .
- Reactive power injected in bus q is A .
- Tie line flow current number m is A .
- Apparent power flow for transformer n is A , where $A \in \{\text{optim, admisibil, non admisibil}\}$

This set of observations is obtained by processing the SCADA system outputs.

Hitting set Δ , which is the diagnosis solution according to MBD contains:

- Output of voltage controller i is NOT *optimal*.
- Output of active power controller j is NOT *optimal*.

3. Fuzzy indexes used for EDN steady state operation diagnosis

As it was stated above, the relative value assessment of the current electrical quantities to the quasi-optimal set of bus voltages, active power injections and apparent power flows is essential. There are two problems:

- setting the basic regimes and the quasi-optimal values;
- determining the fuzzy indexes from measured and quasi-optimal value sets.

The quasi-optimal value set is necessary for current regime assessment. This implies a lot of time spent with regime optimization, that is not acceptable for real time diagnosis. That's why, the authors introduced an original method for quasi-optimal set quick determination. This method implies off-line identification and then the optimization of two optimal basic regimes named:

- high load optimal basic regime (L);
- low load optimal basic regime (H).

Basic regimes were established from daily load curve of EDN corresponding to two different situations appointed accordingly to the system operator experience. These regimes are then off-line optimized with an adequate optimization program. We obtain a quasi-optimal value set for current analyzed regime. The base regime is then chosen as the nearest one according to consumption from the analyzed one.

The analyzed regime may be characterized by a set of fuzzy indexes [5, 9]:

- local fuzzy indexes for each electrical quantity considered in diagnosis: bus voltage, active and reactive power injection, branch apparent power flow;
- global fuzzy indexes computed from local indexes according to fuzzy summation rules for each electrical quantity [9];

For example, in Figure 1 is presented the bus voltage fuzzy index method of computation [9].

For active and reactive power injection a similar fuzzy model with three membership functions is used [9].

The notations in figure 1 are:

- O – fuzzy set for optimal values:
 $O = \{(U, \mu_O(U)) | U \in [U \text{ min}, U \text{ max}]\}$
- HA – fuzzy set for high admissible values:
 $HA = \{(U, \mu_{HA}(U)) | U \in [U_{opt}, U \text{ max}]\}$
- LA – fuzzy set for low admissible values:
 $LA = \{(U, \mu_{LA}(U)) | U \in [U \text{ min}, U_{opt}]\}$

Expresiile analitice ale funcțiilor de apartenență prezentate în figura 1 sunt:

$$\mu_O(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{\min} \\ 1 + \frac{U - U_{\text{opt}}}{U_{\text{opt}} - U_{\min}} & U_{\min} \leq U \leq U_{\text{opt}} \\ 1 + \frac{U_{\text{opt}} - U}{U_{\max} - U_{\text{opt}}} & U_{\text{opt}} \leq U \leq U_{\max} \\ 0 & U > U_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{LA}(U) = \begin{cases} 1 & U < U_{\min} \\ 1 + \frac{U_{\text{opt}} - U}{U_{\text{opt}} - U_{\min}} & U_{\min} \leq U \leq U_{\text{opt}} \\ 0 & U > U_{\text{opt}} \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{HA}(U) = \begin{cases} 0 & U < U_{\text{opt}} \\ 1 + \frac{U_{\max} - U}{U_{\max} - U_{\text{opt}}} & U_{\text{opt}} \leq U \leq U_{\max} \\ 1 & U > U_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

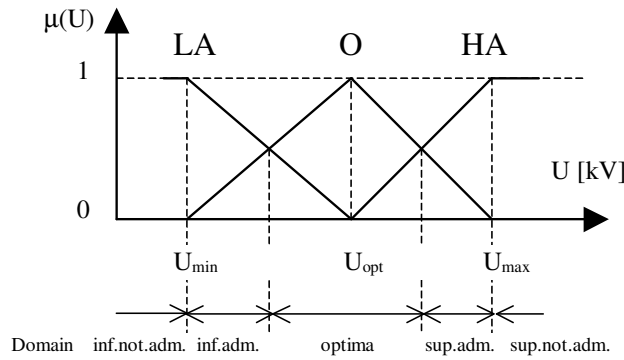


Figura 1. Forma funcțiilor de apartenență pentru indicatorul fuzzy pentru tensiunea nodală
Figure 1. The shape of membership functions for bus voltage fuzzy index

În figura 1 se pot observa 5 domenii care corespund calificativelor acordate tensiunii nodale:

- non admisibil inferior;
- admisibil inferior;
- optim;
- admisibil superior;
- non admisibil superior.

Pentru o valoare dată a tensiunii nodale se calculează valorile funcțiilor de apartenență $\mu_K(U)$, unde $K \in \{LA, O, HA\}$ și se stabilește calificativul corespunzător.

În [9] este prezentată în detaliu metoda de calcul a indicatorilor fuzzy pentru încărcarea liniilor electrice și a transformatoarelor. Valorile de referință pentru construirea indicatorilor fuzzy sunt:

1. Modelul fuzzy pentru încărcarea liniile electrice utilizează pentru curentul de circulație următoarele 4 referințe:

- fără sarcină,
- $0.5 I_{nat}$,
- $1.5 I_{nat}$,
- I_{adm} – curentul admisibil.

unde: $I_{nat} = \frac{P_{nat}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$ este valoarea curentului natural al

liniei electrice, P_{nat} – puterea naturală a liniei și U_n – tensiunea

Analytical expression of membership functions presented in figure 1 are:

In figure 1 we can observe five domains that correspond to the bus voltage qualifiers:

- inferior non-admissible;
- inferior admissible;
- optimal;
- superior admissible;
- superior non-admissible.

For a given bus voltage value the membership function values $\mu_K(U)$ are computed, where $K \in \{LA, O, HA\}$ and is assigned the corresponding qualifier.

In [9] is presented in details the computational method of fuzzy indexes for tie lines and transformers. The reference values used to build the fuzzy indexes are:

1. The electrical line fuzzy model uses for the flow current the following four reference values:

- no load;
- $0.5 I_{nat}$
- $1.5 I_{nat}$
- admissible current – I_{adm} .

where: $I_{nat} = \frac{P_{nat}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$ is the tie line's natural current,

P_{nat} – tie line's natural power, U_n – nominal voltage;

nominală; $m I_{adm}$ – valoarea minimă dintre: curentul limită termic, curenții limită de stabilitate a tensiunii și de stabilitate statică; procedând în această manieră se consideră implicit funcționarea în regim cvasi-staționar.

2. Modelul fuzzy pentru transformatoarele de putere utilizează 4 valori de referință pentru puterea aparentă:

- fără sarcină;
- puterea aparentă economică de funcționare:

$$S_{ec} = S_n \cdot \sqrt{\frac{P_{Fen} + k_e \cdot q_{Fen}}{P_{in} + k_e \cdot q_{in}}}$$

unde: S_n – puterea nominală a transformatorului;
 P_{Cun} , q_{Cun} – pierderile nominale de putere activă și reactivă în înfășurări;
 P_{Fen} , q_{Fen} – pierderile nominale de putere activă și reactivă în miezul magnetic;
 k_e – echivalentul puterii reactive pentru pierderi.

- $0.95 \cdot S_n$;
- S_n .

Figura 2 prezintă forma funcțiilor de apartenență pentru indicatorul fuzzy al încărcării transformatoarelor de putere.

I_{adm} – the minimum value determined from: thermal current limit, steady state and voltage stability limit currents; working in this manner, is taken implicitly into account the system steady state operation.

2. Power transformer fuzzy model uses for apparent power flow the following four reference values:

- no load;
- economic apparent power:

where: S_n – transformer rated power;
 P_{Cun} , q_{Cun} – rated active and reactive winding losses;
 P_{Fen} , q_{Fen} – rated active and reactive core losses;
 k_e – the equivalent of reactive power for losses.

- $0.95 \cdot S_n$;
- S_n .
-

Figure 2 shows the membership function for transformer's local fuzzy index determination.

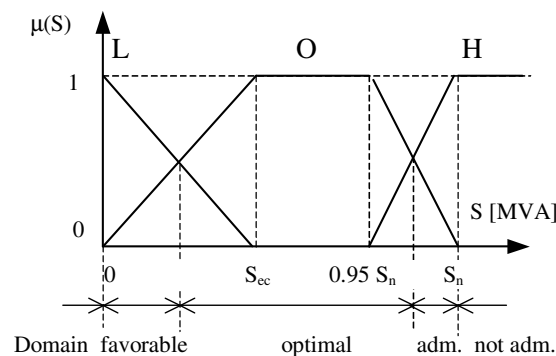


Figura 2. Forma funcției de apartenență pentru indicatorul fuzzy al încărcării transformatorului
 Figure 2. The shape of apparent power flow membership function for power transformer

4. Determinarea cauzelor care induc regimul non-optimal

Utilizând indicatorii fuzzy descriși mai sus, se poate stabili mulțimea mărimilor electrice non-optimale. Realizarea diagnozei presupune identificarea cauzelor care explică mulțimea mărimilor non-optimale. Aceasta implică identificarea mulțimii minime a reguletoarelor de tensiune și mulțimea minimă a reguletoarelor de putere activă care vor trebui să fie reglate adecvat pentru a obține valori cvasioptime ale indicatorilor fuzzy.

Mulțimea minimă a reguletoarelor de tensiune este dată de mulțimea țintă minimă calculată pentru zonele de control ale reguletoarelor de tensiune. Metoda de calcul a mulțimii țintă minime este o metodă euristică de căutare exhaustivă. Această metodă are 3 pași [9]:

1. Generarea unei soluții propuse: inițial se identifică tensiunile nodale non-optimale care sunt controlate de un singur regulator. Aceste reguletoare vor aparține întotdeauna mulțimii țintă minime și vor fi șterse din lista de căutare a reguletoarelor de tensiune. Aceasta este prima soluție propusă.

2. Soluția propusă este testată. Dacă este validată atunci este soluție finală, adică este mulțimea țintă minimă.

4. The determination of the causes which determine the non-optimal regime

Using the above described local fuzzy indexes, the non-optimal quantity set can establish. Diagnosis achievement implies the identification of the causes that explain the non-optimal quantity set. This implies the identification of the minimum voltage controller set and active power controller set which have to be adequately controlled in order to obtain all the local fuzzy voltage indexes as quasi-optimal.

Voltage controller minimum set is determined by the minimum hitting set computed on the voltage controller zones. The method used to compute the minimum hitting set is a heuristic exhaustive search method. This method has three main steps [9]:

1. The proposed solution generation: initially, the non-optimal bus voltages controlled by a single controller are identified. These controllers always belong to minimum hitting set and are deleted from the voltage controller search list. That set is the first proposed solution.

2. The proposed solution is tested. If it is validated then that is the final solution, i.e. the minimal hitting set.

3. Dacă soluția propusă nu este validată, atunci se adaugă un regulator de tensiune din lista de regulatoare ștergându-se din lista de căutare. Se trece la pasul 2.

Procesul de căutare se oprește când se determină o mulțime de regulatoare care va fi verificată la pasul 2.

Mulțimea minimă de regulatoare de putere activă se determină similar cu cea a reguletoarelor de tensiune [9].

După determinarea mulțimilor țintă, adică mulțimile de diagnoză, se calculează valorile de control astfel încât valorile non-optime să devină cvasi-optime.

Modificarea reguletoarelor de tensiune poate afecta unele dintre tensiunile cu valori cvasi-optime. De aceea este necesară o nouă etapă de diagnoză. În cele mai multe cazuri, pentru a găsi soluția cvasi-optimă sunt suficiente 2-3 iterații de diagnoză.

5. Concluzii

În această lucrare sunt prezentate aspectele de implementare ale diagnozei bazate pe model pentru diagnoza regimurilor staționare de funcționare ale rețelelor electrice de distribuție. Sunt oferite modele utile pentru mulțimile descrierea sistemului, a presupunerilor și cea a observațiilor oferite de SCADA. De asemenea, sunt discutate detalii de implementare a metodologiei. În lucrarea următoare, această metodă va fi utilizată pentru dezvoltare unui sistem expert care să ofere suport pentru deciziile în timp real ale operatorilor de sistem.

Mulțumiri

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

Bibliografie (References)

1. Reiter R., *A Theory of diagnosis from first principles*, Artificial Intelligence, vol. 32, pp. 57-95 1987.
2. Struss P., Heller U., *Process-oriented Modeling and Diagnoses – Revising and Extending the Theory of Diagnosis from First Principles*, 9th International Workshop on Principles on Diagnosis, Sea Crest, Cape Cod, 1998.
3. Fijany A., Vatan F., Barrett A., Mackey R., *New Approaches for Solving the Diagnosis Problem*, IPN Progress Report 42-149, May 15, 2002.
4. Kleer J., Mackworth A.K., Reiter R., *Characterizing Diagnoses and System*, Artificial Intelligence, vol. 56, pp. 197-222, 1992.
5. 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.
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 System 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 System 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.

3. If the proposed solution is not validated, the next voltage controller from the controller list is added and deleted from this search list. Then the program goes to step 2.

The searching process is stopped when a set which will be verified at step two is determined.

Active power controller minimum set is determined similarly to voltage controller minimum set [9].

After determining the hitting sets, i.e. diagnosis set, calculate the control values are computed and the non-optimal values became quasi-optimal.

Modifying the controllers can affect also some optimal bus voltage. Therefore, the start of the new diagnosis process is necessary. In most cases, to find the quasi-optimal solution, 2 or 3 diagnosis iterations are sufficient.

5. Conclusion

In this paper, the implementation aspects for a MBD application used for an electrical distribution network steady state operation diagnosis are presented. Useful models for system description, assumptions and SCADA provided observations are given. Also, details of diagnosis methodology implementation are discussed. In future works, this method will be used for the development of an expert system application that can support system operator real time decisions.

Acknowledgments

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