



METHODS OF ASSESSMENT THE RELIABILITY OF OPERATION FOR AUTOMATIC SYSTEMS OF RESERVE SWITCH

Mariana DUMITRESCU

Faculty of Automatics, Computers, Electrical Engineering and Electronics,
University "Dunarea de Jos Galati", Galati, Romania

Abstract – An algorithm to assess the conclusion fuzzy related to "General reliability" GR_{gen} in the operation of automation systems (AS) have been treated in the paper. It is provided an independent analysis of the performance, carrying out the general conclusion in the operation of AS for the system of automated switching the reserve (ASR), through the longitudinal couple.

The assessment of the input parameter in the System with the Fuzzy Logic (SFL) "Severity" (SV) of the initial fault D, above SE, as a consequence of the appearance of sequence of events associated to the branch of the tree of events fuzzy (TE) has a subjective character and is realized under the defined criteria by the specialists in the domain. An algorithm of assessment of the "SV" parameter for each brunch from TE, using the multitude of minimal cuts associated to AS has been proposed.

For automated switching system it has been generated TE fuzzy composed of 24 branches and it has been assessed input parameters of SFL – Level of Appearance (LA), Severity (SV) for the sequence of the events associated to the branch TE. It has assessed also the conclusion fuzzy AS for the sequence of the events associated to the branch TE, using the base of rules SFL and the general conclusion fuzzy SG_{gen} together with its centroid value GSG_{gen} .

Keywords – Fuzzy Logic, Severity, tree of events,

METODE DE EVALUARE A SIGURANȚEI ÎN FUNCȚIONARE PENTRU SISTEMELE AUTOMATE DE ANCLANȘARE A REZERVEI

Mariana DUMITRESCU

Facultatea de Automatică, Calculatoare, Inginerie Electrică și Electronică
Universitatea Dunărea de Jos Galați, Galați, România

Rezumat – În lucrare se propune un algoritm de evaluare a concluziei fuzzy privind "Siguranța generală" SG_{gen} în funcționarea sistemelor de automatizare (SA). Se realizează analiza independentă a performanței, evaluându-se concluzia fuzzy generală în funcționarea SA, pentru sistemul de Anclanșare Automată a Rezervei (AAR) prin cuplă longitudinală.

Evaluarea parametrului de intrare în Sistemul cu Logica Fuzzy (SLF) "Severitate" (SV) a defectului initial D, asupra SE, ca urmare a producerii secvenței de evenimente asociată ramurii arborelui de evenimente fuzzy (AE), are un caracter subiectiv și se realizează după criteriile stabilite de specialiștii în domeniu. Se propune, un algoritm de evaluare a parametrului SV, pentru fiecare ramură din AE, utilizând multimea tăieturilor minimale asociată SA.

Pentru sistemul automat de anclanșare a rezervei se generează AE fuzzy compus din 24 de ramuri și se evaluează parametrii de intrare în SLF - Grad de Apariție (GA), Severitate (SV) pentru secvența de evenimente asociată ramurii AE. Se evaluează, de asemenea, concluzia fuzzy SG pentru secvența de evenimente asociată ramurii AE, utilizând baza de reguli a SLF, și concluzia fuzzy generală SG_{gen} împreună cu valoarea sa centroid GSG_{gen} .

Cuvinte cheie – Logica Fuzzy, Severitate, arbore de evenimente.

МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ЗАДЕЙСТВОВАНИЯ РЕЗЕРВА

М. Думитреску

Факультет Автоматики, Информатики, Электро Инженерии и Электроники
Университет «Дунэря де Жос Галаць», Галаць, Румыния

Реферат – В работе предлагается алгоритм оценки заключения фаззи относительно «Полной безопасности» $ПБ_{gen}$ при функционировании систем автоматики (СА). Проводится независимый анализ производительности, оценивая полное заключение фаззи в работе СА для системы Автоматического Задействования Резерва (АЗР) посредством продольной муфты.

Оценка параметра на входе в Систему с Логикой Фаззи (СЛФ) «Строгость» (СТ) первоначального дефекта Д, над ЭС, как следствие появления последовательности событий связанной с ветвью древа событий фаззи (ДС) имеет субъективный характер и реализуется по установленным критериям специалистами в данной области. Предлагается

алгоритм оценки параметра СТ для каждой ветви из ДС, используя множество минимальных сечений ассоциированной СА.

Для автоматизированной системы задействования резерва генерируется ДС фаззи, которое состоит из 24 ветвей и оцениваются входные параметры в СЛФ – Степень Появления (СП), Строгость (СТ) для последовательности событий ассоциированной ветви ДС. Также, оценивается заключение фаззи ПБ для последовательности событий ассоциированной ветви ДС, используя базис правил СЛФ и полное заключение фаззи ПБ_{ген} и ГПБ_{ген}.

Ключевые слова – Логика Фаззи, Строгость, древо событий.

1 INTRODUCERE

Protecțiile și automatizările sistemelor energetice intră în categoria sistemelor cu elemente în regim de așteptare. Principala caracteristică de fiabilitate a acestor sisteme este probabilitatea de răspuns la solicitare P_{RS} .

Elementele care se defectează în regim de așteptare sunt testate periodic, pentru depistarea și eliminarea unor eventuale defecțiuni produse înainte de apariția unei solicitări. Fiabilitatea elementelor testate depinde de intervalul dintre doua teste succesive, iar în cazul unor sisteme complexe și de politica de testare. Deoarece, în general, defectele elementelor în regim de așteptare nu sunt observate și remediate imediat prin reparații, durata acestor defecte și probabilitatea de insucces Q vor avea valori mai mari decât în cazul elementelor solicitate permanent, aceste valori depinzând de mărimea intervalului de testare.

Conform PE 013/1994, se poate determina probabilitatea de insucces a instalației în așteptare Q (riscul de a nu răspunde la solicitare). Considerând că testarea se face la intervale de timp egale, de mărime θ , că pe durata unei testări θ_t elementul este indisponibil, ca durata medie de reparare este neglijabilă în raport cu mărimea intervalului dintre teste, probabilitatea medie de insucces pe intervalul dintre doua teste (în cazul unei instalații în așteptare cu un singur element) este, conform PE 013/1994:

$$Q(\theta) = 1 - \frac{1 - \exp(-\lambda \cdot \theta)}{\lambda \cdot \theta} + \frac{\theta_t}{\theta} \quad (1)$$

unde λ este intensitatea de defectare în regim de așteptare. Dacă $\lambda \cdot \theta \ll 1$, rezultă:

$$Q(\theta) \cong \frac{\lambda \cdot \theta}{2} + \frac{\theta_t}{\theta} \quad (2)$$

În cazul în care durata medie de reparare nu se poate neglija în raport cu intervalul dintre doua teste, probabilitatea medie de insucces pe intervalul θ este:

$$Q(\theta) = \lambda \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{1}{\mu} \right) + \frac{\theta_t}{\theta} \quad (3)$$

unde μ este intensitatea de reparare.

Dacă se iau în considerare, în afara defectelor care apar în regim de așteptare, și defectele care se produc în momentul solicitării elementului aflat în așteptare, probabilitatea de insucces este:

$$Q(\theta) = \lambda \cdot \left(\frac{\theta}{2} + \frac{1}{\mu} \right) + \frac{\theta_t}{\theta} + \gamma \quad (4)$$

unde γ este probabilitatea de insucces datorită defectelor care se produc în momentul solicitării.

Alegerea intervalului dintre două teste consecutive se poate face prin următoarele procedee:

- se determină valoarea θ care minimizează probabilitatea $Q(\theta)$. În cazul unui singur element, având probabilitatea $Q(\theta)$ data de relația (3), se obține pentru intervalul optim între două teste valoarea:

$$\theta_{\text{optim}} = \frac{2 \cdot \theta_t}{\mu}; \quad (5)$$

- se alege un nivel de fiabilitate impus și, în funcție de acest nivel, din relația (3) se obține valoarea lui θ , reprezentând intervalul dintre două teste;

- atribuind un cost operației de testare și un alt cost fiecărei întreruperi a instalației tehnologice, datorate neintervenției schemelor cu elemente în regim de așteptare, se alege un interval între două teste care minimizează costul total.

O altă metodă pentru determinarea probabilității de insucces, în cazul unor instalații în așteptare complexe cu n elemente, utilizează relațiile binomiale. Datorită simplității calculului probabilităților de stare, se recomandă utilizarea acestei metode când se poate admite independența elementelor componente ale instalației, fără a se introduce erori mari de calcul. Se constată că pentru valori mici ale raportului

$$k = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \leq 0,05, \quad i = \overline{1, n} \quad (6)$$

erorile de calcul nu sunt semnificative (PE 013/1994), astfel încât se admite utilizarea relațiilor binomiale pentru obținerea probabilităților de stare, în măsura în care alte caracteristici ale schemei tehnologice nu impun utilizarea altor procedee de calcul.

2 ANALIZA INDEPENDENTĂ A FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE PROTECȚIE ȘI AUTOMATIZARE

Pentru calculul indicatorilor de fiabilitate ai acestor sisteme (PE 013/1994), se consideră îndeplinite condițiile:

- elementele componente sunt independente;
- instalația se testează la intervale egale de timp, de durata θ , durata testării θ_t fiind neglijabilă în raport cu θ ;
- testarea nu introduce defecte suplimentare;

- durata de restabilire a elementelor defecte se poate neglija, în raport cu durata dintre două teste.

Se calculează următorii indicatori de fiabilitate:

a. probabilitatea de funcționare neîntreruptă pe intervalul de timp $(0, t)$, până la primul defect:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

În cazul schemelor complexe se pot utiliza relații binomiale pentru determinarea probabilității $R(t)$;

b. durata medie de funcționare neîntreruptă:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (8)$$

c. probabilitatea de insucces (riscul de a nu răspunde la solicitare):

$$Q(\theta) = \frac{\lambda \cdot \theta}{2} + \frac{\theta_t}{\theta} + \gamma, \quad \text{pentru } \lambda \cdot \theta \ll 1 \quad (9)$$

Misiunea sistemelor de automatizare fiind de durată neglijabilă față de durata regimului de așteptare și, de asemenea, față de durata operațiilor de restabilire a elementelor componente, este esențială modelarea evoluției în timp a funcționării acestora, până la prima defectare. Răspunsul acestor sisteme în momentul solicitării (probabilitatea de răspuns la solicitare P_{RS}) nu este dependentă de evenimentele de restabilire, ce se produc ca urmare a unui refuz de răspuns la solicitare (refuz de acționare). Deci, pentru analiza fiabilității sistemului nu este necesară modelarea evenimentelor de reînnoire ale elementelor și nu este utilă folosirea în acest scop a unui proces stocastic de tip Markov.

Metoda adecvată, pentru determinarea fiabilității sistemelor de protecție și automatizare, este metoda Arborilor de Evenimente (AE), deoarece poate să reconstituie logica secvențială a sistemului. AE examinează secvențele de evenimente care se pot produce

în cadrul sistemului analizat, ca urmare a defectării elementelor componente (Allan și Adraktas, 1990; Kenarangui, 1991; Bowles și Pelaez, 1995).

Metoda prezentată în (Allan și Adraktas, 1990) realizează analiza independentă a fiabilității sistemului integrat de protecție. Probabilitatea de răspuns la solicitare P_{RS} poate fi exprimată, considerând sistemul de protecție și întrerupătorul asociat ca o singură componentă. Probabilitatea de refuz a întrerupătorului este:

$$P_{RS} = \frac{\text{număr de defecte la operare}}{\text{număr de cereri de operare}} \quad (10)$$

Relația (10) neglijează posibilitatea ca întrerupătoarele să aibă același sistem de protecție sau să aibă unele elemente comune și, de asemenea, neglijează influența stării elementelor sistemului de protecție.

Autorii utilizează metoda AE considerând o schema generală a sistemelor de protecție, compusă din blocurile funcționale detectare defect (DD), releu (R), transmisie semnal (TS), Deconectare întrerupător (DI). AE se construiește dezvoltându-se secvențele de evenimente posibile, pornind de la un defect inițial (D), considerând că fiecare element al sistemului poate exista în una din stările: stare operațională, în care răspunde la apariția unui defect în sistemul protejat; stare neoperațională, în care este defect și nu poate răspunde la apariția unui defect în sistemul protejat.

Probabilitatea de insucces al elementelor sistemului este dependentă de durata θ între două teste consecutive ale protecției. Probabilitatea medie de insucces pe intervalul dintre două teste se calculează conform relației (2), pentru cazul particular $\lambda \cdot \theta \ll 1$, $\theta_t = 0$.

Se consideră o componentă a unui SE, care este protejată de două întrerupătoare I1 și I2, operate de același sistem de protecție (DD, R, TS). În Fig. 1 se prezintă AE corespunzător acestui sistem.

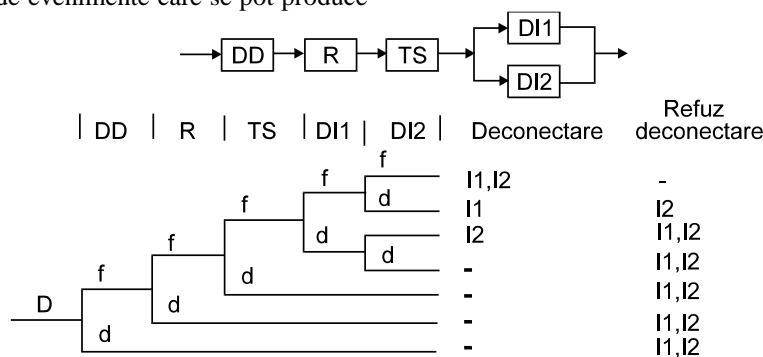


Fig.1 Arborile de evenimente pentru o componentă a SE protejată de întrerupătoarele I1, I2.

Reuniunea secvențelor de evenimente posibile ale sistemului de protecție, generate de starea elementelor componente, este reprezentată de ansamblul căilor AE. Probabilitatea de apariție a fiecărei căi este produsul probabilităților evenimentelor asociate căii. Numai prima cale din ansamblul căilor AE conduce la operarea cu

succes a sistemului de protecție și deconectarea ambelor întrerupătoare (stare de funcționare (f) pentru toate blocurile funcționale); celelalte căi conduc la refuz de operare al protecției și refuz la deconectare al întrerupătoarelor (stare de defect (d), pentru unul sau mai multe blocuri funcționale).

Metoda AE este o tehnică foarte utilă și adecvată în determinarea fiabilității sistemului de protecție, care permite evaluarea precisă a performanței. În studiul efectuat de autori, a fost neglijată existența unei stări suplimentare a elementelor componente, care poate conduce la acționarea falsă a întrerupătorului (fără comandă) și la defecte severe ale SE.

3 SISTEMUL DE ANCLANȘARE AUTOMATĂ A REZERVEI

Pentru asigurarea unei alimentări neîntrerupte a consumatorilor de energie electrică, în SE se adoptă soluția unei surse de alimentare de rezervă, care poate fi conectată automat în cazul când pe circuitul de alimentare normală apare un defect. Dispozitivul de anclanșare automată a rezervei (AAR) acționează în mod automat în cazul unui defect pe circuitul de alimentare normală, comandă declanșarea întrerupătoarelor acestui circuit și închiderea întrerupătoarelor din circuitul de alimentare de rezervă. Cu excepția unei mici întreruperi pe timpul funcționării dispozitivului AAR, care se poate neglija, se asigură continuitatea în alimentarea cu energie electrică a

consumatorilor (Calin, 1975; El-Hawary, 1995; Cristea și col., 1996).

Dispozitivul AAR este compus din două părți principale:

- o protecție de tensiune minimă care acționează în cazul unui defect, pe circuitul de alimentare normală, datorită scăderii tensiunii, și comandă declanșarea întrerupătoarelor pe acest circuit;

- elemente de automatizare care, după declanșarea circuitului de alimentare normală, comandă anclanșarea întrerupătoarelor de pe circuitul de alimentare de rezervă.

În fig. 2a se prezintă schema bloc a sistemului AAR prin intermediul cuplei longitudinale, pentru cazul unui SE la care alimentarea consumatorilor se realizează de la secțiile de bare A, B, legate prin cupla longitudinală IC, care în mod normal este deschisă.

Dispozitivul AAR are ca scop să asigure declanșarea întrerupătorului IA (IB), în cazul în care apare un defect pe liniile L1 (L2), și să comande anclanșarea IC. Schema bloc și diagrama funcțională din Fig. 2 prezintă varianta de acționare a dispozitivului AAR la apariția unui defect pe linia L1.

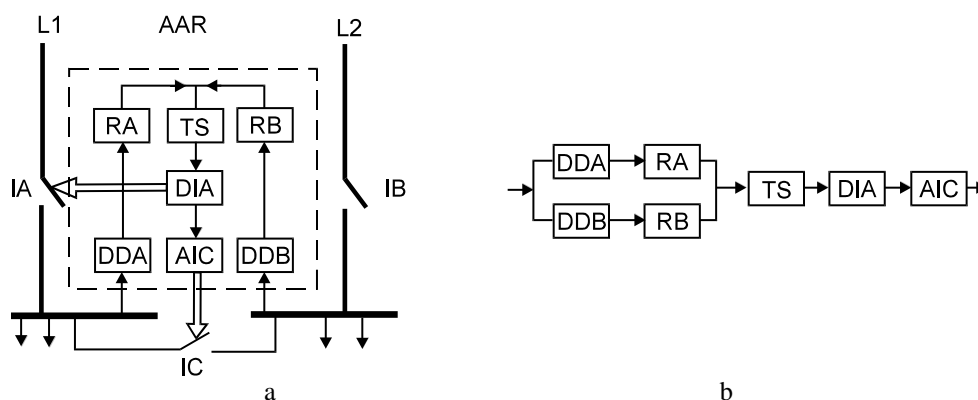


Fig. 2 Schema bloc (a) și diagrama funcțională (b) a sistemului AAR prin intermediul cuplei longitudinale.

Acesta cuprinde:

- un ansamblu de rele de tensiune minimă (blocul RA și blocul detectare defect DDA asociat acestuia), care își închid contactele când tensiunea de pe barele secției A scade sub o anumită valoare;
- blocul TS care realizează transmiterea semnalului cu o temporizare t_{AAR} ;
- blocurile DIA, AIC asociate mecanismelor de acționare a întrerupătoarelor IA, respectiv IC;
- un releu maximal de tensiune (blocul RB și blocul DDB asociat acestuia), care realizează controlul prezenței tensiunii pe barele secției B și verifică funcționarea normală a circuitului de alimentare al acestei secții.

4 ANALIZA INDEPENDENTĂ A PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE ANCLANȘARE AUTOMATĂ A REZERVEI

Analiza independentă a performanței sistemului de anclanșare automată a rezervei prin cupla longitudinală (AAR_CL) are la baza diagrama funcțională din Fig. 2.

Evaluarea parametrului de intrare în SLF "Severitate" (SV) a defectului inițial D, asupra SE, ca urmare a producerii secvenței de evenimente asociată ramurii AE, are un caracter subiectiv și se realizează după criteriile stabilite de specialiștii în domeniu. Se propune, în continuare, un algoritm de evaluare a parametrului SV, pentru fiecare ramură din AE, utilizând mulțimea tăieturilor minimale asociată SP (SA).

Pasul 1. Se specifică următoarele date de intrare :

- diagrama funcțională SP(SA) și mulțimea funcțiilor realizate de SP(SA);
- tipul blocurilor funcționale din componența diagramei funcționale (funcția îndeplinită de acestea; elementele aflate în redundanță la nivelul blocurilor funcționale; blocurile funcționale comune în realizarea unor funcții distincte ale SP(SA));
- parametrii aproximativi de "severitate" pentru blocurile funcționale din componența diagramei funcționale, cuantificați după gravitatea efectului

defectării blocului funcțional asupra funcționării SP (SA), de tipul:

$$SV_y = (\text{aprox } y, u) \quad (11)$$

unde: aprox y este valoarea aproximativă a parametrului SV pentru blocul funcțional y; u este nivelul de incertitudine al numărului fuzzy SV_y.

Pasul 2. Se evaluează mulțimea tăieturilor minimale asociată SP (SA):

$$T_m = \{ T_{mj} \}, \quad j = \overline{1, T} \quad (12)$$

Pasul 3. Se evaluează mulțimea $M_i = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}, \dots\}$ a elementelor defecte de pe ramura i, $i = \overline{1, N}$.

Pasul 4. (4.1) Dacă $M_i = \{\emptyset\}$, blocurile funcționale ale SP(SA) sunt în stare de funcționare, parametrul SV pentru secvența de evenimente asociată ramurii i este "foarte scăzut" (efectul în SE, al defectului inițial D, este nesemnificativ) și poate fi exprimat ca:

$$SV_i = (\text{aprox } D, u) \quad (13)$$

unde: aprox D este valoarea aproximativă a parametrului SV, pe scala obișnuită, care este cuantificată în funcție de gravitatea în SE a defectului inițial D, ținând cont că acesta este izolat prin acționarea SP(SA).

(4.2) Dacă $\exists T_{mj}$ a.î. $M_i \subset T_{mj}$ și $M_i \neq T_{mj}$, atunci SP(SA), având o mulțime de blocuri funcționale defecte, este totuși în stare de funcționare, iar parametrul SV

pentru secvența de evenimente asociată ramurii i este "scăzut" sau "moderat" și poate fi exprimat ca:

$$SV_i = (\text{aprox } y_i, u) \quad (14)$$

unde : aprox $y_i = \max_k(\text{aprox } y_{ik})$ reprezintă valoarea aproximativă maximă a parametrului SV_y, pentru blocurile funcționale din componența M_i.

(4.3) Dacă $\exists T_{mj}$ a.î. $M_i = T_{mj}$, atunci SP(SA) este în stare de indisponibilitate, mulțimea blocurilor funcționale defecte reprezintă chiar o tăietură minimală a sistemului. Parametrul SV pentru secvența de evenimente asociată ramurii i este "înalț" sau "foarte înalț" și poate fi exprimat ca:

$$SV_i = (\text{aprox } y_i, u) \quad (15)$$

unde : aprox y_i prezintă aceeași semnificație ca la punctul (4.2).

(4.4) Dacă $\exists T_{mj}$ a.î. $T_{mj} \subset M_i$ și $M_i \neq T_{mj}$, atunci mulțimea blocurilor defecte cuprinde mai multe elemente, decât cele aflate într-o tăietură minimală, și SP(SA) este în stare critică. Parametrul SV pentru secvența de evenimente asociată ramurii i este "foarte înalț" și poate fi exprimat în mod analog relației (14).

Parametrii de intrare GA, SV asociați evenimentului "defectare", pentru blocurile din componența diagramei funcționale, se prezintă în Tabelul 1.

Tabelul 1. Parametri GA, SV pentru blocurile funcționale AAR_CL

	DDA	RA	TS	DIA	AIC	DDB	RB
GA	m 1.000 s 0.2786	m 1.000 s 0.0014	m 1.000 s 0.2104	m 1.000 s 0.4700	m 1.000 s 0.4700	m 1.000 s 0.2786	m 1.000 s 0.0014
SV	i 1.000 fi 0.2211	i 1.000 fi 0.3789	i 1.000 fi 0.1467	i 0.9310 fi 0.4842	i 0.9310 fi 0.4842	i 1.000 fi 0.2210	i 1.000 fi 0.3789

Se generează AE compus din 24 de ramuri și se evaluează parametrii de intrare în SLF GA, SV pentru secvența de evenimente asociată ramurii AE. Se evaluează, de asemenea, concluzia fuzzy SG pentru secvența de evenimente asociată ramurii AE, utilizând

baza de reguli a SLF, și concluzia fuzzy generală SG_{gen} împreună cu valoarea sa centroid GSG_{gen} .

În tabelul 2 se prezintă rezultatele centralizate pentru analiza independentă a performanței sistemului AAR_CL.

Tabelul 2. Rezultatele analizei independente a performanței sistemului AAR_CL

	Blocuri funcționale active(rezerva)	Număr ramuri AE	Posibilități SG_{gen}	GSG_{gen}
AAR_CL	DDA, DDB, RA, RB, AIC, DIA, TS	24	im 0.3032 i 1.000 fi 0.5478	9.1026

CONCLUZII

Analiza independentă a sistemelor de automatizare, pentru analiza de ansamblu a fiabilității, reliefează următoarele concluzii:

◆ necesitatea utilizării logicii fuzzy în analiza performanței sistemelor automatizare, pentru a rezolva imprecizia și incertitudinea în astfel de sisteme, generată în special de starea de așteptare a elementelor componente;

◆ necesitatea creării unor sisteme cu logica fuzzy, utilizarea probabilităților fuzzy și a teoriei posibilităților pentru analiza performanței sistemului;

◆ modelul arborilor de evenimente fuzzy permite o descriere corectă a evoluției sistemului de protecție (automatizare), pentru analiza independentă sau de ansamblu a performanței;

◆ în cadrul lucrării se propune un algoritm pentru evaluarea parametrului de intrare în sistemul cu logica fuzzy "severitate" a defectului inițial D, asupra SE, ca urmare a producerii secvenței de evenimente asociate ramurii AE;

◆ în cazul sistemului de automatizare, se realizează analiza independentă a performanței, evaluându-se "Siguranța generală" în funcționarea sistemului pentru ansamblul de ramuri AE. Se evaluează performanța sistemului de anclanșare automată a rezervei prin intermediul cuplei longitudinale.

BIBLIOGRAFIE

- [1]Allan, R.N. și A.N. Adraktas (1990). Terminal effects and protection system failures in composite system reliability evaluation. *In: Applied reliability assessment in electric power systems* (R. Billinton Ed.). IEEE Press, New York.
- [2]Bowles, J.B. și C.E. Peláez (1995). *Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering*. Proceedings of the IEEE, nr. 3.
- [3]Călin, S. și S. Marcu (1975). *Protecția prin releee a sistemelor electrice*. Ed. Tehnică, București.
- [4]Cristea, P. și col (1996). *Protecția sistemelor electroenergetice*. Ed. C. Găldău, Iași.
- [5]El-Hawary, M. (1995). *Electrical Power Systems Design and Analysis*. Technical University of Nova Scoția.
- [6]Kenarangi, R. (1991). *Event - tree Analysis by Fuzzy Probability*. IEEE Trans. on Reliability, nr.1.
- [7]PE 013/2004: *Electrical standard for power systems safety*. M.E.E. Bucharest, Romania.
- [8]IEEE P1366. 2008. *Trial Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*, Working Group on System Design, Draft 5.
- [9]Kumar, A and R.K.. Ragade, "An Extended Reliability Evaluation Framework for Computer Systems Using Fuzzy Logic". *Proceedings Ann. Reliability and Maintainability Symp*, pp. 317-323, 2005.
- [10]Mende.,J "Fuzzy Logic Systems for Engineering", *Proceedings of the IEEE*, vol 3 pp. 345-377, 2005.
- [11]Verma, D and J. Knezevic, "Application of Fuzzy Logic in the Assurance Sciences", *Proceedings Ann. Reliability and Maintainability Symp*, pp. 134-139, 2002.
- [12]Weber, D.P *Fuzzy Logic for Risk Analysis*. Proc. Ann. Reliability and Maintainability Symp, pp. 253-259, 2005.
- [13]Dumitrescu, M and A. Ulmeanu, "A fuzzy algorithm for system safety evaluation", *International Conference on Mathematical Methods in Reliability*, Bordeaux, France, pp. 253-256 , 2006.
- [14]Dumitrescu, M "Fuzzy Probability and Power System Safety", *International Conf. on Computational Intelligence, Proceedings*, Springer Verlag Berlin ISBN 3-540-42732-5, pp. 886-889, 2006.
- [15]Dumitrescu, M "Fuzzy Logic System Used in Safety Analysis", *International Conf. on Computational Intelligence Proceedings*, Springer Verlag Berlin ISBN 3-540-42732-5, pp. 890-894, 2006.