



THE OVERALL ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF ELECTRIC POWER SYSTEMS USING HYBRID INTELLIGENT TECHNIQUES

Mariana DUMITRESCU

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

Abstract – The overall analysis of performance of the electric power system – protection and automation system (SE-SP(SA)) imposes the use of complex analysis performance – dependency (P-D) and assessment of the total performance of the system. The Markov Reward (MR) model allows the assessment of complex measure P-D, combining the models Markov for the treatment of the dependency, with the methods of assessment of performance (reward) at the level of current state included in the process of structural state (PSS). The model MR combines the results of assessment of dependence of SE, by means of Petri Grids stochastic logical explicit (RPSLE), with the results of assessment of performance SP(SA) using the model of tree of events AE fuzzy. As a unit of measurement of the performance of SE, is proposed the indicator: the reward probable instantaneous value of the steady state (RIS). Using the concept of performance in SE, one can realize the overall analysis of the performance of for the system of specific SE longitudinal couple. Also, is realizing a comparative study, from the performance point of view, for the models of analyzed system.

Keywords – overall analysis, electric power system, Markov Reward model.

ANALIZA DE ANSAMBLU A PERFORMANȚEI SISTEMELOR ELECTROENERGETICE UTILIZÂND TEHNICI INTELIGENTE HIBRIDE

Mariana Dumitrescu

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

Rezumat – Analiza de ansamblu a performanței sistem electroenergetic-sistem de protecție și automatizare (SE-SP(SA)) impune utilizarea analizei compuse performanță - dependabilitate (P-D) și evaluarea performabilității sistemului în ansamblu. Modelul Markov Reward (MR) permite evaluarea măsurii compuse P-D, combinând modelele Markov pentru studiul dependabilității, cu metodele de evaluare a performanței (reward) la nivelul stării curente din procesul stării structurale (PSS). Modelul MR combină rezultatele evaluării dependabilității în SE, cu ajutorul Rețelelor Petri stocastice logic explicite (RPSLE), cu rezultatele evaluării performanței SP(SA) utilizând modelul arborilor de evenimente AE fuzzy. Ca măsură a performabilității în SE, se propune indicatorul: valoare reward instantanee probabila a stării staționare (RIS). Utilizând conceptul de performabilitate în SE, se realizează analiza de ansamblu a performanței pentru sistemul cuplei longitudinale specific SE. De asemenea, se realizează și studiul comparativ, din punct de vedere al performabilității, pentru modelele sistemului analizat.

Cuvinte cheie – analiză de ansamblu, sistem electroenergetic, model Markov Reward.

ПОЛНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ТЕХНИКИ

М. ДУМИТРЕСКУ

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

Реферат – Полный анализ производительности электроэнергетическая система – система автоматизации и защиты (ЭС-СЗ(СА)) обязывает к использованию комплексного анализа производительность – зависимость (П-З) и оценке производительности системы в целом. Модель Маркова Реварда (MR) позволяет оценить комплексную меру (П-З), совмещая модели Маркова для исследований зависимости с методами оценки производительности (Ревард) на уровне текущего состояния, содержащиеся в процессе структурного состояния (ПСС). Модель MR совмещает результаты оценки зависимости в ЭС, при помощи логически явных стохастических Сеток Петри (RPSLE) с результатами оценки производительности СЗ(СА) используя модель древа событий AE фазы. В качестве меры производительности в ЭС предлагается показатель: вероятное мгновенно значение ревард стационарного состояния (PMC). Используя понятие производительности в ЭС, проводится полный анализ производительности для продольной специфичной пары ЭС. Также, проводится сравнительное исследование, с точки зрения производительности, для моделей анализируемой системы.

Ключевые слова – полный анализ, электроэнергетическая система, модель Маркова Реварда

1. Introducere

Analiza compusă performanță - dependabilitate combină modelul structural, ce descrie evoluția sistemului ca urmare a evenimentelor de defectare și reparare, cu modelul ce descrie performanță sistemului în procesul stărilor structurale (Catania și Puliafito, 1993; Viswanadham și Ram, 1994; Dugan și Doyle, 1994; Chen și Tsao, 1995).

Starea structurală a unui sistem este un vector ale cărui elemente descriu starea subsistemelor componente. Starea structurală a sistemului se schimbă datorită evenimentelor de defectare și reparare. Dinamica tranzițiilor, de la o stare la alta, este descrisă de procesul stării structurale.

Dacă $\mathbf{Z}(u)$ este vectorul stării structurale, la momentul $u > 0$, procesul stării structurale (PSS) este familia de variabile aleatoare $\{\mathbf{Z}(u), u \geq 0\}$. PSS poate fi descris cu ajutorul lanțurilor Markov, sau al rețelelor Petri stocastice. Dacă sistemul atinge starea staționară în fiecare din stările structurale, se poate determina - cu ajutorul unui model care descrie performanță sistemului - nivelul de performanță asociat stării curente (reward). Parametrul reward reprezintă nivelul de performanță asociat sistemului în starea curentă a PSS.

Dacă PSS este un Lanț Markov continuu finit și omogen, având spațiul stărilor S și matricea de trecere \mathbf{Q} , atunci vectorul probabilităților de stare $\mathbf{P}(t)$ satisface ecuația:

$$\dot{\mathbf{P}}(t) = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{P}(t) \quad (1)$$

Dacă vectorul probabilitate al stării staționare $\mathbf{P} = \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{P}(t)$ există, acesta satisface relațiile:

$$\mathbf{Q} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{0}; \quad \sum_{i \in S} P_i = 1; \quad (2)$$

Se definește vectorul durată totală de staționare a LM într-o stare, pe o perioadă $[0, t]$, $\mathbf{L}(t)$:

$$\mathbf{L}(t) = \int_0^t \mathbf{P}(u) du \quad (3)$$

Atunci, $\mathbf{L}(t)$ satisface ecuația:

$$\dot{\mathbf{L}}(t) = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{L}(t) + \mathbf{P}(0); \quad \mathbf{L}(0) = \mathbf{0} \quad (4)$$

Evaluarea performabilității sistemului este rezultatul analizei compuse performanță-dependabilitate. Măsurile compuse performanță-dependabilitate combină ambele aspecte ale performanței și dependabilității, utilizând noțiuni ca: procesul stării structurale, valorile reward instantanee și acumulate. Modelele Markov Reward (MR) permit evaluarea măsurilor compuse din analiza performanță - dependabilitate. Modelul MR descrie PSS, utilizând modele Markov și permite evaluarea performabilității sistemului cu ajutorul unor indicatori, care se exprimă astfel:

1. valoarea reward instantanee probabila (RIP):

$$M[X(t)] = \sum_{i \in S} \gamma_i \cdot P_i(t); \quad (5)$$

2. valoarea reward acumulată probabila (RAP):

$$M[Y(t)] = \sum_{i \in S} \gamma_i \cdot L_i(t); \quad (6)$$

3. valoarea reward instantanee probabila a stării staționare (RIS), dacă aceasta există:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M[X(t)] = \sum_{i \in S} \gamma_i \cdot P_i \quad (7)$$

În general, pentru sisteme fără reînnoire se realizează numai analiza tranzitorie a sistemului, iar pentru sistemele cu reînnoire se realizează, atât analiza tranzitorie, cât și analiza stării staționare a sistemului.

2. Analiza performanței în sistemul electroenergetic

Modelul Markov Reward impune generarea PSS și a valorii reward, pentru fiecare stare a PSS. PSS se generează în etapa evaluării dependabilității, cu ajutorul modelelor RPSLE și a programului de calcul Evaluare Rețele Petri Stocastice (ERPS) (Dumitrescu M. 2001). PSS descrie evoluția SE, ca urmare a evenimentelor defectare și restabilire a elementelor componente. Tranziția într-o nouă stare, ca urmare a defectării unui element al SE, ce impune acționarea SP și/sau SA, are loc dacă SP și/sau SA funcționează corect, elimină defectul inițial D și modifică structura dinamică a SE la nouă stare. Nivelul de performanță (valoarea reward instantanee RI) al stării curente i staționare din PSS este dat de Siguranța Tranziției în starea i (SGT_i), ca urmare a acționării SP și/sau SA.

Evaluarea valorii RI (SGT_i) se realizează pe baza rezultatelor analizei independente a performanței SP (SA) și rezultatelor *analizei critice sistem protejat - sistem de protecție*, SG_{gen} , respectiv SG_{gl} , obținute cu ajutorul modelului AE fuzzy (Dumitrescu M. 2004). Aceste valori se asociază tranzițiilor instantanee din PSS, care modelează acționarea SA (AAR pentru sistemele analizate), și tranzițiilor stocastice, care modelează defectarea elementului protejat al SE, urmata de acționarea SP pentru izolarea defectului.

Se propune, în cele ce urmează, un algoritm de evaluare a valorii reward instantanee RI:

Pasul 1. Se introduc datele de intrare:

- numărul fuzzy Siguranța Globală SG_{gl}^j al sistemului de protecție SP^j , asociat tranziției stocastice care modelează defectarea elementului j din SE, ($j \in T_S$, unde T_S este mulțimea tranzițiilor stocastice ale modelului RPSLE);

- numărul fuzzy Siguranța Generală SG_{gen}^j al sistemului de automatizare SA^j al SE (AAR, pentru sistemele analizate), asociat tranziției instantanee care modelează

acționarea SA^j ($j \in T_1$, unde T_1 este mulțimea tranzițiilor instantanee ale modelului RPSLE).

Pasul 2. Se generează PSS al sistemului analizat (cu ajutorul modelului RPSLE și al programului ERSP).

Pasul 3. Pentru starea curentă i din PSS se determină mulțimea stărilor AMi aflate în amonte de starea i .

3.1 Dacă în mulțimea AMi se afla o stare tranzitorie k (urmata de execuția unei tranziții instantanee, care modelează acționarea SA), se determină mulțimea stărilor AMk aflate în amonte de starea k . Se trece la Pasul 4.

3.2 Dacă în mulțimea AMi nu se afla o stare tranzitorie k , se trece la Pasul 4.

Pasul 4. Se evaluează valoarea reward instantanee fuzzy \tilde{RI} asociată stării i astfel:

4.1 Dacă în mulțimea AMi nu se afla o stare tranzitorie k (fig. 1 a), \tilde{RI} se determină cu relația:

$$\tilde{RI} = \bigcap_{j=1}^{AMi} SG_j \quad (8)$$

unde: $j = \overline{1, AMi}$ este o stare j a mulțimii AMi, din care se tranzitează spre i , printr-un eveniment de defectare; SG_j este numărul fuzzy "Siguranța globală" SG_{gl}^j , asociat sistemului de protecție SP^j care izolează defectul apărut în starea j .

4.2 Dacă în mulțimea AMi se afla starea k tranzitorie (fig. 1 b), \tilde{RI} se determină cu relația:

$$\tilde{RI} = \left(\bigcap_{j=1}^{AMi} SG_j \right) \cap SG_k \quad (9)$$

în care:

$$SG_k = \bigcap_{r=1}^{AMk} SG_r \cap SG_{SA} \quad (10)$$

unde: $r = \overline{1, AMk}$ este o stare r din mulțimea AMk, din care se tranzitează spre k , printr-un eveniment de defectare;

SG_r - analog SG_j de la pasul 4.2;

SG_{SA} este numărul fuzzy SG_{gen} asociat SA.

Pasul 5. Se defuzzifică valoarea reward instantanee fuzzy \tilde{RI} , utilizând-se metoda centroid, și se determină valoarea reward instantanee RI, reprezentând Siguranța Tranziției în starea curentă i a PSS, SGT_i .

În Fig. 1 a se prezintă cazul stării curente i a PSS, la care se ajunge prin evenimentele de defectare j , $j = \overline{1, AMi}$, modelate de tranzițiile stocastice ale RPSLE, la care se asociază numerele fuzzy SG_j corespunzătoare "Siguranței globale" în funcționate a sistemului de protecție SP^j , la apariția evenimentului de defectare j . Performanță în starea curentă i este condiționată de buna funcționate a SP^j , pentru toate defectele j care conduc la aceasta stare. Valoarea fuzzy \tilde{RI} pentru starea curentă i

a PSS se poate exprima prin intersecția numerelor fuzzy SG_j .

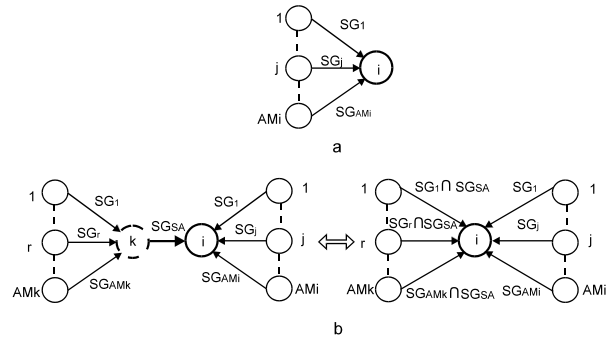


Fig. 1 Starea curentă i a PSS fără stare tranzitorie k în amonte (a), cu stare tranzitorie k în amonte (b).

În Fig. 1 b se prezintă cazul stării curente i a PSS, la care se ajunge prin evenimentele de defectare j , $j = \overline{1, AMi}$, analog cazului precedent, dar și din starea tranzitorie k , prin acționarea SA. Acest eveniment este modelat de o tranziție instantanee a RPSLE, la care se asociază numărul fuzzy SG_{SA} , corespunzător "Siguranței generale" în funcționate a SA.

3 Evaluarea performabilității în sistemul electroenergetic

Modelul Markov Reward permite evaluarea performabilității în cadrul analizei compuse performanță-dependabilitate a SE. Pentru analiza dependabilității se utilizează modelul RPSLE și programul de calcul ERPS, care permite generarea PSS pe baza modelului LM asociat, evaluarea vectorului probabilităților de stare în regim staționar $\mathbf{P} = (P_i)_{i \in S}$ și a disponibilității A .

Analiza performanței se realizează, evaluându-se în starea curentă i a PSS valoarea reward instantanee RI, reprezentată de Siguranța Tranziției în starea curentă i , SGT_i . În acest scop se utilizează programul ERPS pentru: prelucrarea PSS și programul Arbori de Evenimente Fuzzy (AREF), evaluarea numerelor fuzzy "Siguranța globală", "Siguranța generală" a SP, respectiv SA și efectuarea operațiilor de logica fuzzy, necesare în calculul SGT_i .

Măsura compusă P-D, exprimată de valoarea reward instantanee probabilă a stării staționare RIS, se evaluează cu ajutorul programului de calcul ERPS, cunoscând valoarea reward instantanee SGT_i și probabilitatea stării curente i în regim staționar P_i :

$$RIS = \sum_{i \in S} P_i \cdot SGT_i \quad (11)$$

Utilizând conceptul de performabilitate în SE, expus anterior, se realizează în cele ce urmează o analiză de ansamblu a performanței SE-SP(SA) pentru sistemul cuplei longitudinale.

4 Studiul comparativ al performabilității pentru modelele sistemului cuplei longitudinale în SE

Sistemul compus din sursele G_1, G_2 , conectate prin întrerupătoarele S_1 , respectiv S_2 la secțiunile de bare A, respectiv B,

- varianta GCDS modelează, în plus față de varianta GCD, evenimentele defectare, restabilire întrerupătoare S_1, S_2 ;
- varianta GC modelează, față de varianta GCD, evenimentele defectare, restabilire cupla longitudinală numai după conectare;

respectiv B, legate prin cupla longitudinală (fig.2a), poate fi modelat în mai multe variante cu ajutorul RPSLE:

- varianta GCD modelează evenimentele: defectare, restabilire generatoare G_1, G_2 , cupla longitudinală deconectată, sau conectată; cuplare, decuplare cupla longitudinală (fig. 2);
- varianta GCS modelează, în plus față de varianta GC, evenimentele defectare, restabilire întrerupătoare S_1, S_2 ;
- varianta G modelează evenimentele defectare, restabilire generatoare G_1, G_2 ;
- varianta GS modelează, în plus față de varianta G, evenimentele defectare, restabilire întrerupătoare S_1, S_2 .

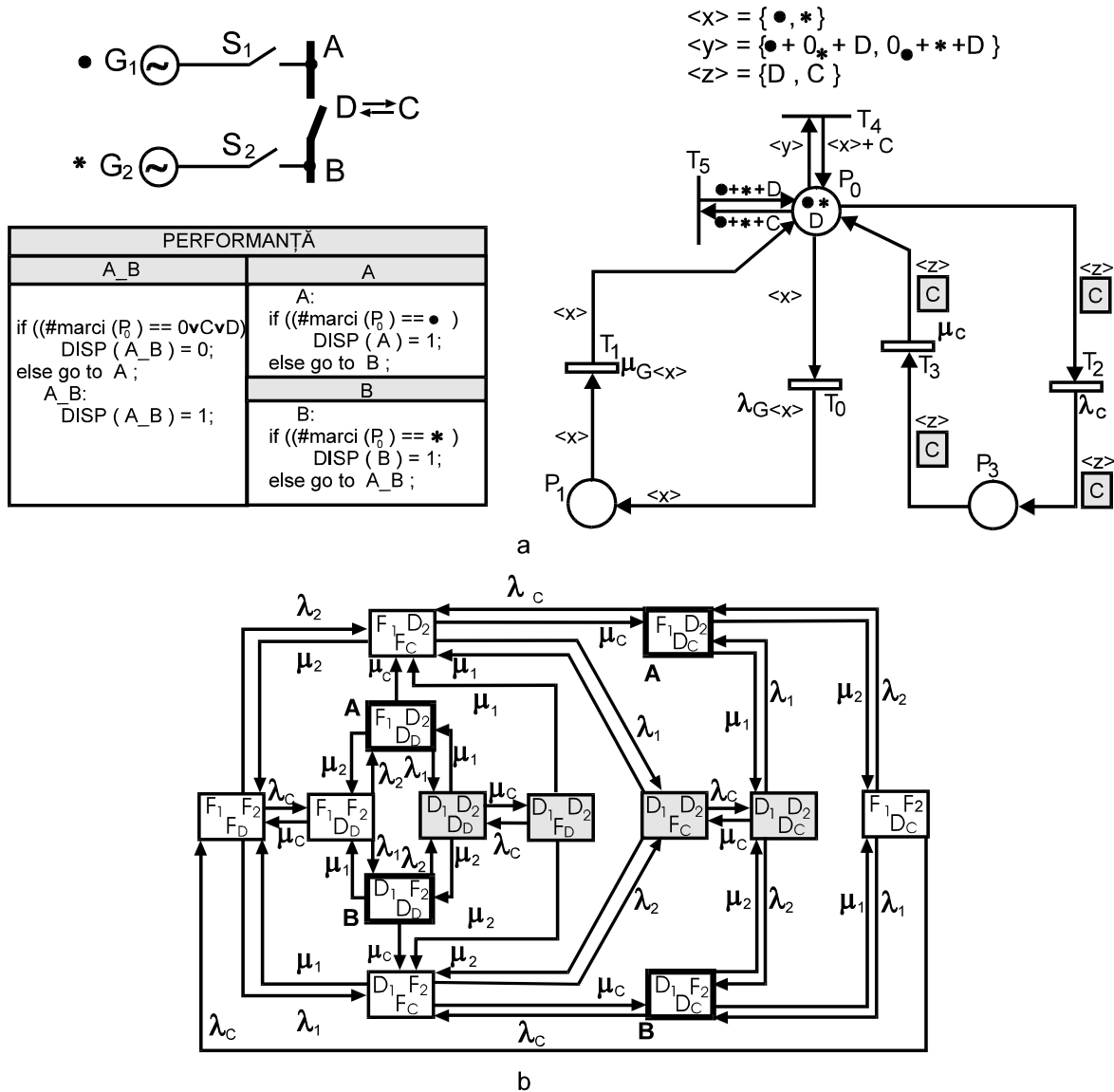


Fig. 2 Modelul RPSLE (a), lanțul Markov (b), pentru sistemul cuplei longitudinale în SE (variante GCD).

Pe baza analizei compuse P-D în tabelul 1 se prezintă valorile parametrilor SG_{gl} (GSG_{gl}) evaluate pentru SP al generatorului G, al întrerupătorului S, al cuplei longitudinale C(D) și asociate tranzițiilor stocastice, care modelează defectarea acestor elemente (având intensitatea de defectare λ_G, λ_S , respectiv

$\lambda_{C(D)}$). De asemenea, se prezintă și valoarea parametrului SG_{gen} (GSG_{gen}) evaluată pentru sistemul automat, AA-CL și asociată tranziției instantanee, care modelează acțiunea acestui sistem.

Tabelul 1. Parametrii SG_{gl} (GSG_{gl}), SG_{gen} (GSG_{gen}) asociați tranzițiilor din componenta modelelor RPSLE, ale sistemului cuplei longitudinale în SE

	λ_G	λ_S	$\lambda_{C(D)}$	AA-CL	
				im 0.3032	
SG_{gl}	i 0.61107	i 0.64989	i 0.52386	i 1.0000	SG_{gen}
	fi 0.8411	fi 0.878s3	fi 0.76133	fi 0.5478	
GSG_{gl}	9.31206	9.3049	9.30452	9.10269	GSG_{gen}

Performabilitate (RIS)

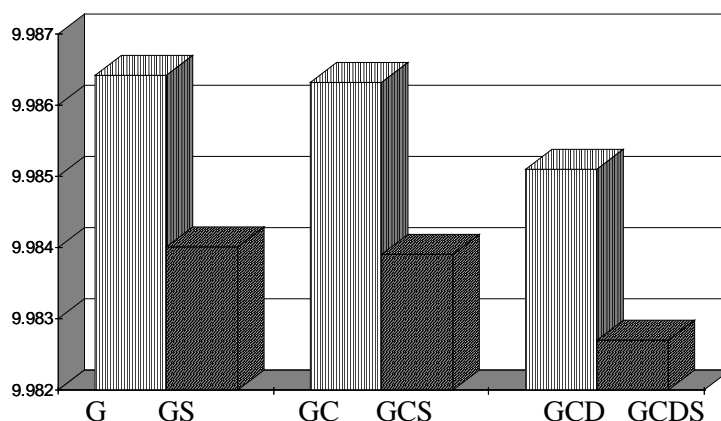


Fig. 3 Performabilitatea sistemului cuplei longitudinale în SE.

În fig. 3 se prezintă măsura compusă P-D (RIS), pentru sistemul cuplei longitudinale în SE, în funcție de varianta de modelare RPSLE. Aceasta permite un studiu comparativ în cadrul analizei de ansamblu a performanței SE-SP(SA), din punct de vedere al performanței, în funcție de complexitatea modelelor. În cadrul variantelor cu (fără) modelarea stării întrerupătoarelor S_1 , S_2 , creșterea complexității modelului conduce la scăderea performanței sistemului. Performanța sistemului fără modelarea stării întrerupătoarelor S_1 , S_2 (variantele G, GC, GCD) este superioară performanței sistemului cu modelarea stării întrerupătoarelor S_1 , S_2 (variantele GS, GCS, respectiv GCDS).

CONCLUZII

Rezultatele obținute au relevat următoarele aspecte:

1. Performanța stărilor din componenta PSS, asociat SE, este strâns legată de Siguranța în funcționarea SP(SA), integrat în SE, iar aceasta dependentă impune utilizarea metodei compuse performanță - dependabilitate, în analiza de ansamblu a performanței SE-SP(SA);

2. Modelul Markov Reward propus s-a dovedit un instrument viabil pentru analiza de ansamblu a performanței SE-SP(SA);

3. Măsura compusă performanță - dependabilitate, propusă și evaluată în cadrul lucrării (RIS), poate să reprezinte un cuantificator al performanței în SE;

4. Cuantificatorul RIS, evaluat pe baza modelului RPSLE cu elemente de logica fuzzy la nivelul tranzițiilor,

permite realizarea studiilor comparative, din punct de vedere al performanței, pentru sistemele analizate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Catania, V. și A. Puliafito 199). *A Modular-Network Architecture for Performance Enhancement in Extended Local Area Network*. IEEE Trans. on Reliability, nr.1.
- [2] Chen, I.R. și T. Tsao 1995. *A Reliability Model for Real-Time Rule-Based Expert Systems*. IEEE Trans. on Reliability, nr.1.
- [3] Dugan, J.B. și S.A. Doyle 1994. *Simple Models of Hardware and Software Fault Tolerance*. Proc. Ann. Reliability and Maintainability Symp.
- [4] Dumitrescu, M., Munteanu, T. 2001. *Fuzzy Probability and Power System Safety*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2206. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [5] Dumitrescu, M., Munteanu T, Florica, D. 2004 *A Software for Electric-Power Fuzzy Critical Analysis*. IEEE International Conference on Fuzzy Systems 25-29 July 168-172.
- [6] Dumitrescu, M. 2002. *Power Systems*. Edited on Didactica and Pedagogica Bucuresti, 2002.
- [7] David, R., A. Hassan. *Du grafet aux reseaux de Petri*. Edited Hermes, Paris, 1989.
- [8] Dumitrescu, M. 2009. "Stochastic Petri Nets Architectural Modules for Power System Availability," în Proc. The 9-th IEEE International Conference on Electronic, Circuit and Systems, Croatia, September, pp. 745-748.
- [9] Dumitrescu, M. 2006. "Using Petri Nets on Electric Power Dependability Analysis," în Proc. IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Veracruz, Mexico, pp. 210-213.
- [10] Hawary, El. 1997. *Electrical Power Systems*. Edited on IEEE Press, N.J, pp. 356-369.
- [11] Malhotra, M. and K, Trivedi. 2004. "Power-Hierarchy of Dependability-Model Types," IEEE Trans. Reliability, 3, pp. 34-42.
- [12] Malhotra, M. and K, Trivedi. 2005. "Dependability modeling using Petri nets," IEEE Trans. Reliability, pp. 29-36.
- [13] Murata, T. 1998. "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications," în Proceedings of the IEEE, 4, pp. 56-71.
- PE 013/2004: *Electrical standard for power systems safety*. M.E.E. Bucharest, Romania.
- [14] IEEE P1366. 2008. *Trial Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*, Working Group on System Design, Draft 5.
- [15] Viswanadham, N. și R. Ram (1994). *Composite Performance-Dependability Analysis of Cellular Manufacturing Systems*. IEEE Trans on Robotics and Automation, nr. 2.