

Dr Slavko Pokorni,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija VJ,
Beograd
Profesor dr Rifat Ramović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Beograd

ANALIZA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA OD ČETIRI TELEKOMUNIKACIONE CENTRALE POVEZANE U PRSTEN

UDC: 621.39.004.15 : 519.217

Rezime:

U radu su predstavljene modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti jednog telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks vezama. Modeli su razvijeni polazeći od grupisanja stanja u kojima se dotični sistem može naći i uz korišćenje modela Markova koji definišu verovatnoće prelaza između pojedinih stanja.

Ključne reči: pouzdanost, raspoloživost, telekomunikacioni sistem, modeli Markova.

RELIABILITY AND AVAILABILITY ANALYSIS OF A TELECOMMUNICATION SYSTEM CONSISTING OF FOUR TELECOMMUNICATION STATIONS CONNECTED IN RING

Summary:

Models for reliability and availability of one telecommunication system consisting of four telecommunication stations connected in ring by duplex lines are presented. The models are developed based on the grouping of possible states of the analyzed system using the Markov models for transition probabilities between particular states of the system.

Key words: reliability, availability, telecommunication system, Markov models.

Uvod

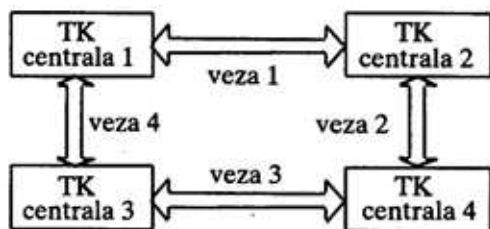
Za funkcionisanje bilo kojeg tehničkog sistema vrlo su važni njegova pouzdanost i raspoloživost. Za složenije sisteme nije jednostavno odrediti te pokazatelje, pogotovo ako se radi o sistemima kod kojih postoji redundovanje pojedinih delova, a uz to i mogućnost opravke. Zbog toga se sačinjavaju odgovarajući matematičko-fizički modeli pomoću kojih se rešavaju takvi problemi. Za analizu

pouzdanosti i raspoloživosti opravljivih redundovanih sistema pogodni su modeli Markova [1, 2, 3], na osnovu kojih se mogu razviti odgovarajući modeli za konkretne sisteme [4-10], a na osnovu njih se upoređuju različite varijante radi izbora optimalne. Za dobijanje vrednosti konkretnih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sistema potrebno je poznavanje pokazatelja pouzdanosti sastavnih delova tih sistema, o čemu se polazni podaci najčešće mogu naći u standardizova-

nim priručnicima [11]. Potvrda ovako proračunom dobijenih prognostičkih rezultata može se obaviti laboratorijskim ispitivanjima [12]. U ovom radu rešavan je jedan takav problem, i u tu svrhu razvijeni su konkretni modeli za pouzdanost i raspoloživost odgovarajućeg sistema.

Analiza stanja telekomunikacionog sistema

Razmatrani telekomunikacioni sistem sastoji se od četiri telekomunikacione (TK) centrale koje su povezane dupleks vezama kao na slici 1. Komunikacija se može ostvariti direktno (primer TK centrale 1 i TK centrale 2 preko dupleks veze) ili preko tranzitne centrale (na primer, komunikacija TK centrala 1 i 4 preko dupleks veza 1 i 2 i tranzitne centrale 2). Telekomunikacione centrale organizovane su kao primopredajnici.



Sl. 1 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten dupleks vezama

Postoji i drugi način povezivanja navedene četiri TK centrale, posredstvom šest dupleks veza, tako da se veza između pojedinih centrala ostvaruje bez tranzitnih centrala (na primer, centrala 1 direktno komunicira sa centralom 4 preko dupleks veze), što na sličan način može da se analizira i modeluje.

Cilj analize pouzdanosti i raspoloživosti jeste nalaženje optimalnog rešenja sa aspekta utroška sredstava i dobijene pouzdanosti sistema $R(t)$ i raspoloživosti sistema $A(t)$.

Neka su x_i i \bar{x}_i moguća stanja i -te linije veze (ispravna i neispravna, respektivno), a y_i i \bar{y}_i moguća stanja i -te centrale. Sistem funkcioniše ispravno ako su sve četiri TK centrale ispravne i ako je moguće uspostaviti vezu između njih, a ne funkcioniše ispravno ako je bar jedna TK centrala neispravna ili ako su sve TK centrale ispravne ali ne postoji mogućnost uspostavljanja veze između svake od njih.

S obzirom na to da, u opštem slučaju, može da otkáže svaka od linija veza i svaka od četiri TK centrale, veliki je broj stanja u kojima se može naći sistem sa slike 1, što veoma komplikuje proračun pouzdanosti i raspoloživosti. Radi pojednostavljenja proračuna, sva ta stanja mogu se svrstati u pet grupa, koje se mogu nazvati osnovnim stanjima, a ostala stanja proglašavaju se za podstanja osnovnih stanja.

Posmatrani sistem može imati pet osnovnih stanja:

- u prvom stanju sistema sve linije veza i sve TK centrale su ispravne (stanje $x_1x_2x_3x_4 \wedge y_1y_2y_3y_4$) i ono nema podstanja. To je povoljno stanje sistema sa aspekta pouzdanosti i raspoloživosti;

- u drugom stanju sistema jedna od linija veze je neispravna (u prekidu) i sve TK centrale su ispravne. Ovo stanje sadrži četiri podstanja i smatra se povoljnim;

- treće stanje sistema podrazumeva sve ispravne linije veza i neispravnu bar jednu TK centralu. Obuhvata 15 podstanja;

– četvrto stanje je ono u kojem sistem ima jednu liniju veze neispravnu i bar jednu (može i više) TK centralu neispravnu. Ovo stanje sadrži $4 \times 15 = 60$ podstanja;

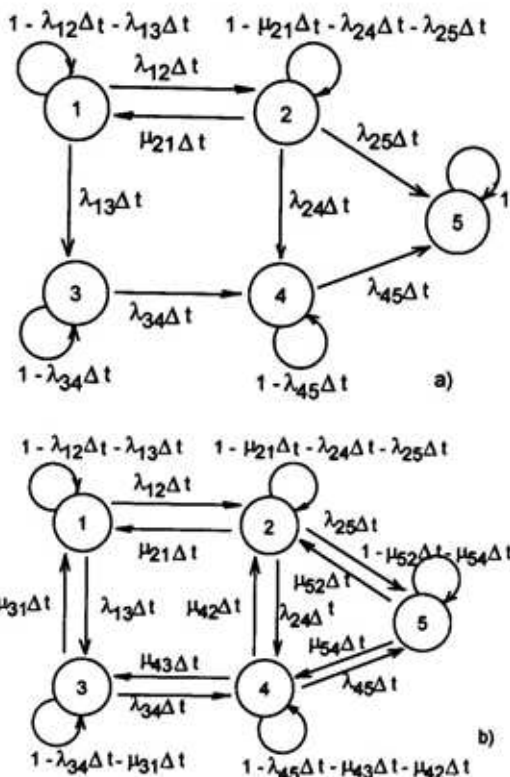
– peto stanje obuhvata sve slučajeve kada su dve ili više veza u prekidu i ima $11 \times 16 = 176$ podstanja.

Pouzdanost i raspoloživost analiziranog sistema preko modela Markova grafički su prikazani na slici 2.

Neka su λ_{p1} i λ_{p2} intenziteti otkaza TK centrale usled smetnji i fizičke neispravnosti, a μ_{p1} i μ_{p2} odgovarajući intenziteti opravke. Analogno, neka su λ_{v1} i λ_{v2} intenziteti otkaza linija veza usled smetnji i fizičkog prekida, a μ_{v1} i μ_{v2} odgovarajući intenziteti opravke. Sistem sa slike 2 imaće sledeće intenzitete prelaska između pojedinih stanja:

$$\begin{aligned} \lambda_{12} &= 4(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \\ \mu_{21} &= \min(\mu_{v1}, \mu_{v2}) \approx \mu_{v2} \\ \lambda_{13} &= 4(\lambda_{p1} + \lambda_{p2}) \\ \mu_{43} &= \min(\mu_{v1}, \mu_{v2}) \approx \mu_{v2} \\ \lambda_{24} &= 4(\lambda_{p1} + \lambda_{p2}) \\ \mu_{31} &= \mu_p^{*1} (\min(\mu_{p1}, \mu_{p2}) \approx \mu_{p2}) \\ \lambda_{34} &= 4(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \\ \mu_{42} &= \mu_p^{*1} (\min(\mu_{p1}, \mu_{p2}) \approx \mu_{p2}) \\ \lambda_{25} &= 3(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \quad \mu_{52} = \mu_v^{*11} \\ \lambda_{45} &= 3(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \quad \mu_{54} = \mu_v^{*12} \end{aligned} \quad (1)$$

gde su: μ_p^{*1} uslovni intenzitet opravke TK centrale, a μ_v^{*11} i μ_v^{*12} uslovni intenziteti opravke linija veza.

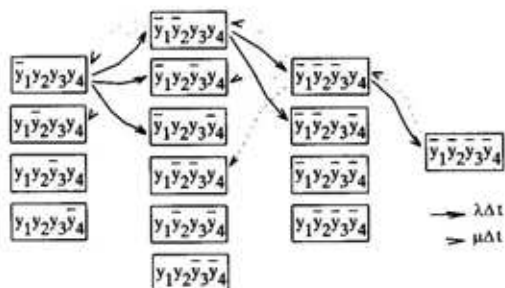


Sli. 2 – Polazni grafički prikaz modela Markova za:
a) pouzdanost sistema, b) raspoloživost sistema (sa sl. 1)

Da bi se u potpunosti opisao posmatrani sistem, neophodno je da se, pored osnovnih parametara λ_i i μ_i , koji se uzimaju iz [11], odrede parametri uslovnog prelaza μ_v^* i μ_p^* .

Određivanje uslovnog intenziteta opravke linija veza i TK centrale

Da bi se odredili uslovni intenziteti prelaza sa slike 2 između 5. i 2. stanja; 5. i 4.; 4. i 2. i 3. i 1. posmatrač se 3. i 5. stanje kao izdvojene celine, a uz pretpostavku da je minimalno vreme zadržavanja sistema u okviru ovakvog stanja si-



Sl. 3 – Stanje 3 kao izolovana celina (za sva podstanja podrazumeva se x_1, x_2, x_3, x_4)

stema Δt , izvršiće se proračun uticaja pojedinih podstanja na to stanje. Dijagram prelaza između pojedinih podstanja u 3. stanju izgleda kao na slici 3.

Analizom trećeg stanja zaključuje se da je reč o četiri grupe podstanja (jedna neispravna TK centrala – četiri podstanja, dve neispravne TK centrale – šest podstanja, tri neispravne TK centrale – četiri podstanja, i sve četiri TK centrale neispravne – jedno podstanje), koje se mogu opisati sa četiri verovatnoće čija suma mora biti jednaka 1 ako se posmatra kao izolovana celina. Sistem jednačina za ove četiri verovatnoće i njihovu sumu je:

$$\begin{aligned}
 P_{(3)1} &= P_{(3)1} (1 - 3\lambda_p \Delta t) + P_{(3)2} 3\mu_p \Delta t \\
 P_{(3)2} &= P_{(3)1} 2\lambda_p \Delta t + \\
 &+ P_{(3)2} (1 - 2\lambda_p \Delta t - 2\mu_p \Delta t) + P_{(3)3} 2\mu_p \Delta t \\
 P_{(3)3} &= P_{(3)2} 3\lambda_p \Delta t + \\
 &+ P_{(3)3} (1 - \lambda_p \Delta t - 3\mu_p \Delta t) + P_{(3)4} \mu_p \Delta t \\
 P_{(3)4} &= P_{(3)3} 4\lambda_p \Delta t + P_{(3)4} (1 - 4\mu_p \Delta t) \\
 4P_{(3)1} + 6P_{(3)2} + 4P_{(3)3} + P_{(3)4} &= 1
 \end{aligned} \quad (2)$$

Rešavanjem sistema jednačina (2) mogu se odrediti verovatnoće $P_{(3)1}$, $P_{(3)2}$, $P_{(3)3}$ i $P_{(3)4}$:

$$\begin{aligned}
 P_{(3)1} &= \frac{\mu_p^3}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)2} &= \frac{\lambda_p \mu_p^2}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)3} &= \frac{\lambda_p^2 \mu_p}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)4} &= \frac{\lambda_p^3}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Na osnovu poznatih verovatnoća (3) mogu se odrediti verovatnoće prelaska sistema iz trećeg stanja u prvo stanje i iz četvrtog stanja u drugo stanje, koje su, kao što se može videti iz definicije pojedinih stanja, jednake:

$$\mu_{31} \Delta t = \mu_{42} \Delta t = 4P_{(3)1} \mu_p \Delta t = \mu_p^* \Delta t$$

Oдавde se, u stvari, dobija uslovni intenzitet opravke TK centrale:

$$\mu_p^* = \frac{4\mu_p^4}{4\mu_p^3 + 4\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \quad (4)$$

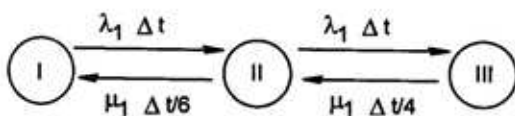
Analizom petog stanja zaključuje se da se ono sastoji od 11 podgrupa koje su međusobno povezane u tri grupe (I – dve linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala; II – dve linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala; i III – tri linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala). Grupa I ima 6 podgrupa, grupa II 4 podgrupe, a grupa III jednu podgrupu. Peto stanje razloženo na tri grupe može se prikazati kao na slici 4.

Verovatnoće da se sistem može naći u jednoj od grupa stanja (I, II ili III) u okviru petog stanja su:

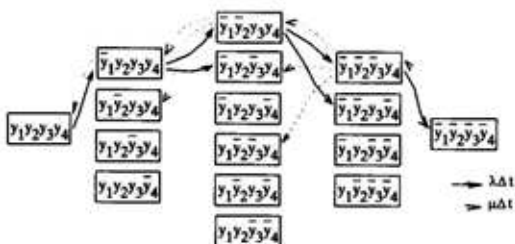
$$\begin{aligned}
 P_I &= \frac{\mu_v^2}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \\
 P_{II} &= \frac{6\lambda_v\mu_v}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \\
 P_{III} &= \frac{24\lambda_v^2}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Za prelaz sistema iz petog stanja u četvrto stanje značajna je grupa I, imajući u vidu da sistem može preći iz petog u četvrto stanje samo ako se nalazi u grupi I i ako je bar jedna TK centrala neispravna. Verovatnoća ovog događaja (da je bar jedna TK centrala neispravna) određuje se na način sličan kao u prethodnom slučaju, polazeći od povezanosti pojedinih stanja TK centrala, što je prikazano na slici 5.

Na sličan način, kao pri analizi trećeg stanja, mogu se odrediti verovatnoće pet grupa podstanja petog stanja, prikazanih na slici 5:



Sl. 4 – Povezanost grupa stanja u okviru petog stanja



Sl. 5. – Prikaz povezanosti stanja TK centrale

$$\begin{aligned}
 P_{(5)1} &= \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\
 P_{(5)2} &= \frac{\lambda_p\mu_p^3}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\
 P_{(5)3} &= \frac{\lambda_p^2\mu_p^2}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\
 P_{(5)4} &= \frac{\lambda_p^3\mu_p}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\
 P_{(5)5} &= \frac{\lambda_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4}
 \end{aligned} \quad (6)$$

Posredstvom određivanja verovatnoće prelaza sistema iz petog u četvrto stanje:

$$\mu_{52}\Delta t = P_I P_{52} \mu_v \Delta t = \mu_v^{*11} \Delta t,$$

može se odrediti uslovni intenzitet opravke linija veza:

$$\begin{aligned}
 \mu_v^{*11} &= \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \cdot \\
 &\quad \cdot \frac{\mu_v^3}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2}
 \end{aligned} \quad (7)$$

gde je $P_{52} = P_{(5)1}$.

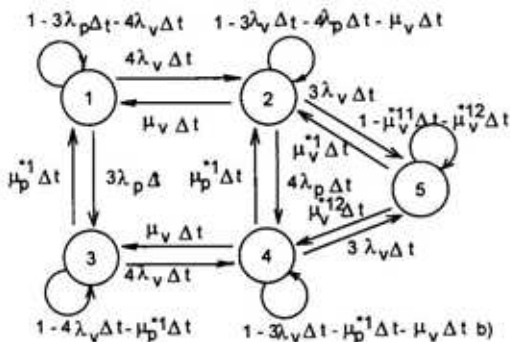
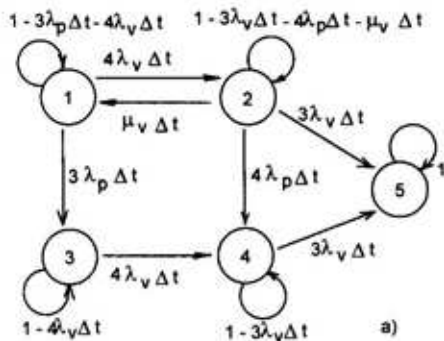
Posredstvom verovatnoće prelaza sistema iz petog u drugo stanje:

$$\mu_{54}\Delta t = P_I P_{54} \mu_v \Delta t = \mu_v^{*12} \Delta t,$$

može se odrediti uslovni intenzitet opravke linija veza

$$\begin{aligned}
 \mu_v^{*12} &= \left(1 - \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \right) \cdot \\
 &\quad \cdot \frac{\mu_v^3}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2}
 \end{aligned} \quad (8)$$

gde je $P_{54} = 4P_{(5)2} + 6P_{(5)3} + 4P_{(5)4} + P_{(5)5}$



Sl. 6 – Konačan grafički prikaz modela Markova za:

a) pouzdanost sistema, b) raspoloživost sistema

Modeli pouzdanosti i raspoloživosti sistema

Model Markova kojim se analizira pouzdanost i raspoloživost razmatranog sistema, sa unetim uslovnim intenzitetima prelaza, može se grafički prikazati kao na slici 6, gde je:

$$r_1 = \frac{7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v}{2} - \frac{\sqrt{(7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v)^2 - 4(12\lambda_v^2 + 12\lambda_p^2 + 25\lambda_v\lambda_p + 3\lambda_p\mu_v)}}{2}$$

$$r_2 = \frac{7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v}{2} + \frac{\sqrt{(7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v)^2 - 4(12\lambda_v^2 + 12\lambda_p^2 + 25\lambda_v\lambda_p + 3\lambda_p\mu_v)}}{2}$$

$$\lambda_v = \lambda_{v1} + \lambda_{v2}; \lambda_p = \lambda_{p1} + \lambda_{p2}$$

$$\mu_v = \mu_{v2}; \mu_p = \mu_{p2}$$

Odgovarajući sistem diferencijalnih jednačina, koje opisuju prelaze i verovatnoće nalaženja u pojedinim stanjima za pouzdanost (za sliku 6 a), glasi:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(4\lambda_v + 3\lambda_p)P_1(t) + \mu_v P_2(t)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = 4\lambda_v P_1(t) - (3\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v)P_2(t)$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = 3\lambda_p P_1(t) - 4\lambda_p P_3(t) \quad (9)$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = 4\lambda_p P_2(t) + 4\lambda_v P_3(t) - 4\lambda_v P_4(t)$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = 3\lambda_v P_2(t) + 3\lambda_v P_4(t)$$

Rešavanjem sistema jednačina (9) na način kao u [1, 2] dolazi se do izraza za pouzdanost kao sume verovatnoća da se sistem nalazi u povoljnim stanjima, tj. $R(t) = p_1(t) + p_2(t)$

$$R(t) = \frac{7\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v - r_1}{r_2 - r_1} e^{-r_1 t} - \frac{7\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v - r_2}{r_2 - r_1} \cdot e^{-r_2 t}$$

gde su:

Na sličan način, formirajući sistem diferencijalnih jednačina za raspoloživost, za dijagram stanja na slici 6b, i rešavajući ga, takođe, na analogan način nalazio bi se izraz za raspoloživost ovog sistema. S obzirom na to da je nalaženje

izraza za raspoloživost u funkciji vremena, u ovom slučaju, veoma složeno, pribeglo se traženju izraza za raspoloživost za stacionarno stanje, $A=p_1+p_2$. Pri tome se dobija:

$$A = \left(\begin{array}{l} \frac{A_1 \mu_v (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12}) [4\lambda_v + 3\lambda_p + \mu_v (A_2 B_1 - A_1 B_2)]}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \\ \frac{3\lambda_v A_1 (A_2 C_1 - A_1 C_2) (1 + \mu_v)}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \\ + \frac{3\lambda_v \mu_p^* [B_1 (A_2 C_1 - A_1 C_2) - C_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2)]}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \end{array} \right) p_5$$

gde su:

$$A_1 = 4\lambda_v \quad B_1 = 3\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v + \mu_p^* \quad C_1 = \mu_v^{*12} + \frac{4\lambda_p (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{3\lambda_v}$$

$$A_2 = \frac{3\lambda_p \mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p} - 4\lambda_v + \mu_p^* \quad B_2 = \frac{3\lambda_p \mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p} \quad C_2 = \mu_v + \frac{\lambda_p \mu_v (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{\lambda_v (4\lambda_v + 3\lambda_p)}$$

$$X = 1 + \frac{\mu_p^*}{4\lambda_v + 3\lambda_p} \quad Y = \frac{\mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p}$$

$$Z = 1 + \frac{\mu_v (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{3\lambda_v (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \quad D = A_2 B_1 - A_1 B_2 \quad E = A_2 C_1 - A_1 C_2$$

Zaključak

Prezentirani analitički modeli za pouzdanost i raspoloživost razmatranog telekomunikacionog sistema, dobijeni grupisanjem stanja u kojima se sistem može naći, relativno su jednostavni, a dovoljno precizni, što je osnovni zahtev pri modelovanju. Na osnovu njih može se izvršiti analiza razmatranog sistema.

Na analogan način može se doći i do modela za drugačije konfiguracije istog sistema. Prema kriterijumima vrednosti uloženi sredstava i gubitaka kada sistem ne funkcioniše, može se izvršiti detaljna analiza najraznovrsnijih konfiguracija telekomunikacionih sistema od četiri TK centrale, i na osnovu takve analize preporučiti optimalna rešenja, što je samo jedan od ciljeva daljeg rada na modelovanju ovakvih i sličnih sistema.

Literatura:

- [1] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [2] Pokorni, S., Ramović R., Parčina N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, zbirka rešenih zadataka, VA VJ, Beograd, 1997.
- [3] Clymes, J. R.: System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall Int. Inc., Toronto, 1990.
- [4] Parčina, N., Ramović, R.: Reliability Symulation of Aircraft Data Transfer Main Lines, Warszawa, Prace Instytutu Lotnictwa, 1996.
- [5] Reliability of EWSD, Siemens Information Systems, München, 1990.
- [6] Ramović, R., Pokorni, S., Parčina, N.: Određivanje pouzdanosti sistema metodom konstantnih odnosa intenziteta opravke i otkaza elemenata, Zbornik radova konferencije SYM-OP-IS, 1998, str. 155-158.
- [7] Mikevski, D., Ramović, R.: Model za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema veza između tri centra, Zbornik radova konferencije SYM-OP-IS, 1999, str. 295-298.
- [8] Danojlić, N., Ramović, R., Pešić, S.: Optimizacija raspoloživosti SIEMENS-ovog EWSD-a, Zbornik radova TELFOR-2000, str. 122-125.
- [9] Lazarević, A.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema veza sa četiri telekomunikaciona centra, diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1999.
- [10] Ramović, R., Pokorni, S.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2001, str. 141-144.
- [11] MIL-HDBK-217E.
- [12] Pokorni, S.: Provjera ispunjenja zahtjeva za pouzdanost elektronskih uređaja savremenih aviona, Vojnotehnički glasnik 1/1993.