

# MODELOVANJE MAGISTRALA ZA PRENOS PODATAKA ELEKTRONSKOG SISTEMA VAZDUHOPLOVA U REALNIM EKSPLOATAACIONIM USLOVIMA UZ PRIMENU AKTIVNE REDUNDANSE

U radu su prezentirani rezultati matematičkog modela koji omogućava analizu raspoloživosti veza između pojedinih delova elektronskog sistema i njihov uticaj na raspoloživost veza i elektronskog sistema u savremenim borbenim avionima. Prikazan je matematički model kojim je analiziran uticaj elektromagnetske interferencije na raspoloživost magistrala podataka i elektronskog sistema i rezultati ostvareni ovim putem. Pored toga, detaljno je prikazan model magistrale podataka redundovane sa magistralom u pripravnosti (aktivna redundansa) za rad u realnim (mirnodopskim) eksploataacionim uslovima. Program urađen na osnovu modela daje srednje vreme do prvog otkaza sistema i grafički prikazuje njegovu zavisnost od ulaznih parametara.

## Uvod

Elektronski sistem savremenih borbenih letelica ostvaruje kompletnu koordinaciju i kontrolu svih operacija koje ta letelica obavlja u toku izvršavanja zadataka. Sistem integriše [1, 2, 3]: elektronsku opremu, sisteme letelice, sistem upravljanja borbenim sredstvima, električne komande leta i integrisanu pilotsku kabinu.

Povezivanje elemenata sistema može biti individualno ili integrisano raznim standardima, najčešće sa MIL-STD-1553 [4, 5, 6], a u radu [1] je optimizovan predlog integracije elektronskih sistema sa tri magistrale za višenamenski savremeno opremljeni borbeni avion: magistrala upravljanja letom; magistrala zadatka (misije); magistrala naoružanja.

## Sistem veza i njegov uticaj na raspoloživost elektronskog sistema vazduhoplova

Pri analizi pouzdanosti elektronskih sistema polazi se od postupka alokacije pouzdanosti svakog sastavnog dela, preko uređaja i podsistema, do kompletnog sistema [5, 6]. S obzirom na obimnost posla, korišten je programski paket za analizu pouzdanosti složenih sistema (APSS) [7].

Na osnovu podataka za francuski avion MIRAGE 2000 [5], koji je projektovan sa pouzdanošću  $R=0,955$ , uz eksponencijalnu raspodelu otkaza pouzdanost delova mora biti veća od pouzdanosti aviona za 1,047 puta, a intenzitet otkaza elektronskih sistema za više od deset puta manji od intenziteta otkaza aviona.

Da bi se došlo do podataka o raspoloživosti različitih sistema veza, analizirane su sledeće konfiguracije:

- prenos podataka neintegrisanog sistema velikim brojem veza;
- tri magistrale u rednoj vezi sa elementima integrisanog elektronskog sistema;
- tri redundovane magistrale u rednoj vezi sa elementima integrisanog elektronskog sistema.

U razmatranju raspoloživosti elektronskog neintegrisanog sistema računarski zadatka i generisanja simbola komunicira direktno sa ostalim elementima sistema, a otkaz bilo kog elementa izaziva otkaz celog sistema. Proračun je izvršen za misiju trajanja od 600 časova, za projektovanu pouzdanost aviona 0,955, intenzitet otkaza ( $\lambda_a$ ) aviona, intenzitet otkaza ( $\lambda_{oe}$ ) i pouzdanost ( $R_{oe}$ ) elektronskih sistema:

$$\lambda_a = 76,74 \cdot 10^{-6} \text{ čas}^{-1};$$

$$\lambda_{oe} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ čas}^{-1}$$

$$R_{oe} = e^{-\lambda_{oe} t} = 0,999660057$$

Ukupna raspoloživost u idealnom slučaju iznosi  $A=0,998386564$ , a ukupna raspoloživost neintegrisanog elektronskog sistema sa velikim brojem individualnih veza:  $A=0,78562406$ , što je izuzetno malo, odstupa od tražene vrednosti i obara raspoloživost aviona kao celine.

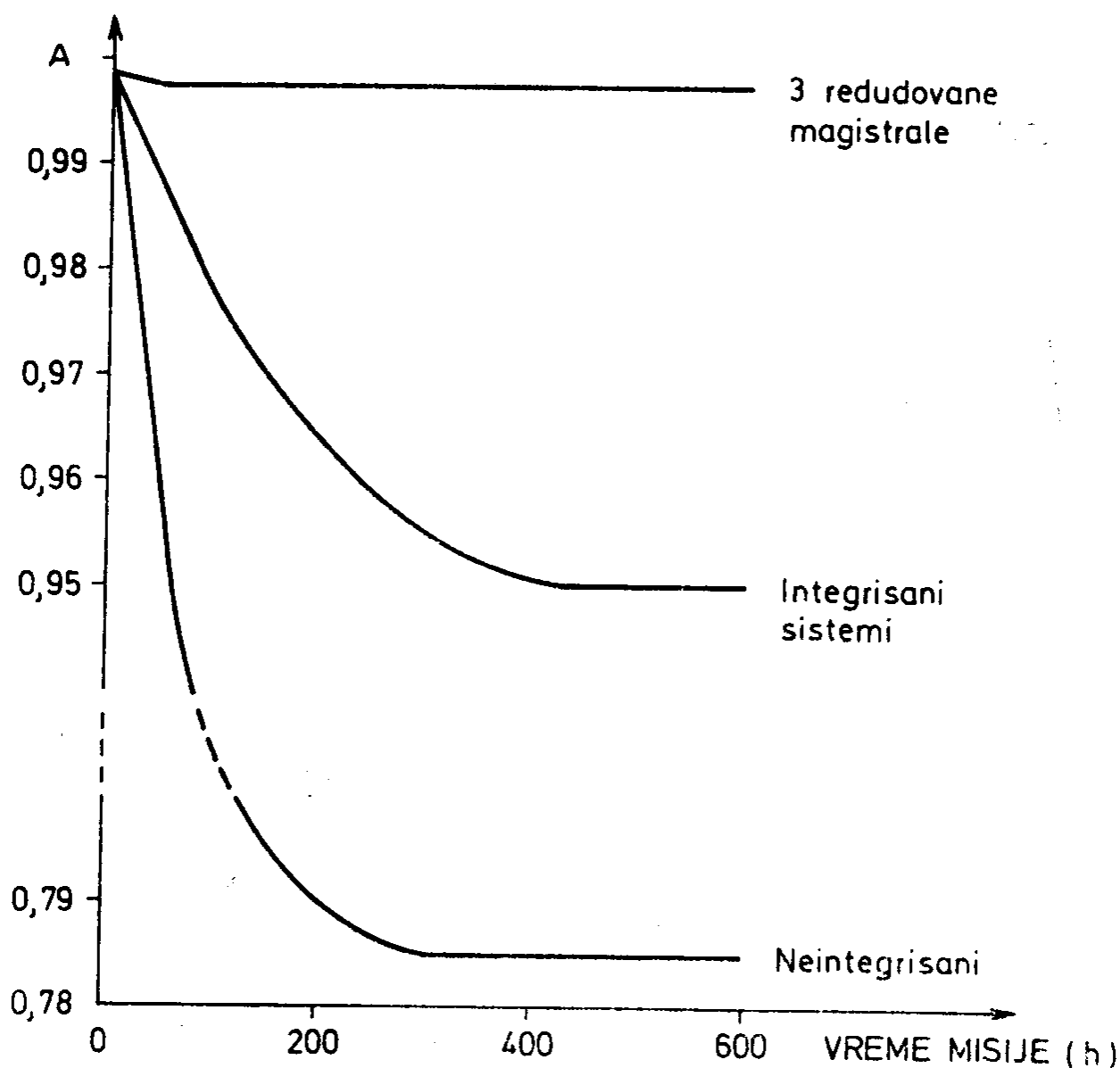
Posmatra li se sistem integrisane elektronske opreme koji se integriše sa tri magistrale, vrednost ukupne raspoloživosti iznosi  $A=0,95089302$ , što je još daleko od zahtevane vrednosti.

S obzirom na to da nema mogućnosti da se poveća parametar ( $\mu$ ), preko redundovanja magistrala povećaće se raspoloživost sistema veza i elektronskog sistema aviona. Za sistem sa tri redundovane magistrale, raspoloživost je dostigla svoju maksimalnu vrednost od  $A=0,9971187$ , koja, međutim, još nije dostigla i vrednost koja zadovoljava postavljeni uslov  $A=R$ .

## Izvori elektromagnetske interferencije na avionu i modelovanje njihovog uticaja na prenos podataka

Prethodni proračun je urađen za žičanu magistralu posmatranu u idealnim uslovima, dok se u praksi, pored stalnih uticaja, pojavljuju i povremeni uticaji koji zajedno predstavljaju različit nivo opasnosti za prenos podataka, a time i za sigurnost letelice. Stalni izvori elektromagnetske interferencije na avionu su: linije napajanja frekvencije 400 Hz, zemaljski i avio-izvori radio-frekvencija, električni prelazni režimi, trenutni prekidi magistrale za napajanje, elektromagnetski impulsi nuklearnih eksplozija.

U radu je izvršeno modeliranje uticaja smetnji na prenos podataka žičanom magistralom, a za potrebe proračuna korišćene su konkretne vredno-



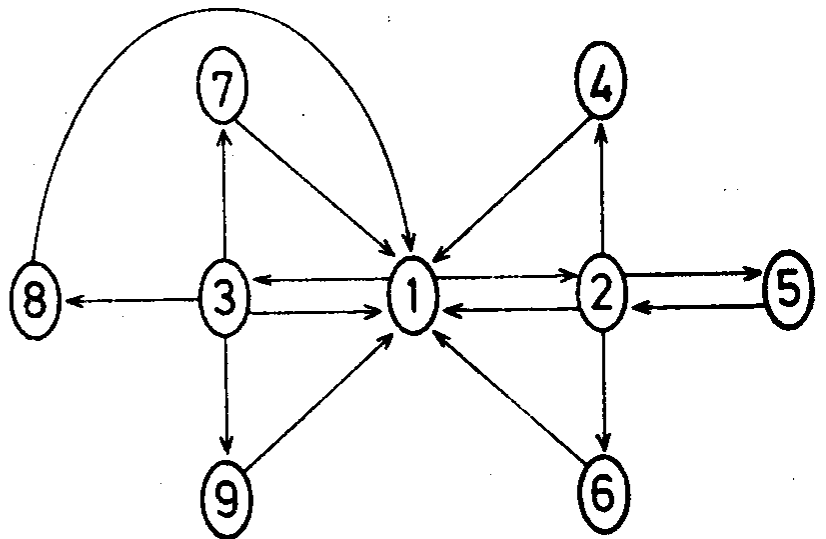
Sl. 1 — Raspoloživost neintegrisanog elektronskog sistema, integrisanog sistema sa tri magistrale i sistema sa tri redundovane magistrale

sti za magistrale prema američkom vojnom standardu MIL-STD-1553 [8, 9] i vrednosti uticaja elektromagnetske interferencije dostupne iz literature [10, 11, 12].

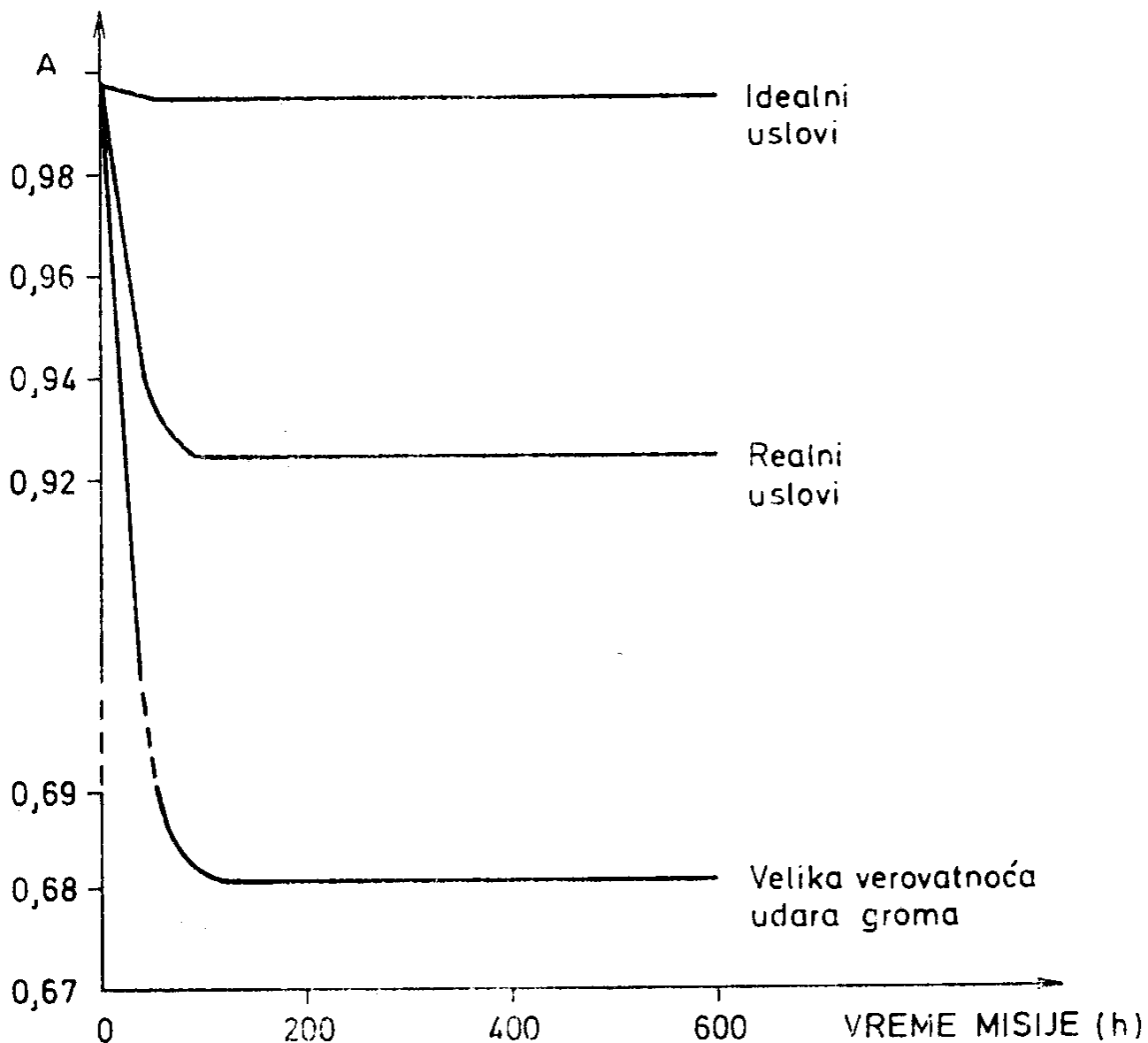
Uticaj elektromagnetske interferencije na elektronske sisteme aviona zavisi od konstrukcije žičane magistrale — provodnika signala koji preko svojih fizičkih uslova (dimenzije, uzemljenje, povratni vodovi, zaštite, veze zaštite, odvajanja i dužina žice) i drugih svojstava (metali, dielektrici, otpornost, induktivnost, kapacitivnost, impedansa i nelinearni efekti) određuju uticaj interferencije. U praksi se koriste: jedan vod sa povratnom vezom preko konstrukcije aviona, upredene parice radi minimalne indukcije magnetnog polja, ekranizirane upredene parice, balansirani izolovani projekat žičane magistra-

le za minimalnu zajedničku impedansu. optička magistrala, i kod svih se uticaj EMI razlikuje.

Kod modela koji opisuje uticaj elektromagnetskih smetnji na žičanu magistralu izvedenu prema MIL-STD-1553



Sl. 2 — Dijagram modela uticaja elektromagnetskih smetnji na žičanu magistralu 1553



Sl. 3 — Raspoloživost integrisanog elektronskog sistema sa tri redundovane magistrale u uslovima bez smetnji, u realnim radnim uslovima i u uslovima velike verovatnoće udara groma

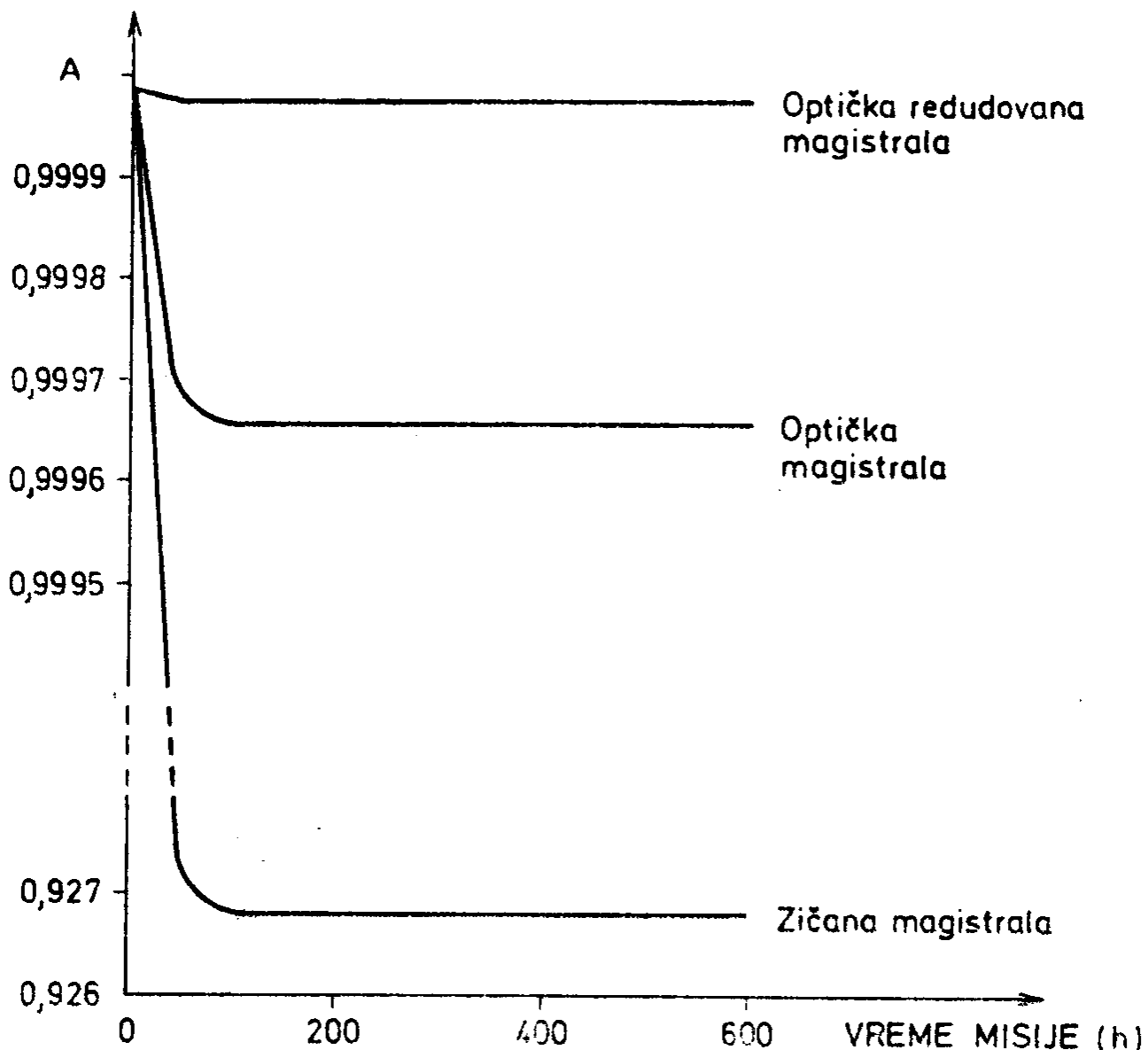
prelazak u neispravno stanje izazivaju samo uparene smetnje, a model ima tri ispravna radna stanja koja se međusobno razlikuju na osnovu osetljivosti na grešku. [13] Pri određivanju vrednosti intenziteta otkaza vođeno je računa o smetnjama koje su stalno prisutne, a uvedeno je i ograničenje — raspodele kvarova i popravki imaju eksponencijalnu raspodelu u vremenu. Modeliranje i proračun izvedeni su na programskom paketu za analizu pouzdanosti složenih sistema (APSS).

Model izveden za analizu uticaja elektromagnetske interferencije na prenos podataka magistralom poslužio je za proračune raspoloživosti u dva slučaja. U prvom slučaju proračun je za normalne uslove pojavljivanja smetnji i prosečan udar groma od 1/2100 časova leta, raspoloživost žičane magistrale je

$A_m = 0,97513410$ , pa je realna raspoloživost elektronskog sistema aviona  $A = 0,926829$ , što je mnogo ispod idealne vrednosti. Proračun izveden za uslove u kojima postoji velika verovatnoća udara groma daje raspoloživost magistrale  $A_m = 0,879808$ , a raspoloživost celokupnog integrisanog elektronskog sistema iznosi  $A = 0,680795$ , što pokazuje da se pri takvim uslovima otežava delovanje pilota.

Treba naglasiti da u postupku modeliranja nisu uzete u obzir smetnje nastale namernim ometajućim dejstvima protivnika i od elektromagnetskog impulsa nuklearne eksplozije.

Elektromagnetski talasi, čak i elektromagnetski impuls nuklearne eksplozije ne utiču na informacije koje se prenose optičkim kablovima, pa je raspoloživost integrisanog elektronskog siste-



Sl. 4 — Raspoloživost integrisanog elektronskog sistema u realnim radnim uslovima: sa tri redudovane magistrala, sa optičkom magistralom i sa tri optičke redudovane magistrala

ma sa magistralom izvedenom od optičkog vlakna i uz ostale iste parametre  $A=0,999660051$ . U slučaju redundovanih magistrala  $A=0,99999999$ . Oba rezultata imaju vrednost veću od tražene i utiču na porast raspoloživosti aviona kao celine [14, 15].

### Modeliranje srednjeg vremena do otkaza sistema kod redundovanih avionskih magistrala u realnim eksploatacionim uslovima

Da bi se došlo do podataka o srednjem vremenu do prvog otkaza magistrala sa magistralama u pripravnosti (aktivna redundansa), Markovljevom tehnikom razvijen je originalan model za rad u realnim eksploatacionim uslovima. Pri analizi modela pretpostavljeno je da su raspodele otkaza i popravki načelne i proizvoljne, a na osnovu modela razvijen je i odgovarajući računarski program. [16, 17, 18]

Prilikom analize ovog modela postavljene su sledeće pretpostavke:

— sistem se sastoji od dve magistrale: prva je operativna, a druga u pripravnosti;

— operativna magistrala može biti u jednom od navedenih režima:

- I — ispravan rad,
- S — rad u uslovima smetnji,
- S<sub>1</sub> — prekid veze usled pojačanih smetnji,
- P — prekid veze usled kvara,
- O — otklanjanje prekida veze usled jakih smetnji,
- O<sub>1</sub> — otklanjanje uzroka prekida veze,
- I<sub>1</sub> — ispravan rad posle uticaja smetnji;

— magistrala u pripravnosti može biti u jednom od sledećih režima :

- I — ispravan rad,
- M — mirovanje — pripravnost,

- P<sub>1</sub> — prekid veze,
- O<sub>2</sub> — prekid traje, čekanje na opravku;
- operativna magistrala ima dva režima rada:

- I — ispravan rad,
- S — rad u uslovima smetnji;
- magistrala u pripravnosti ima samo normalan režim rada;

— operativna magistrala u I režimu ne može otkazati bez prolaza kroz S režim, dok magistrala u pripravnosti prilikom otkaza preskače S režim i otkazuje u potpunosti, a posle popravke radi kao nova;

— operativna magistrala iz S režima postaje operativna kao I<sub>1</sub>, a kada otkaze ide na generalnu popravku, posle čega radi kao nova i smatra se da je u I režimu;

— prelazak iz režima u režim je perfektan i trenutno;

— za sve popravke postoji pribor i prednost se daje operativnoj magistrali. Magistrala u pripravnosti se servisira odvojeno;

— vremena otkaza i popravke su proizvoljne funkcije.

Pod navedenim pretpostavkama sistem mora biti u jednom od sledećih stanja:

- S<sub>0</sub>(I, M) — prva magistrala ispravno radi, a druga je u pripravnosti,
- S<sub>1</sub>(S, M) — prva magistrala je pod smetnjama, a druga je u pripravnosti,
- S<sub>2</sub>(P<sub>s</sub>, I) — prva magistrala ima prekid veza usled pojačanih smetnji, a druga ispravno radi,
- S<sub>3</sub>(I<sub>1</sub>, M) — prva magistrala ispravno radi posle uticaja smetnji, a druga je u pripravnosti,

- $S_4(P, I)$  — prva magistrala ima prekid veze usled kvara, a druga ispravno radi,
- $S_5(I_1, P_1)$  — prva magistrala ispravno radi posle uticaja smetnji, a druga ima prekid veze,
- $S_6(I, P_1)$  — prva magistrala ispravno radi, a druga ima prekid veze,
- $S_7(S, P_1)$  — prva magistrala je pod uticajem smetnji, a druga ima prekid veze,
- $S_8(P_s, P_1)$  — prva magistrala ima prekid veze usled pojačanih smetnji, a druga ima prekid veza,
- $S_9(P, P_1)$  — prva magistrala ima prekid veze usled kvara, a druga ima prekid veza.

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01}P_0(t) - \lambda_{11}P_1(t)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{22}P_2(t)$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = \mu_{29}P_2(t) + \mu_{59}P_5(t) - \lambda_{99}P_9(t)$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{34}P_3(t) - \lambda_{44}P_4(t)$$

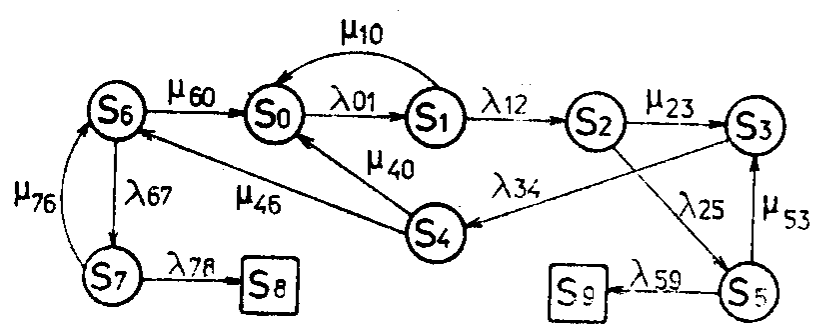
$$\frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{25}P_2(t) - \lambda_{55}P_5(t)$$

$$\frac{dP_6(t)}{dt} = \mu_{46}P_4(t) + \mu_{76}P_7(t) - \lambda_{66}P_6(t)$$

$$\frac{dP_7(t)}{dt} = \mu_{67}P_6(t) - \lambda_{77}P_7(t)$$

$$\frac{dP_8(t)}{dt} = \lambda_{78}P_7(t)$$

$$\frac{dP_9(t)}{dt} = \lambda_{59}P_5(t)$$



Sl. 5 — Dijagram stanja modela sa magistralom u pripravnosti za rad u realnim eksploatacionim uslovima

Relacije koje opisuju prelaze sistema u pojedina stanja su:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_{10}P_1(t) + \mu_{40}P_4(t) + \mu_{60}P_6(t) - \lambda_{00}P_0(t)$$

Primenom Laplasove transformacije dobija se sistem od deset jednačina, koje postaju linearne ako su  $(\lambda_{ij})$  i  $(\mu_{ij})$  konstantni. Na osnovu tih relacija određuju se verovatnoće nalaženja u apsorpcionim stanjima S8 i S9, tj. u stanjima kada sistem ne obavlja željenu funkciju. Sistem jednačina pišemo u matičnom obliku, tako da imamo:  $A L = P$ , gde je A — matrica sistema, L — matrica Laplasovih transformacija, a P — matrica početnih uslova.

$$A = \begin{bmatrix} s + \lambda_{00} & -\mu_{10} & 0 & 0 & -\mu_{40} & 0 & -\mu_{60} & 0 \\ -\lambda_{01} & s + \lambda_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_{12} & s + \lambda_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\mu_{29} & s + \lambda_{99} & 0 & -\mu_{59} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{94} & s + \lambda_{44} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_{25} & 0 & 0 & s + \lambda_{55} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_{46} & 0 & s + \lambda_{66} & -\mu_{76} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{67} & s + \lambda_{77} \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_0(0) \\ P_1(0) \\ P_2(0) \\ P_3(0) \\ P_4(0) \\ P_5(0) \\ P_6(0) \\ P_7(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} L = \begin{bmatrix} L [P_0(t)] \\ L [P_1(t)] \\ L [P_2(t)] \\ L [P_3(t)] \\ L [P_4(t)] \\ L [P_5(t)] \\ L [P_6(t)] \\ L [P_7(t)] \end{bmatrix}$$

Sistem se rešava Kramerovim pravilom, a rešenje za glavnu determinantu i subdeterminante daćemo samo u konačnom obliku.

$$D = (s + \lambda_{00}) (s + \lambda_{11}) (s + \lambda_{22}) (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) (s + \lambda_{55}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76} + \lambda_{01} \{ \lambda_{12}\mu_{23}\lambda_{34}\mu_{40} (s + \lambda_{55}) \lambda_{67} [\mu_{76} - (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77})] + \lambda_{25}\lambda_{34}\mu_{53} [\mu_{40} (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \mu_{40}\mu_{76}\lambda_{67} + \mu_{46}\mu_{60} (s + \lambda_{77})] - \mu_{10} (s + \lambda_{22}) (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) (s + \lambda_{55}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76}] \}$$

Subdeterminante sistema su:

$$D_0 = (s + \lambda_{11}) (s + \lambda_{22}) (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) (s + \lambda_{55}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76}]$$

$$D_1 = \lambda_{01} (s + \lambda_{22}) (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76}]$$

$$D_2 = \lambda_{01}\lambda_{12} (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) (s + \lambda_{55}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76}]$$

$$D_3 = \lambda_{01}\lambda_{12} (s + \lambda_{44}) [\mu_{23}\mu_{76}\lambda_{67} (s + \lambda_{55}) - \mu_{23} (s + \lambda_{55}) (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) + \lambda_{25}\lambda_{67}\mu_{53}\mu_{76} - \lambda_{25}\mu_{53} (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77})]$$

$$D_4 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{34} [-\mu_{23} (s + \lambda_{55}) (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) + \mu_{23}\mu_{67}\lambda_{76} (s + \lambda_{55}) - \lambda_{25}\mu_{53} (s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) + \lambda_{25}\lambda_{67}\mu_{53}\mu_{76}]$$

$$D_5 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{25} (s + \lambda_{33}) (s + \lambda_{44}) [(s + \lambda_{66}) (s + \lambda_{77}) - \lambda_{67}\mu_{76}]$$

$$D_6 = \lambda_{01}\lambda_{12}\mu_{46} (s + \lambda_{77}) [\mu_{23}\lambda_{34} (s + \lambda_{55}) + \lambda_{25}\lambda_{53}\mu_{34}]$$

$$D_7 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{34}\lambda_{67}\mu_{46} [\mu_{23} (s + \lambda_{55}) + \lambda_{25}\mu_{53}]$$

Verovatnoće stanja dobijaju se iz sledećih izraza:

$$P_0(s) = \frac{D_0}{D}, P_1(s) = \frac{D_1}{D}, \dots, P_7(s) = \frac{D_7}{D}$$

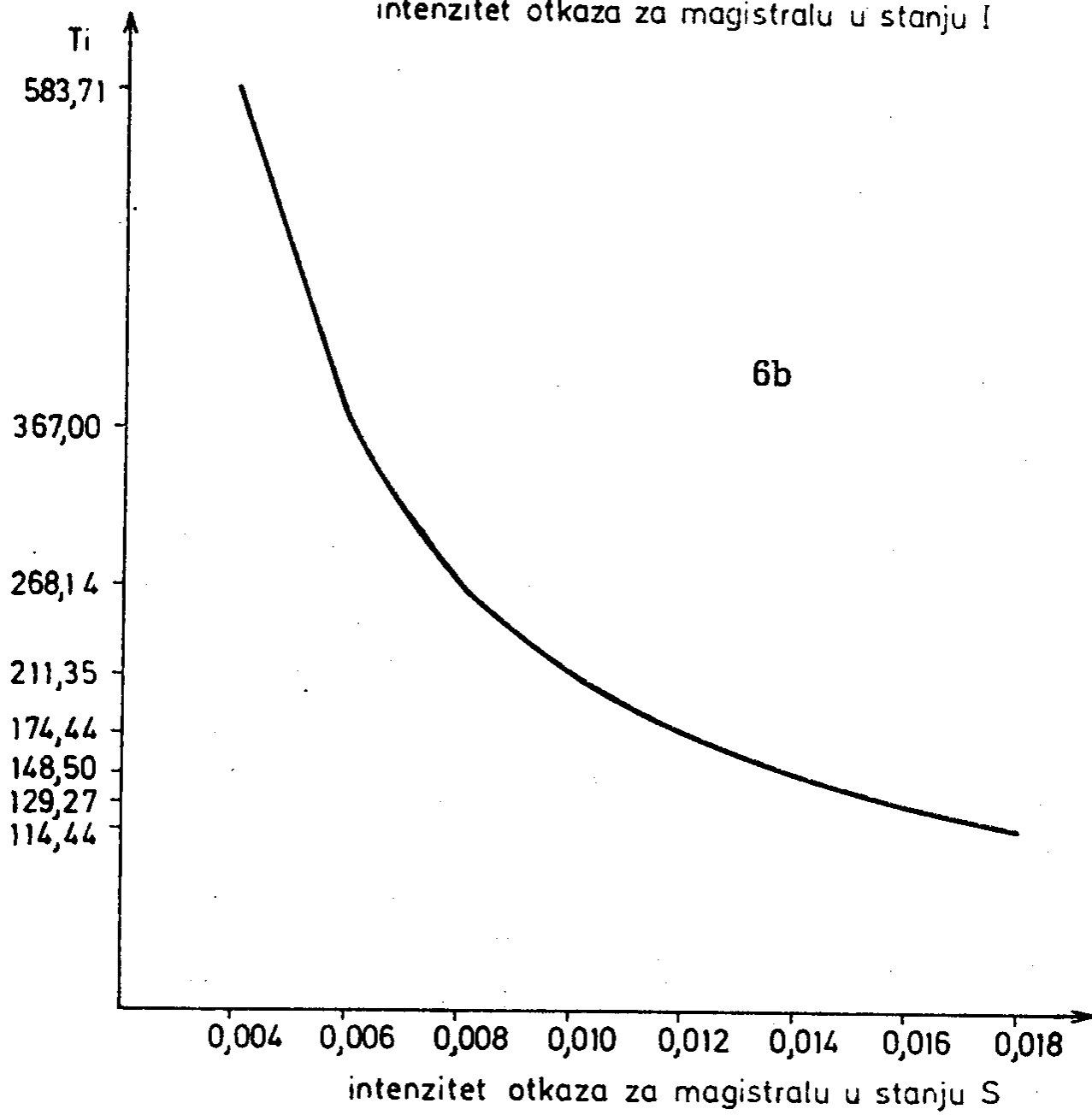
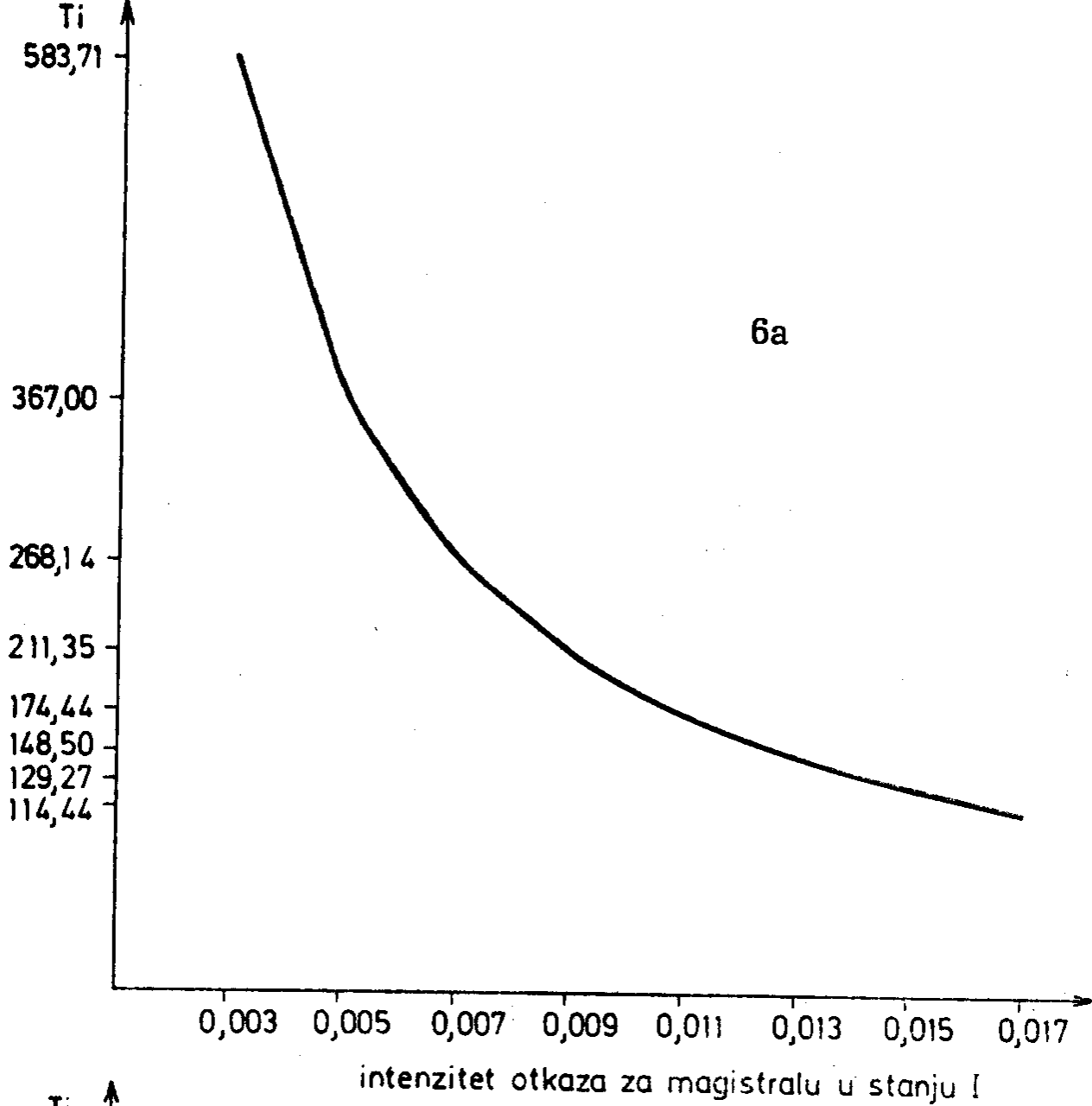
Da bismo iz kompleksnog domena ponovo prešli u vremenski, potrebno je izvršiti inverznu Laplasovu transformaciju:

$$P_0(t) = L^{-1} \left[ \frac{D_0}{D} \right], P_1(t) = L^{-1} \left[ \frac{D_1}{D} \right], \dots, P_7(t) = L^{-1} \left[ \frac{D_7}{D} \right]$$

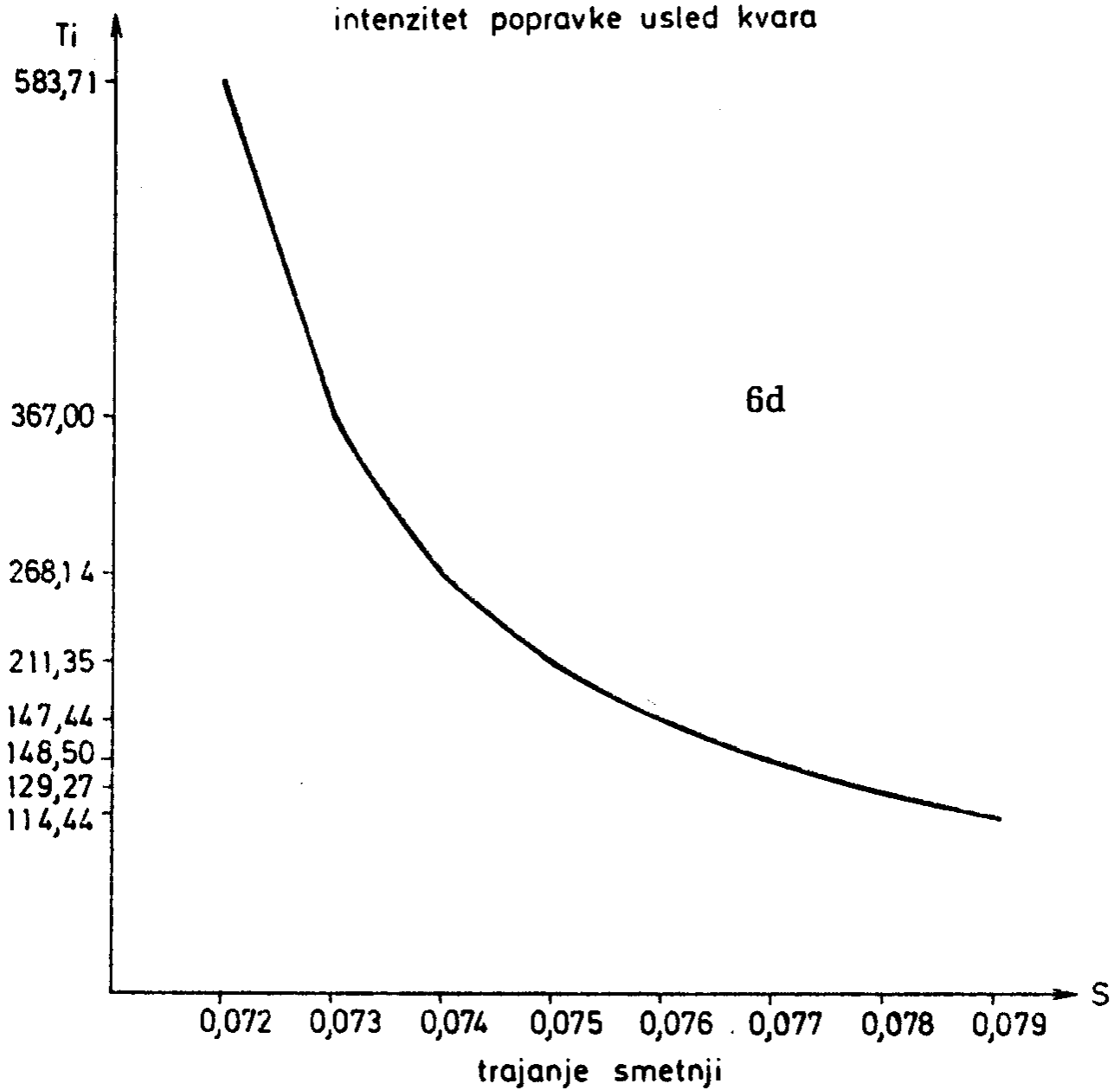
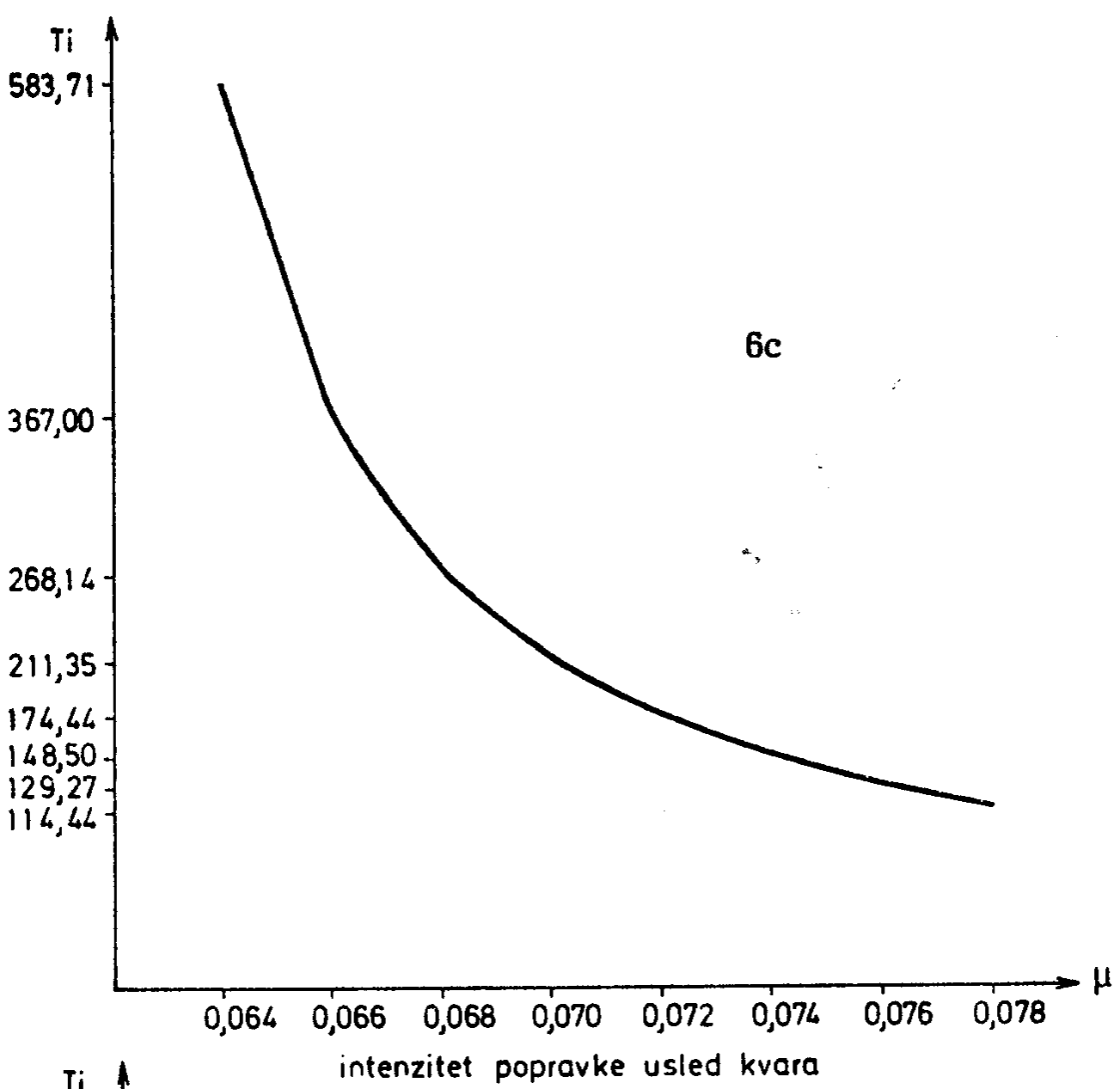
Pouzdanost sistema određuje se kao zbir verovatnoća nalaženja sistema u stanjima S0 do S7, ili kao jedan minus verovatnoća nalaženja u stanjima S8 i S9.

$$R_s(t) = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) \dots + P_7(t)$$

Srednje vreme do otkaza sistema kod redundovanih avionskih magistrala u realnim eksploatacionim uslovima sa-







Sl. 6 — Srednje vreme do prvog otkaza sistema zavisno od intenziteta otkaza, intenziteta popravke i trajanja smetnji

da se izračunava pomoću teoretskog obrasca:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Analiziran je rad sistema sa dve magistrale, od kojih je jedna u pripravnosti, pri čemu se smatralo da su načini otkaza osnovne i redundovane magistrale donekle različiti.

Originalno razvijen model redundovanih vazduhoplovnih magistrala (operativna magistrala sa magistralom u pripravnosti — aktivna redundansa) za rad u realnim eksploatacionim uslovima pruža podatak o srednjem vremenu do prvog otkaza bez ograničenja u pogledu raspodela otkaza i popravki. Program je pogodan za rad i putem menija omogućava izbor režima rada, pruža opšte podatke o sebi i pomoć u radu, zahteva pojedinačno unošenje intenziteta otkaza i vremena opravke u pojedinim režimima rada magistrale kao ulaznih podataka i daje izlazne rezultate tabelarno ili grafički, na ekran ili printer. Izlazni podaci u potpunosti zavise od unesenih podataka i njihova promena daje očekivane promene rezultata, što potvrđuje ispravnost modela i programa.

## Zaključak

Na osnovu rezultata u radu nameće se zaključak da pri izboru sistema veza elektronskog sistema borbenog

aviona nesumnjivu prednost imaju integrisani sistemi sa redundovanim optičkim magistralama ( $A=0,99999999$ ) koje popravljaju raspoloživost celokupnog sistema, smanjuju njegovu težinu, omogućavaju povećanje brzine komunikacije i popravljaju letne sposobnosti aviona i njegove borbene performanse. Integrisani sistemi sa žičanim magistralama podataka su nešto lošije rešenje ( $A=0,9971187$ ), dok bi primenu neintegrisanih elektronskih sistema ( $A=0,78562406$ ) — koji, pored ostalih nedostataka, smanjuju i raspoloživost elektronskih sistema aviona — trebalo izbegavati.

Ovi rezultati su još interesantniji kada se uporede sa rezultatima modela za analizu uticaja elektromagnetske interferencije na prenos podataka magistralom. Pri normalnim uslovima pojavljivanja smetnji i prosečnom udaru groma raspoloživost elektronskog sistema aviona pada na  $A=0,926829$ , a u uslovima velike verovatnoće udara groma — raspoloživost integrisanog elektronskog sistema iznosi samo  $A=0,680795$ .

Model i program koji tretiraju redundovane magistrale u realnim eksploatacionim uslovima, a daju podatke o srednjem vremenu do prvog otkaza i njegovu zavisnost od ulaznih parametara — zaokružuju celinu rada. Unošenjem realnih parametara kao ulaznih veličina u ovaj program, projektanti mogu doći do mnoštva korisnih podataka, s obzirom na to da izlazni podaci zavise od brojnih ulaznih parametara.

## Literatura:

- [1] N. Parčina: »Integracija avionskih sistema na savremenom borbenom avionu«, Glasnik RV i PVO, br. 6, str. 39—45, dec. 1991.
- [2] B. C. Wheeler: »Modern american fighters and attack aircraft« London, Salamander book, 1980.
- [3] B. Guston: »Modern air combat«, London, Salamander book; 1983.
- [4] D. R. Morgan: »Pave Pace: System avionics for the 21st century« IEEE AES Magazine; January 1989.
- [5] G. Ivanović, P. Todorović: »Alokacija pouzdanosti u projektovanju borbenog aviona«, Glasnik RV i PVO, br. 3, str. 17—22, maj 1991.
- [6] N. Parčina, R. Ramović i dr.: »Povećanje raspoloživosti elektronskog sistema savremenih letelica pogodnim projektovanjem veza za prenos podataka«, ETAN, 1992.
- [7] Dokumentacija programa za analizu pouzd. složenih sistema Institut »B. Kidrič«, Vinča; 1987.
- [8] D. C., Pinkowitz: »MIL-STD-1553 The military standard for avionics integration«, DDC Application Notes; № 26; March 1984.
- [9] DDC: »MIL-STD-1553 Desinger's guide«.
- [10] C. A. Clark: »Avionics electromagnetic interference immunity and environment«, IEEE; № 8; 1986.

- [11] A. Lockyer: »Electromagnetic compatibility modeling for future avionics systems«, IEEE; № 9; 1986.
- [12] Eismín: »Aircraft electricity and electronics« McGraw Hill; New York; 1989.
- [13] R. Ramović, N. Parčina i dr.: »Povećanje raspoloživost elektronskih sistema savremenih letelica integrisanjem sistema i primenom optičkog vlakna kao magistrale za prenos podataka«, VTG 3/92, 248-255.
- [14] M. Relis: »Military Avionics LANs Point Toward Fiber Optics« Defense electronic; № 47; Oct 1983.
- [15] R. Ramović, N. Parčina i dr.: »Povećanje raspoloživosti elektronskog sistema savremenih letelica primenom optičkog vlakna kao magistrale za prenos podataka«, ETAN, 1992.
- [16] Jinhua Cao i dr.: »Reliability analysis of a two-unit cold standby system with replaceable repair facility«, Microelectronic Reliability; V. 29, №2.; 1989.
- [17] Mokaddis, El-Said: »Two models for two dissimilar unit cold standby redundant system with partial failure and two types of repairs«. Microelectronic Reliability; V. 30, №3; 1990.
- [18] M. Janković, R. Ramović, N. Parčina i dr.: »Modelovanje pouzdanosti magistrala za prenos podataka na vazduhoplovima«, ETAN, 1993.