

KOMBINOVANI UTICAJ FAZNOG ŠUMA I KANALNIH INTERFERENCIJA NA PRENOS BPSK SIGNALA KROZ NELINEARNI SATELITSKI TELEKOMUNIKACIONI SISTEM – NUMERIČKI REZULTATI

Goran T. Đorđević, *Elektronski fakultet u Nišu*

Sadržaj – Na osnovu detaljne analize satelitskog telekomunikacionog sistema za prenos BPSK (Binary Phase-Shift Keying) signala, koji se sastoji od fiksne predajne zemaljske stanice, neregenerativne geostacionarne satelitske stanice i fiksne prijemne zemaljske stanice, predstavljene u radu [1], napravljen je simulaciono-numerički model čiji su rezultati sa odgovarajućim komentarima prikazani u ovom radu.

1. UVOD

Generalno govoreći, bilo koji naučno-istraživački rad u oblasti Telekomunikacija trebalo bi kao cilj da ima konkretni proizvod. Polazeći sa tog stanovišta, istraživanje se može podeliti u nekoliko, relativno odvojenih, ali ipak suštinski povezanih celina. Prva faza se sastoji u sagledavanju određenog problema i “rađanju” ideje za njegovo rešavanje, što je izuzetno bitno, ali nikako ne treba zanemariti važnu činjenicu da od dobre ideje do njene realizacije obično protekne relativno dug vremenski period. Ideja, čak i da je izuzetno svrsishodna, sama za sebe, skoro da ne mora da znači ništa! Nakon prve, sledi druga faza istraživanja koja se sastoji u primeni matematičkog aparata u rešavanju konkretno definisanog problema, koja se skoro neminovno završava primenom numeričkih postupaka za dobijanje konkretnih rezultata. Treća faza, koja je izuzetno postala aktuelna sa pojavom moćnih računara, je primena simulacionih tehnika za simulaciju određenog procesa pomoću računara u cilju potvrde rezultata dobijenih u drugoj fazi. Štaviše, ukoliko je u posmatranom sistemu prisutno relativno mnogo efekata, u drugoj fazi proučavanja vrlo teško je doći do konkretnih rezultata, čak i ako je na raspolaganju izuzetno efikasan numerički aparat. Dakle, pogotovo u složenim sistemima u kojima je primenjeno kodovanje neminovna je primena simulacionih metoda, čemu, kao i razvoju numeričkog aparata, treba posvetiti izuzetno veliku pažnju, pogotovo, ako se radi o modelovanju slučajnih procesa. Imajući u vidu sve veće usložnjavanje telekomunikacionih sistema sa jedne, i opravdane zahteve da se sa što manje materijalnog ulaganja dođe do konkretnog proizvoda sa druge strane, može se reći da su simulaciono-numerički metodi postali u istoj meri značajni kao i analitičko-numerički. Ukoliko se rezultati dobijeni analitičko-numeričkim metodima i oni dobijeni simulacionim metodima (mada vrlo često, oni se međusobno dopunjuju i simultano koriste pri radu, kao što je baš ovde slučaj) poklope, pristupa se izradi laboratorijskog prototipa određenog proizvoda-sistema, što predstavlja četvrtu fazu rada, iz koje se, pod predpostavkom da se i ona uspešno okonča, prelazi u završnu fazu – publikovanje naučno-istraživačkog rada i/ili patentiranje određenog proizvoda, koji bi trebalo da se nakon toga serijski proizvodi i zaživi u praksi. Izuzetno jasan

pregled o značaju modelovanja telekomunikacionih sistema i načinima njihove analize može se naći u [2-5].

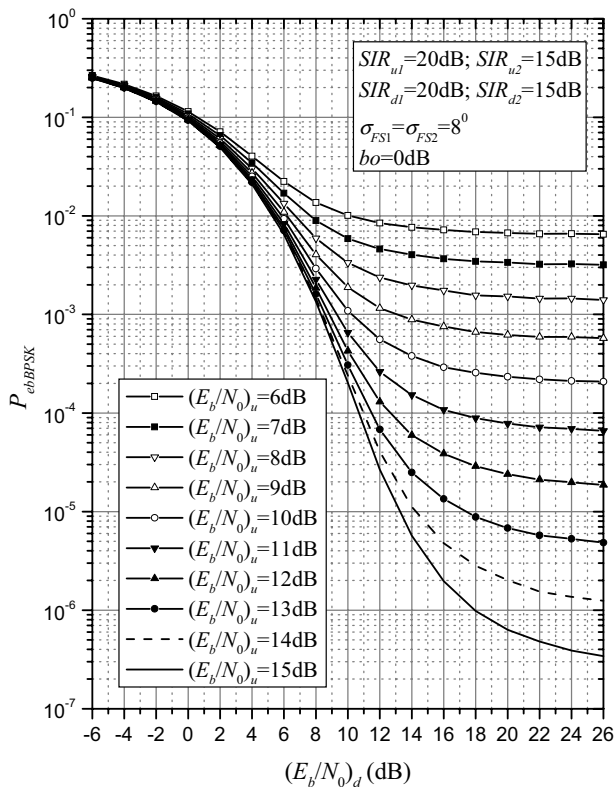
Ukoliko je potrebno uložiti velika materijalna sredstva za odgovarajući laboratorijski eksperiment, rezultati koji se dobijaju primenom numeričko-simulacionih metoda su utoliko značajniji. Doprinos ovog rada je u prikazanim numeričkim rezultatima za procenu performansi satelitskog telekomunikacionog sistema, detaljno opisanog u radu [1].

2. NUMERIČKI REZULTATI I KOMENTAR

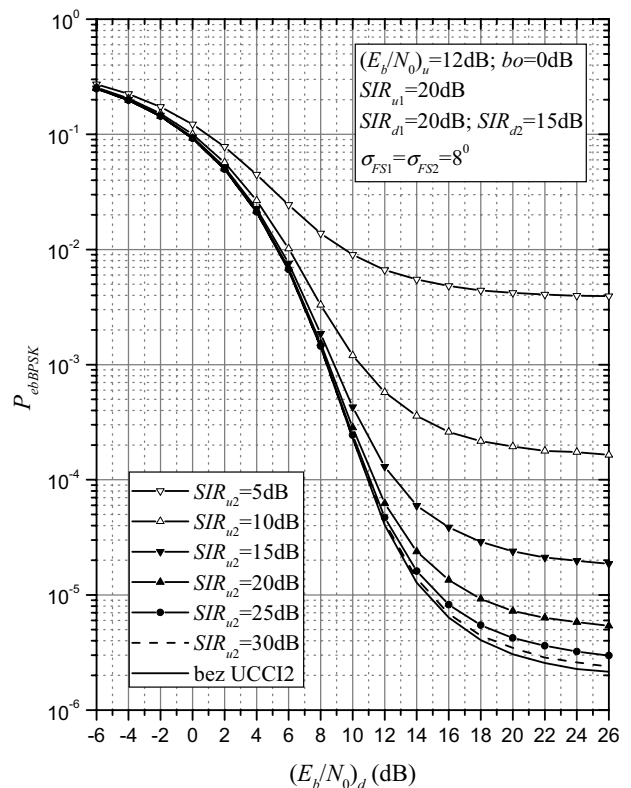
Rezultati su dobijeni Monte Carlo simulacijom u kojoj je korišćeno maksimalno $2^{31}-1$ bita, a minimalan broj bita koji je korišćen prilikom procene bilo koje vrednosti verovatnoće greške je 10^7 . Kriterijum izlaska iz petlje je bio 10000 grešaka. Kao ulazni parametar prilikom generisanja odmeraka Gaussovog šuma korišćena je standardna devijacija šuma [1, izraz 15], koja je dobijena numeričkom integracijom primenom kvadraturnih formula Gaussovog tipa, [6], u kojima je povećavan broj čvorova i težinskih koeficijenata sve dok se nije postigla prethodno zadata tačnost.

Osnovni parametri koji utiču na performanse sistema su: odnos energija korisnog signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž uzlazne deonice ($(E_b/N_0)_u$), odnos energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice ($(E_b/N_0)_d$), odnos snaga korisnog signala i jedne kanalne interferencije duž uzlazne deonice (SIR_{u1}), odnos snaga korisnog signala i druge kanalne interferencije duž uzlazne deonice (SIR_{u2}), odnos snaga signala i jedne kanalne interferencije duž silazne deonice (SIR_{d1}), odnos snaga signala i druge kanalne interferencije duž silazne deonice (SIR_{d2}), back-off pojačavača velike snage u satelitskoj stanici (bo), standardna devijacija (σ_{FS1}) faznog šuma lokalnog oscilatora u satelitskoj stanici, standardna devijacija (σ_{FS2}) faznog šuma referentnog nosioca u prijemnoj zemaljskoj stanici.

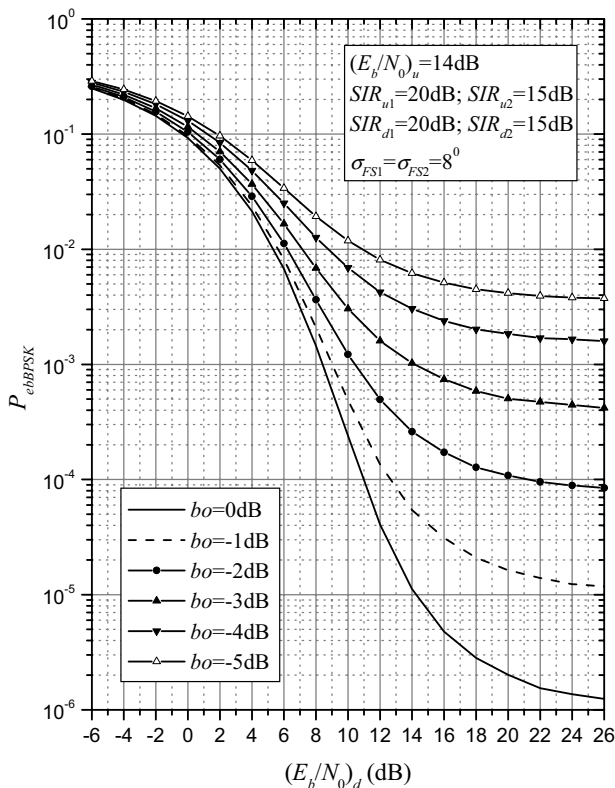
Zavisnosti verovatnoće greške (P_{ebBPSK}) pri detekciji BPSK signala od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice prikazane su na slikama 1 do 6. Druga kanalna interferencija duž uzlazne deonice je označena sa UCCI2 na slici 3, a druga kanalna interferencija duž silazne deonice sa DCCI2 na slici 4. Sa ovih slika jasno se može videti uticaj svakog od navedenih parametara na verovatnoću greške. Sa slike 3 i 4 jasno se vidi u kojoj meri su performanse sistema pogoršane zbog depolarizacionog preslušavanja (kako je naglašeno u [1], druga kanalna interferencija duž uzlazne tj. silazne deonice je model ovog fenomena), a ovo depolarizaciono preslušavanje je u vezi sa vrstom primenjene polarizacije, atmosferskim uslovima, učestanošću signala, arhitekturom prijemnika itd, [7-9]. Vrlo je značajno zapaziti i zaravnjenja karakteristika, jer su ona pokazatelj do koje vrednosti ima smisla povećavati snagu signala u kanalu u kojem je prisutna kanalna interferencija



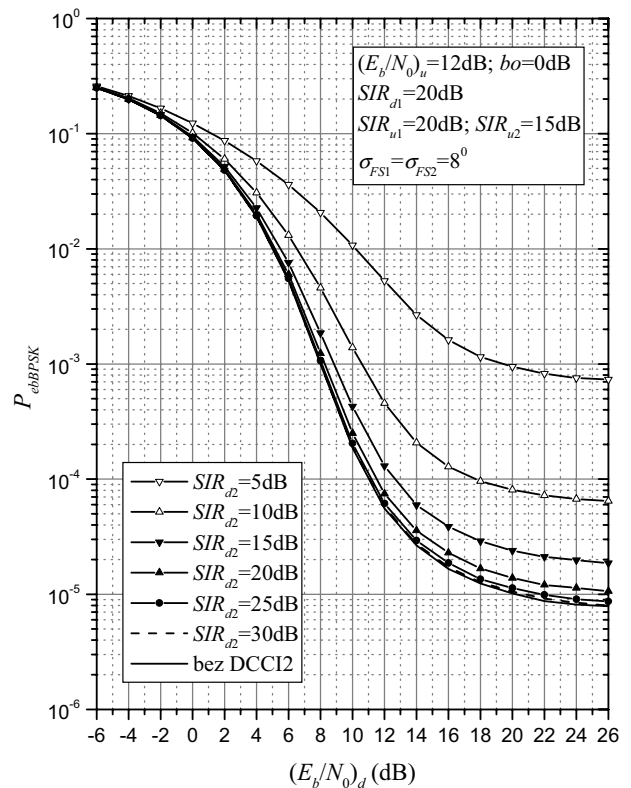
Sl. 1. Zavisnost verovatnoće greške od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž uzlazne deonice



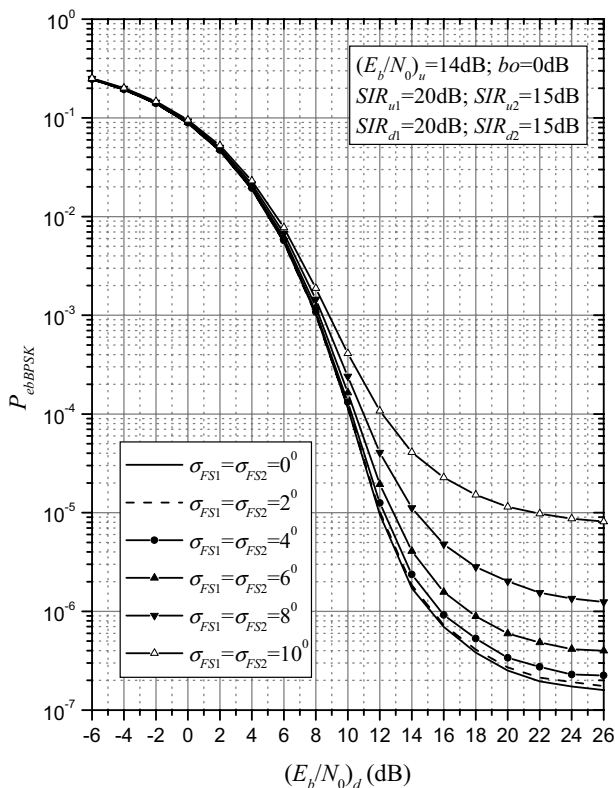
Sl. 3. Zavisnost verovatnoće greške od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti odnosa snaga signala/snaga jedne kanalne interferencije duž uzlazne deonice



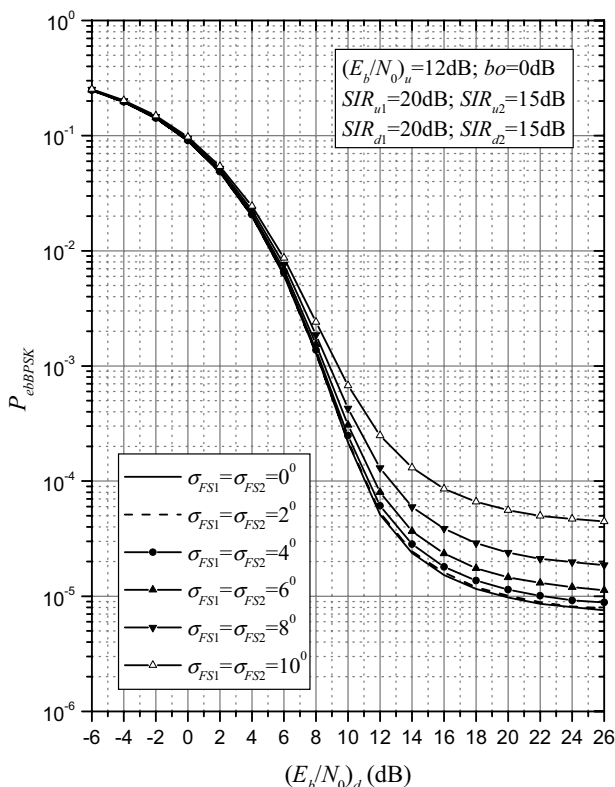
Sl. 2. Zavisnost verovatnoće greške po bitu od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti backoff-a pojačavača



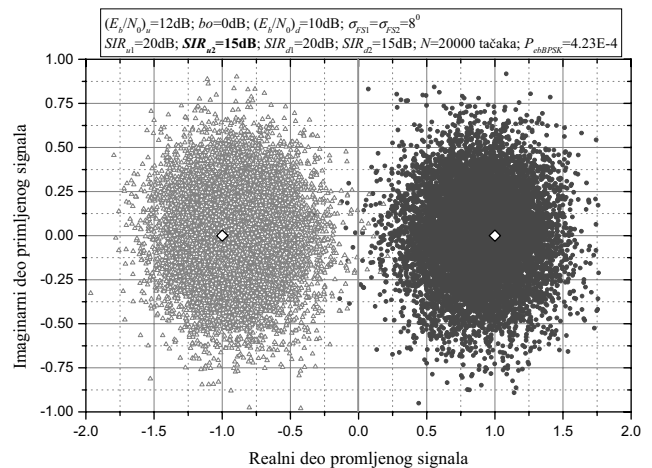
Sl. 4. Zavisnost verovatnoće greške od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti odnosa snaga signala/snaga jedne kanalne interferencije duž silazne deonice



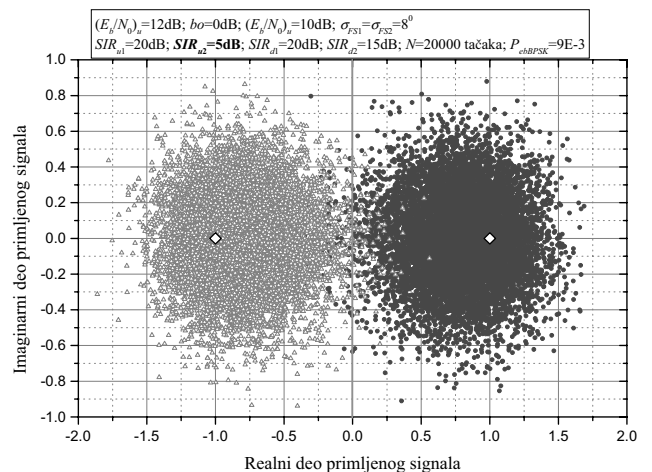
Sl. 5. Zavisnost verovatnoće greške po bitu od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti standardne devijacije faznog šuma



Sl. 6. Zavisnost verovatnoće greške po bitu od odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž silazne deonice za različite vrednosti standardne devijacije faznog šuma



Sl. 7. Konstelacioni dijagram primljenog signala



Sl. 8. Konstelacioni dijagram primljenog signala

određene snage. Slike 5 i 6 prikazuju uticaj faznih šumova lokalnog oscilatora na satlitu i referentnog nosioca u prijemnoj zemaljskoj stanici na performanse sistema. Uticaj ovog faznog šuma je specificiran pomoću svoje standardne devijacije i određene su performanse sistema, što dalje pruža mogućnost da se izvrši projektovanje lokalnog oscilatora na satelitu i regeneracionog dela prijemnika u prijemnoj zemaljskoj stanici uz uslov da unapred specificirana vrednost standardne devijacije šuma ne bude premašena. Poređenjem slika 5 i 6 dolazi se do zaključka da fazni šum manje utiče na verovatnoću greške ukoliko je odnos energija signala po bitu/spektralna gustina snage šuma duž uzlazne deonice manji, ali u tom slučaju je i sama vrednost verovatnoće greške manja. Uticaj faznog šuma lokalnog oscilatora na satelitu i referentnog nosioca u prijemnoj zemaljskoj stanici može se sagledati sa slike 5, gde se recimo za vrednost $(E_b/N_0)_d = 14\text{dB}$, verovatnoća greške povećava od $7.26 \cdot 10^{-7}$ do $2.30 \cdot 10^{-5}$ ako se standardne devijacije faznih šumova povećaju od 2^0 do 10^0 . Uticaj šuma i međupolarizacionog preslušavanja duž uzlazne deonice može se dodatno sagledati iz tabela 1 i 2.

Tabela 1

Numeričke vrednosti verovatnoće greške za različite vrednosti odnosa energija signala po bitu/spektralna gustina snage duž uzlazne deonice ($(E_b/N_0)_d=14\text{dB}$; $SIR_{u1}=20\text{dB}$; $SIR_{u2}=15\text{dB}$; $SIR_{d1}=20\text{dB}$; $SIR_{d2}=15\text{dB}$; $bo=0\text{dB}$; $\sigma_{FS1}=\sigma_{FS2}=8^0$)

$(E_b/N_0)_d(\text{dB})$	15	13	11	9	7
P_{ebBPSK}	$5.7 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$8.9 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$

Tabela 2

Numeričke vrednosti verovatnoće greške za različite vrednosti odnosa snaga signala/snaga druge kanalne interferencije duž uzlazne deonice ($(E_b/N_0)_u=12\text{dB}$; $(E_b/N_0)_d=14\text{dB}$; $SIR_{u1}=20\text{dB}$; $SIR_{u2}=15\text{dB}$; $SIR_{d1}=20\text{dB}$; $SIR_{d2}=15\text{dB}$; $bo=0\text{dB}$; $\sigma_{FS1}=\sigma_{FS2}=8^0$)

$SIR_{u1}(\text{dB})$	25	20	15	10	5
P_{ebBPSK}	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$5.5 \cdot 10^{-3}$

3. ZAKLJUČAK

Doprinos rada predstavlja razvijen vrlo efikasan simulaciono-numerički aparat za procenu performansi satelitskog telekomunikacionog sistema, pomoću kojeg su dobijeni i prikazani numerički rezultati koji opisuju performanse razmatranog sistema, čija je analiza izvršena u [1]. Date su i prokomentarisane zavisnosti verovatnoće greške od različitih parametara satelitskog sistema (slike 1 do 6) i ustanovljeno je u kojoj meri svaki od parametara pogoršava performanse sistema. Data su i dva konstelaciona dijagrama (slike 7 i 8) signala na prijemu za navedene vrednosti parametara sistema.

Analiza sprovedena u radu [1], čiji su rezultati prikazani ovde, važi za prenos različitih tipova digitalnih signala u fiksnim satelitskim sistemima (telefonski signal, faksimil, razne vrste podataka, video, televizijski, radio signal itd.). U zavisnosti od vrste signala koji se prenosi, različiti su i kriterijumi koji se tiču vrednosti verovatnoće greške koja treba biti postignuta u sistemu, [9] što dalje zavisi od parametara sistema navedenih u radu, a oni su u vezi sa konkretnom realizacijom delova sistema. Razvijeni numeričko-simulacioni model na ovom mestu primenjen je na jednokanalnom satelitskom sistemu, ali vrlo lako se može primeniti i za višekanalne sisteme.

Prilikom simulacije korišćen je relativno veliki broj bita uz vrlo stroge uslove, navedene u prethodnom delu teksta. Simulacije su urađene primenom standardnog programskog paketa *Digital Visual Fortran 6*, a izvršavane su na personalnom računaru sa Intelovim procesorom brzine 1.8GHz i RAM-om od 256MB.

LITERATURA

- [1] M. Marković, G. T. Đorđević, A. Mitić, "Kombinovani uticaj faznog šuma i kanalnih interferencija na prenos BPSK signala kroz nelinearni satelitski telekomunikacioni sistem – analiza sistema", rad podnet za prezentovanje na konferenciji *ETRAN 2005*, 5-10 jun, Budva, SCG.
- [2] D. B. Drajić, *Uvod u Statističku teoriju telekomunikacija*, Akademska misao, Beograd, 2003.
- [3] D. B. Drajić, "Modelling and a Real (?) World in Communications", *6th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS 2003)*, Proceedings of Papers, Volume 2, pp. 409-416, Nis, Serbia and Montenegro, October 1-3, 2003.
- [4] M. C. Jeruchim, P. Balaban, K. Sam Shanmugan, *Simulation of Communication Systems, second edition*, Kluwer Academic – Plenum Publishers, New York, 2000.
- [5] J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary Communication Systems using MATLAB*, Brooks-Cole, USA, 2000.
- [6] G. V. Milovanović, *Numerička analiza II deo*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [7] G. Lukatela, D. Drajić, G. Petrović, R. Petrović, *Digitalne telekomunikacije*, Građevinska knjiga, Beograd 1983.
- [8] I. M. Kostić, *Digitalni telekomunikacioni sistemi 1*, Naučna knjiga, Beograd, 1994.
- [9] *Handbook on Satellite Communications, third edition* ITU, A John Wiley & Sons, Inc., Geneva, 2002.

Abstract – On the basis of the detailed analysis (presented in [1]) of the satellite communication system (consisting of two fixed ground stations and no regenerative geostationary satellite station) for BPSK (Binary Phase-Shift Keying) signal transmission, we develop very flexible and accurate numerically-simulation model which some results with appropriate comments are presented in this paper.

COMBINED INFLUENCE OF PHASE NOISE AND CO-CHANNEL INTERFERENCES ON BPSK SIGNAL TRANSMISSION OVER NON-LINEAR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM – NUMERICAL RESULTS

Goran T. Đorđević