



**UNIVERZITET U NIŠU**  
**ELEKTRONSKI FAKULTET**



**Branimir S. Jakšić**

**RAZMATRANJE KARAKTERISTIKA  
MOBILNOG PRIJEMNIKA U ČELIJSKOM  
SISTEMU U PRISUSTVU OPŠTIH OBLIKA  
SMETNJI**

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

**Niš, 2015.**



UNIVERSITY OF NIŠ

FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING



**Branimir S. Jakšić**

**CHARACTERISTIC ANALYSIS OF MOBILE  
RECEIVER OPERATING IN CELLULAR  
SYSTEM IN THE PRESENCE OF GENERAL  
TYPES OF DRAWBACKS**

**DOCTORAL DISSERTATION**

**Niš, 2015.**

---

## PODACI O MENTORU I ČLANOVIMA KOMISIJE

***Mentor:*** prof. dr Mihajlo Stefanović, Elektronski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu

***Komisija za odbranu disertacije:***

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

***Datum odbrane:***

---

## PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

*Naslov:* Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji

*Broj stranica:* 156

*Broj slika:* 53

*Broj tabela:* 2

*Broj bibliografskih jedinica:* 109

*Naučna oblast:* Telekomunikacije

*UDK broj:*

### *Rezime:*

U doktorskoj disertaciji razmatrane su karakteristike mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu. Razmatran je uticaj brzog fedinga, sporog fedinga i međukanalne interferencije na performanse mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu. Analizirane su statističke karakteristike makrodiverziti sistema sa jednim makrodiverziti i tri mikrodiverziti kombinera. Dobijeni su izrazi za statističke karakteristike prvog i drugog reda za mobilni prijemnik. Na osnovu izračunatih izraza iscrtani su grafici promena statističkih karakteristika u zavisnosti od parametara bitnih za prijem signala. Na osnovu grafika analiziran je njihov uticaj na kvalitet prenosa signala u ćelijskim mobilnim sistemima. Dobijeni rezultati mogu se upotrebiti pri simulaciji i projektovanju telekomunikacionih mobilnih sistema u realnom okruženju.

U drugoj glavi date se osnovne karakteristike mobilnih ćelijskih sistema i karakteristike prenosa kroz radio kanale. Takođe, dat je pregled osnovnih smetnji koje se javljaju u ćelijskim mobilnim sistemima, kao i raspodele kojima se opisuju korisni signali, modeli fedinga i interferencije u mobilnim sistemima. Osnovne smetnje u bežičnim telekomunikacionim sistemima su Gausov šum, spori feding, brzi feding i razne

---

interferencije. Date su osnovne osobine Gausovog šuma, kao i karakteristike Rejljeve, Rajsove, Nakagami- $m$ , Veibulove, Nakagami- $q$ ,  $\alpha$ - $\mu$ , Gama,  $k$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  i  $\eta$ - $\mu$  raspodele, kao i međukanalne interferencije.

U trećoj glavi razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC (selection combining) prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Na ulazima je prisutan brzi  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Određen je srednji broj osnih preseka i kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive, kao i srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika i na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva mikrodiverziti SC prijemnika. Izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika, kao i gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti SC prijemnika. Dobijeni rezultati su grafički predstavljeni: srednji broj osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, kumulativna verovatnoća signala  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ , srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ , srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva SC mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, dubine osenčenosti kanala  $c$  i broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal. Na kraju su dati grafici gustine verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri SC mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, dubine osenčenosti kanala  $c$  i broja klastera  $\mu$ .

U četvrtoj glavi razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti selektivnim prijemnikom SC (selection combining) i tri mikrodiverziti MRC (maximum ratio combining) prijemnika. Na ulazima u mikrodiverziti MRC prijemnike prisutan je nezavisni  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Za signal na izlazu iz makrodiverziti sistema izračunati su: gustina verovatnoća, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability). Na osnovu dobijenih izraza iscertani su i analizirani grafici promene gustine verovatnoće signala za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ , kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ , momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera i snage signala, kao i srednja verovatnoća greške po bitu signala za koherentnu digitalnu faznu modulaciju (CPSK), koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (CFSK), difrenecijalnu digitalnu faznu modulaciju (DPSK) i nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (NFSK).

---

Peta glava se odnosi na makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti EGC (equal gain combiner) prijemnika. Mikrodiverziti EGC prijemnici imaju po dva ulaza. Na ulazima je prisutan nezavisni  $k$ - $\mu$  feding.  $k$ - $\mu$  feding je identičan. Na ulazima u sve tri bazne stanice prisutan je korelisan Gama feding. Određeni su momenti na izlazu iz makrodiverziti sistema. Na osnovu prikazanih grafika je analiziran uticaj koeficijenta korelacije  $\rho$ , Rajsovog  $k$  faktora, broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala na momente prvog, drugog i trećeg reda i kvalitet prijema signala.

U šestoj glavi razmatraju se statističke karakteristike signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interferencije. Razmatran je slučaj kada je na ulazima prisutna interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom, a korisni signal Veibulovom,  $\alpha$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  i  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  raspodelom. Za sve slučajeve je određena gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika. Na osnovu grafika je analiziran uticaj nelinearnosti sredine i broja klastera kroz koji se prostire signal na kvalitet prenosa. Takođe, razmatran je i slučaj kada je  $k$ - $\mu$  raspodelom opisan i korisni signal i interferencija. Analitički i grafički su predstavljene srednji broj osnih preseka za proizvod i količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.

U sedmoj glavi razmatra se srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri SC mikrodiverziti kombinera i jednim makrodiverziti SC kombinerom. Na ulazima u bazne stanice je prisutan brzi  $\alpha$ - $\mu$  i spori Gama feding. Dobijeni analitički rezultati su grafički predstavljene na osnovu kojih je analiziran uticaj broja klastera kroz koji se prostire signal, dubine osnečenosti kanala, korelisanost i nelinearnost sredine na prijem signala u ćelijskom sistemu.

***Cljučne reči:***

makrodiverziti prijemnik, mikrodiverziti prijemnik,  $k$ - $\mu$  feding, srednja verovatnoća greške po bitu, kumulativna verovatnoća, srednji broj osnih preseka, momenti, koeficijent korelacije, Rajsov  $k$  faktor, broj klastera

---

## INFORMATION ABOUT THE DOCTORAL DISSERTATION

**Title:** Characteristic analysis of mobile receiver operating in cellular system in the presence general types of drawbacks

**Number of pages:** 156

**Number of figures:** 53

**Number of tables:** 2

**Number of bibliographic items:** 109

**Scientific field:** Telecommunications

**UDC:**

### **Summary:**

In this doctoral dissertation the characteristics of the mobile receiver in a cellular system have been considered. The influence of fast fading, slow fading and co-channel interference on the performance of the mobile receiver in a cellular system has been analyzed. The statistical characteristics of macrodiversity system with one macrodiversity and three microdiversity combiner is analyzed. Expressions for the statistical characteristics of the first and second order for a mobile receiver are obtained. On the basis of the calculated expression graphics are plotted, presenting statistical characteristics versus the system parameters important for the reception of signal. Based on the graphics the impact on the quality of signal transmission in cellular mobile systems was analyzed. Obtained results can be used in the process of simulation and design of real-world environments mobile telecommunication systems.

In the second chapter an overview of the main drawbacks that occur in cellular mobile systems has been presented, as well as the distributions used to describe the useful signals, fading and interference models in mobile systems. Basic drawbacks in wireless telecommunication systems are Gaussian noise, slow fading, fast fading and various

---

interferences. Main features of Gaussian noise are provided, as well as the characteristics of Rayleigh, Ricean, Nakagami- $m$ , Weibul, Nakagami- $q$ ,  $\alpha$ - $\mu$ , Gamma,  $k$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  and  $\eta$ - $\mu$  distribution and the channel interferences.

The third chapter reviews the makrodiversity system with macrodiversity SC (selection combining) receiver and two and three microdiversity SC receiver. At its inputs occurrence of fast  $k$ - $\mu$  fading and slow Gamma fading have been observed. The level crossing rate and the cumulative probability of  $k$ - $\mu$  random variables, level crossing rate signals at the output of microdiversity SC receiver and level crossing rate of the signals at the output of macrodiversity system with two microdiversity SC receivers were calculated. The probability density of the signal at the output microdiversity SC receiver and the probability density of the signal at the output of macrodiversity system with three microdiversity SC receivers were also calculated. Obtained results are graphically presented: the level crossing rate of  $k$ - $\mu$  random variable depending on the different values of Ricean  $k$  factor, the cumulative probability of  $k$ - $\mu$  random variables for different values of Ricean  $k$  factor and for the number of clusters  $\mu$ , level crossing rate of the signals at the output of microdiversity receiver for different values of Ricean  $k$  factor and for the number of clusters  $\mu$ , the level crossing rate of the signals at the output of macrodiversity system with two SC microdiversity receiver for different values of Ricean  $k$  factor, shadowing severity  $c$  and the number of clusters  $\mu$  through which signal propagates. Finally, probability density signal at the output of macrodiversity system with three SC microdiversity receivers for different values of Ricean  $k$  factor, depth of shading channel  $c$  and number of clusters  $\mu$  are graphically presented.

In the fourth chapter macrodiversity system with macrodiversity SC (selection combining) receiver and three microdiversity MRC (maximum ratio combining) receiver has been discussed. At the inputs of the MRC microdiversity receivers occurrence of independent  $k$ - $\mu$  fast fading and slow Gamma fading has been considered. For the signal at the output of the macrodiversity system were calculated: the probability density function, cumulative distribution function, characteristic function, moments, channel capacity and the ABER - Average Bit Error Probability over various modulation schemes. Based on the obtained expressions graphics are plotted and analyzed in the function of system parameters, i.e. probability density function of signals versus different values of the number of propagation clusters  $\mu$ ; the cumulative probability of the signal at the output of macrodiversity system versus different values of Ricean  $k$  factor and the number of propagation clusters  $\mu$ ; moments of the output signal from macrodiversity system versus the number of clusters, and ABER for



---

Coherent Phase Shift Keying (CPSK), Coherent Frequency Shift Keying (CFSK), Differential Phase Shift Keying (DPSK) and Non-Coherent Frequency Shift Keying (NFSK).

The fifth chapter is related to the macrodiversity system with macrodiversity SC receiver, two and three microdiversity the EGC (equal gain Combiner) receiver. Microdiversity EGC receivers have two inputs. At the inputs of the receiver an independent, identical  $k$ - $\mu$  fading is present. At the inputs of all of the three base stations long-term Gamma correlated fading is also present. The moments at the output of the macrodiversity system were calculated. Based on the graphic is analyzed the impact the correlation coefficient  $\rho$ , Ricean  $k$  factor, the number of clusters  $\mu$  and shadowing severity, on the first moment, on the second moment and on the third moment and on the reception quality.

In the sixth chapter statistical characteristics of the signal at the output of microdiversity SC receiver with two inputs in the presence of the useful signal and interference are considered. The cases when interference, described  $k$ - $\mu$  distribution, and useful signal described with Weibul,  $\alpha$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  and  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  distribution are analyzed. For all cases probability density function and the cumulative distribution function of the signal at the output of the SC receiver were derived. Based on the graphics, the influence nonlinearity environment and the number of clusters through which extends signal on the transmission quality is analyzed. Also, the case when the  $k$ - $\mu$  distribution described and useful signal and interference is observed. Analytically are obtained and graphically presented expressions for the level crossing rate for the product and ratio of two  $k$ - $\mu$  random variables.

Seventh chapter discusses the level crossing rate signal at the output of macrodiversity system with three SC microdiversity combiner and one macrodiversity SC combiner. At the inputs of the base station is present fast  $\alpha$ - $\mu$  fading and slow Gamma fading. The obtained analytical results are presented graphically. Based on the graphics, the impacts of the number of clusters through which signal propagates, shadowing severity, correlation level and the non-linearity of propagation environment on the reception signal in a cellular system are analyzed.

***Key Words:***

macrodiversity receiver, microdiversity receiver,  $k$ - $\mu$  fading, average bit error probability, cumulative probability, level crossin rate, moments, correlation coefficient, Ricean  $k$  factor, number of clusters

---

## PREGLED SLIKA

**Slika 2.1:** Sistem pokrivenosti ranijih mobilnih radio-komunikacionih sistema.

**Slika 2.2:** Arhitektura pokrivenosti korišćenjem ćelijskog sistema.

**Slika 2.3:** Struktura ćelijskog sistema.

**Slika 2.4:** Ugao prijema  $\alpha_n$  od  $n$ -tog incidentnog talasa.

**Slika 3.1:** Srednji broj osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora.

**Slika 3.2:** Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

**Slika 3.3:** Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

**Slika 3.4:** SC kombiner sa dva ulaza.

**Slika 3.5:** Srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

**Slika 3.6:** Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti SC kombinera.

**Slika 3.7:** Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i dubine osenčenosti kanala  $c$ .

**Slika 3.8:** Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od dubine osenčenosti kanala  $c$ .

**Slika 3.9:** Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

**Slika 3.10:** Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera.

**Slika 3.11:** Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

**Slika 3.12:** Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  i Rajsovog  $k$  faktora.

---

**Slika 3.13:** Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala  $c$ .

**Slika 3.14:** Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

**Slika 4.1:** Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti MRC kombinera.

**Slika 4.2:** Gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ .

**Slika 4.3:** Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

**Slika 4.4:** Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti Rajsovog  $k$  faktora.

**Slika 4.5:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

**Slika 4.6:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od srednje snage signala  $\lambda$ .

**Slika 4.7:** Srednja verovatnoća greške po bitu za koherentnu digitalnu faznu modulaciju.

**Slika 4.8:** Srednja verovatnoća greške po bitu za koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju.

**Slika 4.9:** Srednja verovatnoća greške po bitu za diferencijalnu digitalnu faznu modulaciju.

**Slika 4.10:** Srednja verovatnoća greške po bitu za nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju.

**Slika 4.11:** Poređenje srednje verovatnoće greške po bitu za različite modulacione formate.

**Slika 5.1:** Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti EGC prijemnika.

**Slika 5.2:** Prvi moment signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .

**Slika 5.3:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva EGC prijemnika u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .

**Slika 5.4:** Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti EGC prijemnika.

**Slika 5.5:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .

**Slika 5.6:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

---

**Slika 5.7:** Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

**Slika 6.1:** Mikrodiverziti SC prijemnik.

**Slika 6.2:** Gustina verovatnoće Veibulovog signala za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 6.3:** Gustina verovatnoće  $k$ - $\mu$  interferencije za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

**Slika 6.4:** Kumulativna verovatnoća signala na izalzu iz SC prijemnika za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 6.5:** Kumulativna verovatnoće signala na izalzu iz SC prijemnika za različite vrednosti parametra nelinearnosti  $\alpha$  i broja osnih preseka  $\mu$ .

**Slika 6.6:** Srednji broj osnih preseka za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.

**Slika 6.7:** Srednji broj osnih preseka za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

**Slika 6.8:** Srednji broj osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.

**Slika 6.9:** Srednji broj osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

**Slika 7.1:** Gustina verovatnoće signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom.

**Slika 7.2:** Kumulativna verovatnoća signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

**Slika 7.3:** Kumulativna verovatnoća signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom u zavisnosti od parametra nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 7.4:** Srednji broj osnih preseka Nakagami- $m$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ .

**Slika 7.5:** Srednji broj osnih preseka  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 7.6:** Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti SC kombinera za različite vrednosti parametra nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 7.7:** Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

**Slika 7.8:** Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti kombinera za različite vrednosti koeficijenta korelacije  $\rho$ .

---

## SKRAĆENICE

MRC - Maximum Ratio Combining

EGC - Equal Gain Combining

SC - Selection Combining

GSC - General Selection Combining

SSC - Switch And Stay Combining

CPSK - Coherent Phase Shift Keying

CFSK - Coherent Frequency Shift Keying

DPSK - Differential Phase Shift Keying

NFSK - Non-Coherent Frequency Shift Keying

ABER - Average Bit Error Probability

OP - Outage Probability

---

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. ĆELIJSKI MOBILNI SISTEMI I PROSTIRANJE SIGNALA U RADIO KANALIMA</b> .....	7
2.1. Evolucija mobilnih sistema .....	7
2.2. Ćelijski mobilni sistemi .....	9
2.3. Osnovni principi prenosa u radio kanalima .....	13
2.4. Smetnje u ćelijskim mobilnim sistemima .....	15
<b>3. MAKRODIVERZITI SISTEM SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI SC KOMBINERA U PRISUSTVU <math>k</math>-<math>\mu</math> BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA</b> .....	21
3.1. Srednji broj osnih preseka $k$ - $\mu$ slučajne promenljive .....	23
3.2. Statističke karakteristike signala na izlazu iz SC kombinera .....	27
3.3. Makrodiverziti sistema sa dva mikrodiverziti SC kombinera .....	29
3.4. Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera .....	34
<b>4. MAKRODIVERZITI SISTEM SA TRI MRC KOMBINERA U PRISUSTVU <math>k</math>-<math>\mu</math> BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA</b> .....	46
4.1. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema .....	50
4.2. Kumulativna verovatnoća signala .....	57
4.3. Karakteristična funkcija signala .....	63
4.4. Momenti signala .....	67
4.5. Kapacitet kanala .....	72
4.6. Srednja verovatnoća greške po bitu .....	75

---

<b>5. MOMENTI SIGNALA NA IZLAZU IZ MAKRODIVERZITI SISTEMA SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI EGC KOMBINERA U PRISUSTVU <math>k</math>-<math>\mu</math> BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA.....</b>	<b>82</b>
5.1. Momenti signala na izlazu makrodiverziti sistema sa dva EGC mikrodiverziti i jednim SC makrodiverziti prijemnikom .....	84
5.2. Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti EGC prijemnika i makrodiverziti SC prijemnikom .....	89
<b>6. KARAKTERISTIKE SC PRIJEMNIKA U PRISUSTVU KORISNOG SIGNALA I INTERFERENCIJE .....</b>	<b>98</b>
6.1. Veibulov korisni signal i $k$ - $\mu$ interferencija .....	98
6.2. Korisni signal $\alpha$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija .....	105
6.3. Korisni signal $\alpha$ - $k$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija .....	108
6.4. Korisni signal $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija .....	113
6.5. Korisni signal $k$ - $\mu$ slučajna promenljiva i interferencija $k$ - $\mu$ slučajna promenljiva .....	118
<b>7. SREDNJI BROJ OSNIH PRESEKA MAKRODIVERZITI SISTEMA SA TRI SC KOMBINERA U PRISUSTVU <math>\alpha</math>-<math>\mu</math> BRZOG FEDINGA FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA.....</b>	<b>126</b>
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>142</b>
<b>9. LITERATURA .....</b>	<b>145</b>
<b>BIOGRAFIJA .....</b>	<b>156</b>

---

## 1. UVOD

Problematika kojom se bavi ova doktorska disertacija proučavana je poslednjih godina, inženjeri telekomunikacija i naučni istraživači su objavili veliki broj radova koji se bave analizom bežičnih komunikacionih sistema, njihovim performansama sa teorijske i numeričke tačke gledišta. Sa pojavom sofisticiranih aplikacija, potreba za razvojem novih i složenijih modela komunikacija i poboljšanje postojećih intenzivno raste. Zbog razvoja složenih modela prenosa i raznovrsnosti tehnika prijema signala proizilazi potreba za analizom učinka različitih scenarija telekomunikacionog prenosa. Osnovni motiv za pisanje ove doktorske disertacije je da se prikaže doprinos teoriji bežičnih telekomunikacionih sistema, koji će na osnovu predstavljenih rezultata olakšati dizajnerima projektovanje optimalnih bežičnih sistema u realnim uslovima. Glavne teme koje su predstavljene u ovoj disertaciji su uticaj smetnji (brzi i spori fading i interferencija) koje se javljaju u ćelijskom sistemu na kvalitet prenosa i prijema signala na mobilnom prijemniku. Analizirane su statističke karakteristike makrodiverziti sistema sa jednim makrodiverziti i tri mikrodiverziti kombinera.

Brzi fading nastaje zbog prostiranja signala po više puteva. Mogu nastati razne vrste fadinga zavisno od propagacione okoline i komunikacionog scenarija. U propagacionom kanalu može postojati dominantna komponenta ili ne. Dominantna komponenta uglavnom postoji kada postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Signal od predajnika do prijemnika prostire se po više puteva. Signal se prostire po više puteva zbog odbijanja, prelamanja, savijanja, rasipanja i kašnjenja talasa. Sredina kroz koju se talas prostire može da bude linearna i nelinearna. Sredina je nelinearna kada su površine od kojih se vrši odbijanje talasa korelisane tako da polje rasipanja nije homogeno. U ovom slučaju za neke prostorne položaje predajnika i prijemnika nije ispunjena centralna granična teorema ili nema dovoljan broj sinusnih komponenti signala na prijemu ili su snage ovih komponenti drastično različite ili faze signala nisu dovoljno slučajne [1-3].



---

Signal od predajnika do prijemnika može da se prostire preko jednog, dva ili više klastera. Pod jednim klasterom se podrazumevaju talasi koji stignu na mesto prijema sa približno istim kašnjenjem. Sa povećanjem broja klastera smanjuje se oštrina fedinga. Svaki klaster formira po jedan par Gausovih komponenti na prijemniku. Anvelopa signala je promenljiva zbog brzog fedinga, a snaga anvelope signala je promenljiva zbog sporog fedinga. Spori feding nastaje zbog efekta senke. Efekat senke mogu formirati razni objekti između predajnika i prijemnika [1,4-6]. U većini slučajeva spori feding je korelisan. Promena snage signala zbog uticaja efekta senke su spore u odnosu na promenu anvelope signala zbog brzog fedinga. U ovom slučaju se statističke karakteristike ekvivalentne amplitude dobijaju raznim transformacionim metodama. Zavisno od propagacione okoline, snage komponente u fazi i komponente u kvadraturi signala na prijemniku mogu da budu iste ili različite.

$k$ - $\mu$  raspodela može biti upotrebljena da opiše varijaciju anvelope signala u linearnim sredinama gde postoji dominantna komponenta, postoji više klastera u propagacionoj okolini i snage komponente u fazi i kvadraturi su jednake.  $k$ - $\mu$  raspodela ima dva parametra. Parametar  $k$  je Rajsov faktor i jednak je količniku snage dominantne komponente i snage linearnih komponenti. Oštriji uticaj fedinga se javlja kada je Rajsov  $k$  faktor manji.  $k$ - $\mu$  raspodela je generalna raspodela. Rajsova, Nakagami- $m$  i Rejljeva raspodela mogu se dobiti iz  $k$ - $\mu$  raspodele kao specijalni slučajevi [7-10].

$k$ - $\mu$  slučajni proces se može posmatrati u vremenu i u prostoru. Srednji broj osnih preseka se mogu izračunati, takođe, u vremenu i u prostoru za određeni nivo signala. Srednji broj osnih preseka u vremenu se računa kao srednja vrednost prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajnog procesa u vremenu. Srednji broj osnih preseka u prostoru se računa kao srednja vrednost prvog izvoda u prostoru od  $k$ - $\mu$  slučajnog procesa. Može se razmatrati srednji broj osnih preseka koji se dobija kao presek površina  $k$ - $\mu$  slučajnog procesa i proizvoljne ravni. Takođe, može se razmatrati gustina verovatnoće dužine osnih preseka u vremenu i prostoru ili u preseku sa proizvoljnom ravni.

Kada je parametar  $k=0$ , onda  $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Nakagami- $m$  raspodelu, a kada je  $\mu=1$ , Rajsova raspodela se može dobiti iz  $k$ - $\mu$  raspodele. Kada je  $k=0$  i  $\mu=1$ ,  $k$ - $\mu$  raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu [5].

Koriste se razne diverziti tehnike da se smanji uticaj brzog fedinga, sporog fedinga i međukanalne interferencije na performanse sistema. Diverziti tehnike mogu biti prostorne, vremenske i frekventne. Kod diverziti tehnika više replika istog informacionog signala se kombinuje. Najčešće se koriste prostorne diverzite tehnike. Prostorne diverziti tehnike su

---

realizovane sa više antena postavljenih na prijemniku. Primenom prostornih diverziti tehnika povećava se pouzdanost sistema i kapacitet kanala bez povećanja snage predajnika i širenja frekventnog opsega. Postoji više prostornih diverziti tehnika kombinovanja koje se mogu upotrebiti da se smanji uticaj fadinga i međukanalne interferencije na performanse sistema zavisno od kompleksnosti realizacije i diverziti dobitka. Najčešće korišćene diverziti tehnike su MRC (maximum ratio combining), EGC (equal gain combining), SC (selection combining), GSC (general selection combining) i SSC (switch and stay combining) [5,11-15].

MRC diverziti tehnika daje najbolje rezultate. Ova tehnika efikasno smanjuje uticaj  $k$ - $\mu$  fadinga na performanse sistema i daje najveći diverziti dobitak. Odnos snaga signala i šuma na izlazu iz MRC prijemnika jednak je zbiru odnosa snaga signala i šuma na njegovim ulazima. Ako je snaga šuma ista u svim diverziti granama onda je kvadrat signala na izlazu jednak zbiru kvadrata signala na njegovim ulazima. MRC prijemnici zahtevaju impulse u svakoj grani prijemnika da bi mogle da se procene snage signala i šuma. Takođe, ova metoda zahteva da signali na ulazima budu dovedeni u fazu. Zbog toga je ovaj način kombinovanja složen i skup za praktičnu realizaciju.

EGC diverziti tehnika je kompromisno rešenje. Daje bolje performanse od SC prijemnika a gore od MRC prijemnika. Složenost i cena implementacije je veća od SC prijemnika a manja od MRC prijemnika. Anvelopa signala na izlazu iz EGC prijemnika je jednaka zbiru anvelopa signala na njegovim ulazima. EGC prijemnik zahteva informaciju o kanalu i zahteva da su signali na ulazima u EGC diverziti prijemnik dovedeni u fazu. Određivanje performansi ovog sistema je komplikovano.

SC diverziti prijemnik je jednostavan za praktičnu realizaciju zbog toga što se procesiranje vrši samo na jednoj diverziti grani. SC prijemnik izdvaja granu sa najvećim odnosom signala i šuma. Ako je snaga šuma ista u svim granama onda SC prijemnik izdvaja granu sa najjačim signalom. Performanse SC sistema su lošije od performansi MRC prijemnika i EGC prijemnika. Kod SC prijemnika relativno jednostavno može da se odredi gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz prijemnika.

Generalizovani selektivni kombiner (GSC) je složen za praktičnu realizaciju. GSC se formira od MRC i SC kombinera. Na primer, GSC sa četiri ulaza može da se formira na dva načina. Prema prvom načinu formiraju se dva MRC sa po dva ulaza, čiji su izlazi ulazi za jedan SC. Drugi način je da se GSC sastoji od dva SC sa po dva ulaza čiji su izlazi ulazi za jedan MRC.

---

SSC diverziti prijemnik je najjednostavniji za realizaciju. Ovaj prijemnik ima dva ulaza. Kombiner odabira jednu granu sve dok je signal na njoj veći od praga, a kada signal na njoj padne ispod praga prelazi na drugu granu bez obzira na vrednost signala na ovoj grani.

Za sve ove prijemnike potrebno je odrediti statističke karakteristike signala na njihovim izlazima kao i performanse bežičnog telekomunikacionog sistema. Gustina verovatnoće signala se određuje na izlazu iz diverziti prijemnika u zavisnosti od gustine verovatnoće signala na ulazima. Pomoću gustine verovatnoće se određuje verovatnoća otkaza sistema i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability) sistema. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz diverziti prijemnika se računa za slučaj kada su signali na ulazima korelisani ili nekorelisani. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu se dobija integracijom gustine verovatnoće. Pomoću ove verovatnoće se određuje verovatnoća otkaza [7]. Važno je gustinu verovatnoće i kumulativnu verovatnoću signala na izlazu iz diverziti prijemnika dobiti u zatvorenom obliku. Karakteristična funkcija je, takođe, važna karakteristika telekomunikacionog sistema. Ona se dobija kao srednja vrednost eksponencijalne funkcije. Karakteristična funkcija i gustina verovatnoće su Furijeov transformacioni par. Karakteristična funkcija zbira jednaka proizvodu karakteristične funkcije pojedinih sabiraka. Momenti signala na izlazu se dobijaju kao srednje vrednosti potencijalnih funkcija. Momenti se određuju pomoću gustine verovatnoće i karakteristične funkcije. Momenti mogu da se odrede i merenjem. Pomoću njih može da se izračunaju gustina verovatnoće, karakteristična funkcija i kumulativna verovatnoća. Od momenata su najvažnija srednja vrednost, srednja kvadratna vrednost, srednja kubna vrednost i varijansa. Gustina verovatnoće signala, karakteristična funkcija signala, kumulativna verovatnoća signala i momentu su statističke karakteritike prvog reda. Pomoću momenata mogu da se odrede parametri fedinga i priroda fedinga. Pomoću momenata može da se odredi iznos fedinga. Iznos fedinga je definisan kao količnik varijanse signala na izlazu i kvadrata srednje vrednosti. Verovatnoća otkaza (OP - Outage Probability) je važna performansa telekomunikacionih sistema. Verovatnoća otkaza je definisana kao verovatnoća da je signal manji od praga otkaza. U interferencijom ograničenoj okolini verovatnoća otkaza je definisana kao verovatnoća da je odnos snaga korisnog signala i interferencije manji od unapred određenog praga. Pomoću gustine verovatnoće može da se odredi i kapacitet kanala. Kapacitet kanala se dobija usrednjavanjem Šenonovog izraza za kapacite kanala. Kapacitet kanala je važna karakteristika telekomunikacionog sistema. Kapacitet se povećava primenom ćelijskog mobilnog telekomunikacionog sistema. Verovatnoća greške se računa za

---

koherentne i nekoherentne modulacione šeme. Srednja verovatnoća greške po bitu je najvažnija performansa telekomunikacionog sistema koja se dobija usrednjavanjem uslovne verovatnoće greške. Da bi se izračunale performanse drugog reda treba odrediti združenu gustinu verovatnoće signala i prvog izvoda signala na izlazu iz diverziti prijemnika [16]. Ova združena gustina verovatnoće se određuje transformacionim metodama. Pomoću ove združene gustine verovatnoće se određuje srednji broj osnih preseka. Srednji broj osnih preseka se određuje kao srednja vrednost prvog izvoda signala. Pomoću srednjeg broja osnih preseka određuje se srednje vreme trajanja otkaza sistema. Srednje vreme trajanja otkaza se određuje pomoću združene gustine verovatnoće signala u dva trenutka vremena i njihovih prvih izvoda.

Makrodiverziti sistemi se koriste da se smanji istovremeni uticaj brzog i sporog fedinga na performanse sistema. Makrodiverziti sistemi se sastoje od jednog makrodiverziti prijemnika i dva ili više mikrodiverziti prijemnika. U ćelijskim sistemima, mikrodiverziti sistemi se formiraju na baznim stanicama, a makrodiverziti kombiner koristi signal sa dve ili više baznih stanica. Mikrodiverziti prijemnik smanjuje uticaj brzog fedinga na performanse sistema, a makrodiverziti smanjuje uticaj sporog fedinga na performanse sistema. Feding koji nastaje zbog prostiranja signala po više puteva može da bude korelisan ili nekorelisan, a spori feding koji nastaje zbog efekta senke je uglavnom korelisan. Ćelijski sistemi funkcionišu u interferencijski ograničenom okolinu pa je nivo snage međukanalne interferencije znatno veći od nivo snage Gausovog šuma, tako da se uticaji šuma na performanse sistema mogu zanemariti [5,14]. Veoma često korisni signal je izložen fedingu sa dominantnom komponentom, a međukanalna interferencija koja nastaje iz nekog drugog kanala nema dominantnu komponentu. Važno je odrediti kako se menja verovatnoća greške i verovatnoća otkaza telekomunikacionog sistema pod uticajem fedinga i međukanalne interferencije.

U drugoj glavi dat je pregled osnovnih smetnji koje se javljaju u ćelijskim mobilnim sistemima, kao i raspodele kojima se opisuju korisni signali i signali interferencije pod uticajem fedinga u mobilnim sistemima.

U trećoj glavi razmtra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC (selection combining) prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Na ulazima je prisutan brzi  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Određen je srednji broj osnih preseka i kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive, kao i srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika, a zatim i na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva mikrodiverziti SC prijemnika. Izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu iz

---

mikrodiverziti SC prijemnika, kao i gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti SC prijemnika. Dobijeni rezultati su grafički predstavljeni.

U četvrtoj glavi razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti selektivnim prijemnikom SC (selection combining) i tri mikrodiverziti MRC (maximum ratio combining) prijemnika. Na ulazima u mikrodiverziti MRC prijemnike prisutan je nezavisni  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Za signal na izlazu iz makrodiverziti sistema izračunati su: gustina verovatnoća, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu. Na osnovu dobijenih izraza iscrtani su i analizirani grafici promene za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Dati su grafici i srednje verovatnoće greške po bitu signala za koherentnu digitalnu faznu modulaciju (CPSK), koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (CFSK), difrenecijalnu digitalnu faznu modulaciju (DPSK) i nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (NFSK).

Peta glava se odnosi na makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti EGC (equal gain combiner) prijemnika. Mikrodiverziti EGC prijemnici imaju po dva ulaza. Na ulazima je prisutan nezavisni  $k$ - $\mu$  feding i korelisan Gama feding. Određeni su momenti na izlazu iz makrodiverziti sistema. Na osnovu prikazanih grafika je analiziran uticaj koeficijenta korelacije  $\rho$ , Rajsovog  $k$  faktora, broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala na momente prvog, drugog i trećeg reda i kvalitet prijema signala.

U šestoj glavi razmatraju se statističke karakteristike signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interferencije. Razmatran je slučaj kada je na ulazima prisutna interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom, a korisni signal Veibulovom,  $\alpha$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  i  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  raspodelom. Za sve slučajeve je određena gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika. Na osnovu grafika je analiziran uticaj nelinearnosti sredine i broja klastera kroz koji se prostire signal na kvalitet prenosa. Takođe, razmatran je i slučaj kada je  $k$ - $\mu$  raspodelom opisan i korisni signal i interferencija. Analitički i grafički su predstavljeni srednji broj osnih preseka za proizvod i količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.

U sedmoj glavi razmatra se srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri SC mikrodiverziti kombinera i jednim makrodiverziti SC kombinerom. Na ulazima u bazne stanice je prisutan brzi  $\alpha$ - $\mu$  i spori Gama feding. Dobijeni analitički rezultati su grafički predstavljeni na osnovu kojih je analiziran uticaj broja klastera kroz koji se prostire signal, dubine osenčenosti kanala, korelisanost i nelinearnost sredine na prijem signala u ćelijskom sistemu.

---

## **2. ČELIJSKI MOBILNI SISTEMI I PROSTIRANJE SIGNALA U RADIO KANALIMA**

### **2.1 Evolucija mobilnih sistema**

U poslednjih nekoliko godina mobilni komunikacioni sektor je definitivno bio jedan od najbrže rastućih segmenata na tržištu telekomunikacija. Velika većina eksperata se slaže u činjenici da smo danas na početku globalnog razvoja i da će ova oblast konstanto rasti sledećih godina. Jedan od najzaslužnijih faktora za ovako brz razvoj je svakako širok spektar. Zasiurno, liberalizacija telekomunikacijskog sektora, otvaranje i deregulacija tržišta u Evropi, previše frekvencijskih područja oko i preko 1 GHz, unapređenje modulacionih i kodnih tehnika, kao i značajan napredak na polju mikroprocesora (veliki stepen integracije CMOS i GaAs tehnologije) i veliko znanje na polju propagacije procesa elektromagnetnih talasa u veoma kompleksnim okruženjima predstavljaju podjednak značaj pozicioniranju na tržištu telekomunikacija [2,17].

Prvi ćelijski sistemi uvedeni su sedamdesetih godina prošlog veka. Prva generacija mobilnih sistema predstavlja analogne sisteme prenosa govora koji su se razvijali krajem sedamdesetih godina prošlog veka. Prvi komercijalni analogni sistem bio je AMPS (Advanced Mobile Phone Services), koji je koristio opseg od 800 Hz. Zatim su se razvili sistemi NMT (Nordic Mobile Telephone) u opsegu od 450 MHz, NMT900 u opsegu 900 MHz, TACS (Total Access Communication System) u opsegu od 900 MHz [9]. Sistemi prve generacije koriste frekvencijsku modulaciju na 666 dupleksnih kanala. Mobilni terminali za pristup baznoj stanici koriste tehniku višestrukog pristupa sa frekvencijskom raspodelom FDMA (Frequency Division Multiple Access). U ovom slučaju se za svaki kanal, koji se dodeljuje korisnicima, rezerviše se opseg od 30 KHz [9].

---

Za razliku od sistema prve generacije koji su analogni, sistemi druge generacije su digitalni. Razvijeni su krajem osamdesetih i tokom devedesetih godina prošlog veka. Upotreba digitalne tehnologije dovodi do nekoliko unapređenja, uključujući veći kapacitet, veću sigurnost od zloupotreba i pružanje novih naprednih servisa (SMS, Internet male brzine). Tri najuspešnije tehnologije su: privremeni standard 136 (IS 136), globalni sistem mobilne telefonije (Global System for Mobile Communication, GSM) i IS-95 CDMA (Code Division Multiple Access) [17]. GSM je ćelijski mobilni sistem baziran na kompletno digitalnom prenosu. GSM je pre svega sistem za prenos govora brzinama od 12.2 kbps. Govor se kodira linearno prediktivnim koderom, nakon čega se nosilac, na frekvencijama od 900 do 1800 MHz, moduliše GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulacijom. Mobilni terminali pristupaju baznim stanicama po TDMA (Time Division Multiple Access) principu. 2G sistemi su bazirani na komutaciji krugova (jedan govorni kanal po korisniku), pri čemu su omogućene male brzine prenosa (podaci 9.6 kbps). Uvedeni su i sistemi 2.5 generacije i to HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service) i EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) [2].

Predstavnici treće generacije sistema su UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ili WCDMA (Wideband CDMA) i HSPA (High Speed Packet Access) i standardizovani su od strane 3GPP-a (Third Generation Partnership Project). Prve komercijalne 3G mreže pokrenute su 2001. godine u Japanu i 2003. godine u Evropi. 3G sistemima dodeljen je 2 GHz deo frekvencijskog spektra. U osnovi 3G je WCDMA koji je kasnije unapređen uvođenjem TDD (Time Division Duplexing) umesto FDD-a (Frequency Division Duplexing) i sinhronizacijom uplink-a (SCDMA - Synchronous CDMA). WCDMA je tehnologija širokopojasnih digitalnih radio komunikacija namenjenih internetu, multimediji i sl. Pri radu na UMTS mreži brzina slanja podataka ka baznoj stanici (uplink – 64 kbps) manja je od brzine preuzimanja podataka od bazne stanice (downlink – do 384 kbps), pri čemu se koriste 5 MHz kanali [9].

Kao odgovor na slab uspeh sistema treće generacije 3GPP organizacija se odlučila za razvoj novog sistema koji će se u potpunosti bazirati na postojećem GSM-3G sistemu. Kao rezultat toga kreirana je tehnologija pod nazivom Dugoročna evolucija radio mobilne mreže, odnosno LTE (Long Term Evolution). Cilj LTE sistema u pogledu servisa vezan je za snažnu podršku VoIP-u (Voice over Internet Protocol) sa brzinama prenosa većim od 100 Mbps i malim kašnjenjem (manjim od 10 ms). LTE sistem uključuje evoluiranu pristupnu radio mrežu EUTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) i evoluirano jezgro

---

mreže (Evolved Packet Core, EPC) koje je bazirano na SAE (System Architecture Evolution) arhitekturi. Ključne tehnologije kojima se omogućava postizanje visokih brzina prenosa uključuju upotrebu OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) tehnike na radio interfejsu, upotrebu višeantenskih rešenja (Multiple Input Multiple Output, MIMO), kao i fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra.

## 2.2 Čelijski mobilni sistemi

U komunikacionom kanalu mogu se prenositi dva tipa signala, analogni i digitalni. Predajnik i prijemnik takođe mogu biti analogni i digitalni. Komunikacioni sistemi mogu biti fiksni, fiksno-mobilni i mobilni. Fiksni sistemi su sistemi kod kojih su predajnik i prijemnik pozicionirani na određenom mestu, bez mogućnosti "pomeranja". Fiksno-mobilni sistemi imaju ili predajnik ili prijemnik pozicioniran na nekom mestu. Primer ovog sistema je mobilna telefonija, kod koje je predajnik signala (antena) stacioniran na nekoj lokaciji (uglavnom visoke tačke na nekom području), a prijemnik (mobilni telefon) nije vezan za neko mesto, drugim rečima on je mobilan. Mobilni sistemi su sistemi kod kojih su i predajnik i prijemnik mobilni.

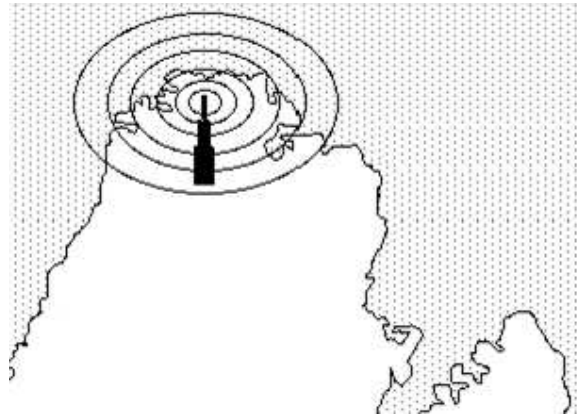
Razvoj mobilne telefonije, od početnog prenosa samo govornog signala, sve je brži i zavisi od stepena tehnološkog razvoja, mogućnosti telekomunikacionih operatora, i zainteresovanosti korisnika. Raniji mobilni radio sistemi koristili su jedan centralni predajnik visoke snage kako bi se pokrio što veći geografski prostor. Ovi mobilni sistemi imali su ograničen broj kanala koji je bio na raspolaganju. Često broj korisnika za uspostavljanje veze bio znatno veći od broja korisnika koji su trenutno koristili vezu. Na Slici 2.1 [18] prikazana je arhitektura pokrivenostiranih mobilnih radio-komunikacionih sistema.

Mobilna telefonija svuda u svetu ima dodeljen ograničen frekvencijski opseg. Time je ograničen broj mogućih kanala. Broj raspoloživih kanala ograničava kapacitet sistema. Porast interesovanja korisnika nametnuo je novi način upotrebe dodeljenog frekventnog opsega. Problem oko nedovoljnog raspoloživog frekventnog opsega za sve veći broj korisnika, uslovio je razvoj tzv. čelijskog (celularnog) sistema mobilne telefonije. Osnova ovog sistema je podela geografskog područja na manje oblasti, tzv. ćelije, pri čemu svaka ćelija ima primopredajnu opremu, i postoji mogućnost da više nesusednih ćelija koristi iste kanale. Prema tome čelijski sistem omogućuje višestruku upotrebu jednog kanala ili frekvencijskog

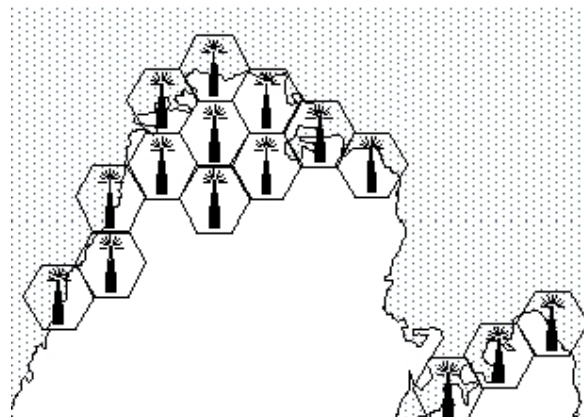


---

opsega u okviru sistema [9]. Na Slici 2.2 [18] prikazan je sistem pokrivenosti mobilnih sistema koji koriste ćelijsku tehnologiju.



Slika 2.1: Sistem pokrivenosti ranijih mobilnih radio-komunikacionih sistema.

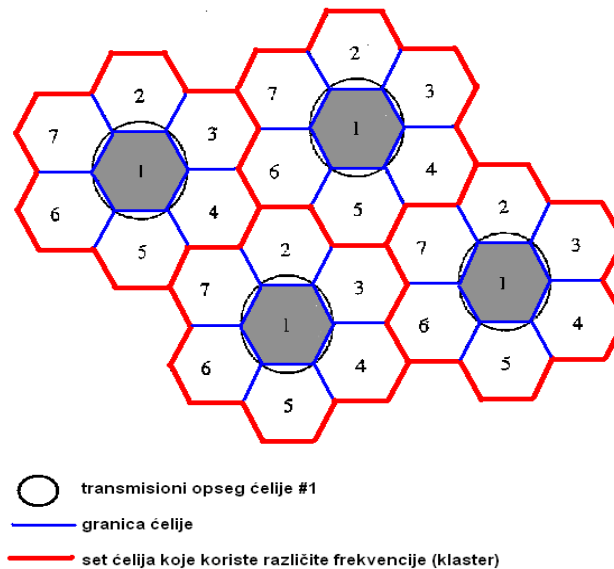


Slika 2.2: Arhitektura pokrivenosti korišćenjem ćelijskog sistema.

Današnje mobilne komunikacije koriste ćelijske sisteme. Ćelijski sistem je baziran na pravilu da predajnik/prijemnik pokriva određenu oblast svojom frekvencijom. Ako je cilj da se pokrije mobilnim signalom jedan grad, biće postavljen veći broj prijemnika/predajnika i svaki od njih će pokrivati po jednu oblast tog grada. Ovo se naziva klaster system. Klaster predstavlja broj ćelija u grupi bez ponavljanja frekvencija naziva se klaster (Slika 2.3 [19]). U jednom klasteru koristimo celi skup frekvencije, ali ćelije u klasteru ne rade na istoj frekvenciji već se ona malo razlikuje. Na ovaj način sprečava se mogućnost interferencije između susednih ćelija tako što će se radio frekvencje prijemnika/predajnika ponavljati

---

isključivo u nesusednim ćelijama. Ukoliko je potrebno proširiti broj korisnika u nekoj ćeliji (broj veza između predajnika i prijemnika) to će se postići umetanjem novih ćelija unutar postojećih, vodeći računa o frekvencijama na kojima rade, kao i interferenciji. Veličina i broj ćelija u klasteru određuju spektralnu efikasnost ćelijskog sistema.



Slika 2.3: Struktura ćelijskog sistema.

Osnovu ćelijskog sistema čine:

- mobilna stanica (MS),
- ćelijska ili bazna stanica (BS), bazne primopredajne stanice BTS (Base Transciever Station),
- centrala mobilnog sistema, MSC (Mobile telephone Switching Center), i
- veze između prethodna tri podsistema.

Mobilna stanica sadrži kontrolnu jedinicu, primopredajnik i antenski sistem. Mobilna stanica ostvaruje vezu sa onom baznom stanicom od koje prima najjači test signal. Sistem sve vreme nadgleda vezu i po potrebi preusmerava vezu na drugu baznu stanicu na novoj frekvenciji. Proces automatske promene frekvencije, odnosno kanala naziva se prosleđivanje (handover, handoff) [20].

Projektovanje ćelijskog sistema se može razdvojiti na više celina od kojih su bitni višestruka upotreba frekventnih kanala (prostorno planiranje – formiranje ćelija), smanjenje međukanalnih (istokanalnih) smetnji i dostizanje željenog odnosa korisnog signala i smetnji, implementacija prosleđivanja (“handover”-a).

Veličina ćelije određuje se prema obimu lokalnog saobraćaja i zahtevima za određenim uslugama. Veličina makro ćelije je 1-10 km, mikro 100-1000 m, a piko ~ 10 m [20].

Makro ćelije se koriste za ruralna područja i na mestima gde je čest i brz prelaz između ćelija - autoputevi. Mikro ćelije se koriste u oblastima sa velikom gustinom saobraćaja. Najefektniji način povećanja kapaciteta ćelijskog sistema jeste smanjenje prečnika ćelije ( $\sim 1/r^2$ ). Manje ćelije zahtevaju više opreme, jer svaka bazna stanica zahteva primopredajnik i komutacionu opremu. Snaga, kao i dimenzije uređaja, na prijemu i predaji zavise od veličine ćelije. Kod malih makro ćelija snaga može biti 10-100 mW, a kod mikro i piko čak i manje od 1 mW.

Mobilna stanice koriste štapne (monopol)  $\lambda/2$  ili  $\lambda/4$  antene. Za bazne primopredajne stanice za mikro ćelije pogodne su neusmerene  $\lambda/4$  antene ili usmerene (npr. jagi) sa dobitkom oko 8 dB. Kod makro ćelija koriste se neusmerene antene, većih visina (npr. 6 - 12 m) ili usmerene antene sa uglom zračenja  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  za sektorisane ćelije. Opciona mogućnost je prostorni diverziti na prijemu u BS.

Kontrola snage se ostvaruje automatski pomoću kontrolora bazne stanice (BSC) čime se minimizuje interferencija. Klasifikacija prema maksimalnoj snazi je prikazana u Tabeli 2.1 [21].

Tabela 2.1: Maksimalne snage mobilnih i baznih stanica

klasa snage	maksimalna snaga mobilne stanice		maksimalna snaga bazne primopredajne stanice	
	W	dBm	W	dBm
1	20	43	320	55
2	8	39	160	52
3	5	37	80	49
4	2	33	40	46
5	0.8	29	20	43
6			10	40
7			5	37
8			2.5	34

---

## 2.3 Osnovni principi prenosa u radio kanalima

U mobilnim radio komunikacijama, emitovani elektromagnetni talasi često ne dođu do prijemne antene zbog različitih prepreka na putu prenosa. U suštini, primljeni talasi su superponirani talasi koji dolaze iz svih pravaca zbog refleksije, difrakcije i rasejanja uzrokovanim različitim objektima, drveća ili nekih drugih smetnji. Ovakav efekat je poznat pod nazivom višestruka propagacija.

Višestruka propagacija prijemnog signala sastoji od beskonačne sume oslabljenih signala, sa zakašnjenjem i fazno pomerene replike signala koji se prenosi, u kojem svaki signal utiče na drugi. Zavisno od faze svakog dela signala, superpozicija može biti konstruktivna ili destruktivna. U tom smislu kada se prenosi digitalni signal, forma signala koji se prenosi može da se naruši tokom prenosa od nekoliko posebnih impulsa koji trebaju da budu prepoznati u višestrukoj propagaciji. Ovaj efekat se naziva impulsna disperzija. Vrednost impulsne disperzije zavisi od razlike kašnjenja i odnosa amplituda parcijalnih talasa. Može se videti da višestruka propagacija u frekvencijskom domenu predstavlja se kao neidealni frekvencijski odziv za prenosnu funkciju mobilnih radio kanala. Kao posledica kanalno izobličenje u frekvencijskom odzivu je karakteristika prenosnog signala. Izobličenja uzrokovana višestrukoum propagacijom su linearna pa zbog toga se mora nadoknaditi na prijemnoj strani, npr. sa ekvalazerom.

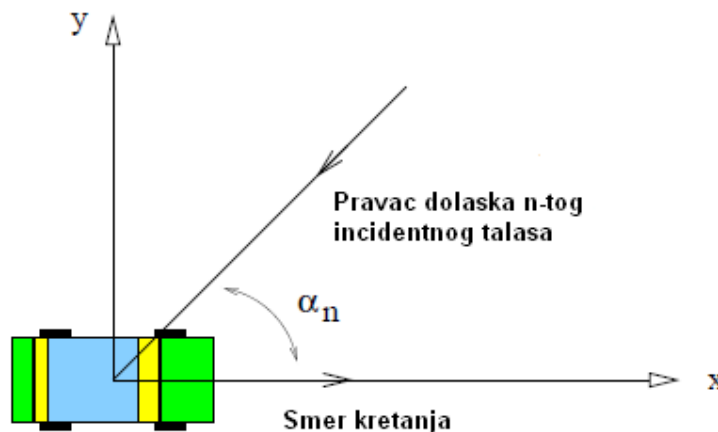
Pored višestruke propagacije, takođe Doplerov efekat ima negativan uticaj na prenosne karakteristike na mobilne radio kanale. Prilikom pokretanja mobilne jedinice, Doplerov efekat uzrokuje frekvencijsko pomeranje svakog dela talasa. Ugao dolaznog signala  $\alpha_n$ , je definisan pravcem dolazećeg incidentnog talasa i pravcem pomeranja mobilne jedinice prikazani su na Slici 2.4 [22], određene su Doplerovom frekvencijom (frekvencijom pomeranja)  $n$ -tog incidentnog talasa prema relaciji:

$$f_n := f_{\max} \cos \alpha_n \quad . \quad (2.1)$$

U slučaju ,  $f_{\max}$  je maksimum Doplerove frekvencije određuje se na osnovu brzine mobilne jedinice  $v$ , brzine svetlosti  $c_0$ , i noseće frekvencije  $f_0$  jednačinom:

$$f_{\max} = \frac{v}{c_0} f_0 \quad . \quad (2.2)$$

Maksimum (minimum) Doplerove frekvencije, npr.  $f_n = f_{max}$  ( $f_n = -f_{max}$ ), je određen za  $\alpha_n = 0$  ( $\alpha_n = \pi$ ). U poređenju kroz  $f_n = 0$  za  $\alpha_n = \pi/2$  i  $\alpha_n = 3\pi/2$ . Zbog Doplerovog efekata spektar prenosnog signala prolazi kroz frekvencijsku ekspanziju tokom prenosa. I ovaj efekat se naziva frekvencijska disperzija. Vrednost frekvencijske disperzije uglavnom zavisi od maksimuma Doplerove frekvencije i amplitude prijemnog dela talasa. U vremenskom domenu, Doplerov efekat uzrokuje impulsni odziv, pa postaje vremenski promenljiv. Iz prostog razloga što predstavljaju linearne sisteme superpozicija mobilnih radio kanala se može lako dokazati. Zbog vremenske zavisnosti ponasanje impulsnog odziva mobilnih radio kanala generalno pripadaju klasama linearnih vremenski zavisnih sistema.



Slika 2.4: Ugao prijema  $\alpha_n$  od  $n$ -tog incidentnog talasa.

Višestruka propagacija u komunikaciji sa pomeranjem prijemnika i/ili predajnika vodi do drastičnih slučajnih fluktuacija prenosnog signala. Slabljenje od 30-40 dB i više ispod srednje vrednosti prijemnog signala može biti nekoliko puta po sekundi, zavisno od brzine mobilne jedinice i noseće frekvencije [23]. U slučaju brzine mobilne jedinice od  $v = 110$  km/h i noseće frekvencije od  $f_0 = 900$  MHz, prema (2.2) ova korelacija odgovara maksimumu Doplerove frekvencije od  $f_{max} = 91$  Hz.

U digitalnom prenosu podataka, trenutni feding prijemnog signala uzrokuje burst grešku, npr. greške sa jakom statističkom konekcijom na ostale. U svakom slučaju, feding interval prouzrokuje burst grešku, dok dužina bursta je određena dužinom feding intervala koji se izražava dužinom fedinga objašnjenog u. Na osnovu ovoga, interval konekcije uzrokuje bitske sekvence koje uglavnom ne poseduju greške. Dužina zavisi od dužine intervala konekcije za svako vreme konekcije koje je uspostavljeno [23-24]. Kao odabrane

---

mere za zaštitu greške, koriste se visoke proceduralne performanse za kod kanala. Razvoj i dimenzionisanje kodova zahtevaju znanje statističke distribucije trajanja slabljenja i vremena konekcijskog intervala, sa što tačnijim vrednostima ako je moguće. Zadatak modelovanja kanala je rekonstruisanje modela prenosa signala kreiranog kao osnova za razvoj prenosnih sistema [24].

## 2.4 Smetnje u ćelijskim mobilnim sistemima

Osnovne smetnje koje se javljaju pri prenosu u bežičnim telekomunikacionim sistemima su Gausov šum, spori fading, brzi fading i razne ko-kanalne interferencije.

Termički Gausov šum se pojavljuje kod svih telekomunikacionih sistema. Gausov šum može da bude beo i obojen. Spektralna gustina snage belog Gausovog šuma je konstanta, a spektralna gustina snage obojenog Gausovog šuma je neka funkcija od učestanosti. Autokorelaciona funkcija od belog Gausovog šuma je Dirakov impuls. Dirakov impuls i konstanta su Furijeov transformacioni par. Obojen Gausov šum je određen svojom spektralnom gustinom snage ili svojom autokorelacionom funkcijom. Obojen šum sa Gausovom spektralnom gustinom snage se pojavljuje kada je beli Gausov šum prošao kroz više kaskadno vezanih linearnih sistema. U ovom slučaju, spektralna gustina snage na izlazu ima Gausov oblik. Tada je autokorelaciona funkcija takođe Gausova zbog toga što je Furijeova transformacija Gausove funkcije takođe Gausova funkcija [25]. U opštem slučaju spektralna gustina snage obojenog Gausovog šuma zavisi od prenosne funkcije linearnog sistema kroz koji je prošao beli Gausov šum. Spektralna gustina snage obojenog Gausovog šuma na izlazu iz linearnog sistema jednaka je proizvodu spektralne gustine snage obojenog Gausovog šuma na ulazu u linearni sistem i kvadrata prenosne funkcije linearnog sistema.

Gausov slučajni proces može da se opiše u jednoj, dve ili više tačaka. U jednoj tački termički šum je opisan Gausovom gustinom verovatnoće. Srednja vrednost Gausovog šuma je nula. Varijansa termičkog Gausovog šuma može da se odredi kao srednja kvadratna vrednost. Termički Gausov šum je ergodičan slučajni proces. Za ergodične slučajne procese važi da su srednje vrednosti duž ansambla jednake srednjim vrednostima duž vremena. Na osnovu ovoga može da se odredi srednja kvadratna vrednost Gausovog šuma na osnovu uzoraka. Uzorci termičkog šuma se kvadriraju, sabiraju, a zatim se ovaj zbir podeli sa brojem uzoraka. Na ovaj način se dobija varijansa Gausovog šuma i može da se formira Gausova

---

raspodela. Termički šum može da se opiše i u dve tačke. Termički šum u dve tačke je opisan združenom gustinom verovatnoće za dve slučajne promenljive. Ova združena gustina verovatnoće ima dva parametra. Jedan parametar je varijansa, a drugi parametar je korelacioni koeficijent. Autokorelaciona funkcija je jednaka srednjoj vrednosti proizvoda dva uzorka termičkog šuma na određenom rastojanju [5,26-27]. U  $n$  tačaka termički Gausov šum može biti opisan Gausovom združenom gustinom verovatnoće sa  $n$  slučajnih promenljivih. U ovom slučaju da bi se formirala ova raspodela treba odrediti korelacionu matricu. Elementi ove korelacione matrice su srednje vrednosti proizvoda dva uzorka na odgovarajućem rastojanju. Dimenzije ove korelacione matrice su  $n \times n$ .

Kod nekih telekomunikacionih sistema snaga Gausovog šuma može može biti značajno veća od snage interferenci, tako da se uticaj interferenci na performanse sistema može zanemariti. Kanali sa ovom osobinom nazivaju se šumom ograničeni kanali. Uskopojasni Gausov šum dobija se na izlazu uskopojasnog filtra kada se na njegovom ulazu pojavljuje Gausov šum šireg spektra. Širina frekventnog opsega ovog šuma je deset i više puta manja od njegove centralne učestanosti kod prenosnih sistema koji rade u transponovanom opsegu. Ovaj šum je osnovna smetnja koja degradira performanse sistema. Kod digitalnih telekomunikacionih sistema ukupan signal na izlazu, na osnovu koga se vrši odlučivanje jednak je uskopojasnom Gausovom šumu ili zbiru uskopojasnog Gausovog šuma i sinusnog talasa [28].

Signal na mestu prijema može doći po više puteva. Veliki broj komponenti signala se sabiraju u ekvivalentni uskopojasni signal. Ovaj ekvivalentni uskopojasni signal ima ekvivalentnu anvelopu, fazu i učestanost. Dobijena ekvivalentna anvelopa je promenljiva i može uzimati manje ili više vrednosti. Ova promena nivoa anvelope u vremenu je brzi feding. Signal se prostire po više puteva zbog refleksije, prelamanja, kašnjenja i rasipanja talasa. Ovako nastao feding se naziva brzi feding [29-30].

Postoji više raspodela koje mogu upotrebiti da se opiše fluktuacija anvelope signala u feding kanalima. Kada je polje rasipanja homogeno, veliki broj komponenti signala dolazi na mestu prijema. Ekvivalentna komponenta u fazi sastoji se od više sinusnih komponenti sa slučajnom fazom, a približno istom amplitudom. Ako postoji dovoljan broj nezavisnih sinusnih talasa sa uniformnom raspodelom faza i približno istom amplitudom, onda važi centralna granična teorema, prema kojoj ovaj zbir ima Gausovu gustinu verovatnoće. Takođe, centralna granična teorema važi i za zbir komponenti u kvadraturi koji takođe ima Gausovu gustinu verovatnoće. Na osnovu ovoga može da se pokaže da amplituda uskopojasnog signala na

---

ulazima u prijemnik prema primenjenom scenariju ima Rejljevu raspodelu. Zbog toga se brzi feding nastao na ovaj način kad je polje rasipanje homogeno i difuzno ima Rejljevu gustinu verovatnoće. Ovaj kanal nema dominantnu komponentu, ima samo jedan klaster i snage komponente u fazi i kvadraturi jednake. Takođe, nema varijacije srednje snage.

Rajsova raspodela može dobro opisati varijaciju anvelope signala u linearnim sredinama gde postoji dominantna komponenta, signal se prostire kroz samo jedan klaster, a snage komponenta u fazi i kvadraturi su jednake i ne postoji varijacija snage signala. Rajsova gustina verovatnoće može da se izrazi u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora. Rajsov faktor je definisan kao količnik snage dominantne komponente i sketering komponenta. Kada Rajsov faktor raste, oštrina uticaja Rajsovog fedinga opada i performanse sistema se poboljšavaju. Rajsov  $k$  faktor raste kada raste snaga dominantne komponente ili kada snage sketering komponenta opadaju. Kada Rajsov  $k$  faktor raste onda Rajsov kanala prelazi u kanal bez fedinga. Kada Rajsov  $k$  faktor ide prema nuli, onda Rajsov kanal postaje Rejljev kanal [32]. Važno je razmotriti estimatore koji u realnom vremenu procenjuju Rajsov faktor za konkretni kanal. Estimatori se koriste u adaptivnim sistemima koji zavisno od parametra fedinga određuju vrstu modulacije, odnosno broj nivoa čime se povećava ili smanjuje kapacitet kanala [33]. Ako parametar  $k$  poraste, onda oštrina fedinga opada i verovatnoća greške opada, odnosno, kvalitet prenosa se poboljšava. U ovom slučaju se nivo modulacije povećava, na primer sa 16 na 256 nivoa, čime se kapacitet sistema povećava, a verovatnoća greške se poveća na prvobitnu dozvoljenu vrednost. Ako estimator proizvodi manju vrednost za parametar  $k$ , događa se obratno. Verovatnoća greške može da poraste iznad dozvoljene vrednosti, ali se u ovom slučaju nivo modulacije smanji, na primer od 64 na 16, ili se verovatnoća greške smanji na dozvoljenu vrednost. Rajsova raspodela se koristi za opisivanje anvelope signala u satelitskom prenosu i u ćelijskim sistemima i mobilnim radio kanalima. Dobijaju se komplikovani izrazi za združenu gustinu verovatnoće za tri i više Rajsove slučajne promenljive.

Nakagami- $m$  raspodela ima veliku primenu pri opisivanju anvelope signala u feding kanalima. Nakagami- $m$  raspodelu karakteriše parametar  $m$  koji određuje oštrinu fedinga. Kada se parametar  $m$  povećava, opada oštrina fedinga. Kada parametar  $m$  uzima vrednost 1, onda Nakagami- $m$  kanala prelazi u Rejljev kanal. Kada je  $m=0$ , Nakagami- $m$  kanal prelazi u jednostavan Gausov kanal. Kada parametar  $m$  ide prema beskonačnosti, Nakagami- $m$  kanal prelazi u kanal bez fedinga [34-36].



---

Veibulova raspodela se koristi da se opiše anvelopa signala u nelinearnoj sredini kada nema dominantne komponente i prostire se samo jedan klaster [37-38]. Gustina verovatnoće Veibulove slučajne promenljive dobija se transformacionom metodom iz Rejljeve slučajne promenljive. Veibulova slučajna promenljiva se opisuje pomoću parametra  $\alpha$  koji je u relaciji sa nelinearnošću okoline [39]. Za slučaj  $\alpha=2$ , Veibulov kanala prelazi u Rejljev kanal, a kada  $\alpha$  ide ka beskonačnosti Veibulov kanal prelazi u kanal bez fedinga. Oštrina fedinga zavisi od parametra  $\alpha$ . Kada parametar  $\alpha$  opada, raste oštrina Veibulovog fedinga, a kada parametar  $\alpha$  raste, oštrina Veibulovog fedinga opada [40].

Anvelopa signala može biti opisana i sa Nakagami- $q$  raspodelom. Nakagami- $q$  raspodela može dobro opisati varijaciju anvelope signala u linearnim sredinama gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i gde su snage komponenti u fazi i kvadraturi različite. Ova raspodela može se koristiti u sredinama u kojima se formira jedan klaster. Ovu raspodelu ima amplituda uskopojasnog signala sa komponentama u fazi i kvadraturi sa različitim varijansama [41-44].

U nelinearnim sredinama feding se može opisati sa  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom. Ova raspodela se karakteriše prekoa dva parametra -  $\alpha$  i  $\mu$ . Parametar  $\alpha$  zavisi od stepena nelinearnosti sistema. Za veće vrednosti  $\alpha$  uticaj fedinga je manje oštar, a za manje vrednosti parametra  $\alpha$  uticaj fedinga je više oštiji. Parametar  $\mu$  je povezan sa brojem klastera u propagacionoj okolini. Kada parametar  $\mu$  raste, oštrina uticaja fedinga opada. Kada parametar  $\mu$  opada, oštrina uticaja fedinga raste. Iz  $\alpha$ - $\mu$  raspodele mogu biti izvedene neke druge raspodele kao specijalni slučajevi. Kada je parametar  $\alpha=2$ , iz  $\alpha$ - $\mu$  raspodele se dobija Nakagami- $m$  raspodela, a za  $\mu=1$ ,  $\alpha$ - $\mu$  raspodela postaje Veibulova raspodela. Kada je  $\mu=1$  i  $\alpha=2$ ,  $\alpha$ - $\mu$  raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu [45-48].  $\alpha$ - $\mu$  raspodela može opisati varijaciju anvelope signala u sredinama koje su nelinearne i postoji više klastera u propagacionom kanalu i nema optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika. Gustina verovatnoće  $\alpha$ - $\mu$  raspodele se dobija transformacijom Nakagami- $m$  gustine verovatnoće.

Za opisivanje promene snage amplitude zbog sporog fedinga koristi se Gama raspodela i log-normalna raspodela. Prema eksperimentalnim rezultatima, log-normalna raspodela takođe opisuje uticaj sporog fedinga na performanse sistema. Međutim, i Gama raspodela tačno aproksimira log-normalnu raspodelu. U ćelijskim mobilnim radio sistemima uticaj sporog fedinga na performanse sistema je značajan. Kod ovih sistema je istovremeno prisutan spori feding i brzi feding [49-53].

---

$k$ - $\mu$  raspodela može biti upotrebljena da opiše promenu anvelope signala u feding sredinama gde postoji više klastera, postoje dominantne komponente i sredina je linearna, odnosno, važi centralna granična teorema. Ova raspodela ima dva parametra. Parametar  $k$  je Rajsov faktor, a parametar  $\mu$  je povezan sa brojem klastera u propagacionoj okolini. Kada parametar  $\mu$  opada, oštrina uticaja fedinga raste, a kada parametar  $\mu$  raste, oštrina uticaja fedinga opada. Kada oštrina uticaja fedinga raste performanse sistema pogoršavaju [54-57].  $k$ - $\mu$  raspodela je generalna raspodela. Rajsova, Rejljeva i Nakagami- $m$  raspodela mogu se dobiti iz  $k$ - $\mu$  raspodele kao specijalni slučajevi. Za  $k=0$ ,  $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Nakagami- $m$  raspodelu, a za  $\mu=1$ ,  $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu. Za  $k=0$  i  $\mu=1$ ,  $k$ - $\mu$  raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu [58].

Spori Gama feding može uticati na brzi  $k$ - $\mu$  feding na tri načina. Spori feding može izazvati promenu snage signala, promenu dominantne komponente signala i promenu anvelope signala. Spori feding može uticati istovremeno na dominantnu komponentu i amplitudu, snagu anvelope i dominantnu komponentu i na snagu i anvelopu signala. Takođe, spori feding može istovremeno uticati na snagu signala, dominantnu komponentu i anvelopu signala [59].

$\alpha$ - $k$ - $\mu$  slučajna promenljiva može opisati promenu anvelope signala u nelinearnoj sredini u kojoj postoji više klastera i dominantna komponenta može postojati bar u jednom klasteru, ali ne važi centralna granična teorema pri sabiranju komponentata u fazi i kvadraturi na prijemniku. Ova raspodela ima tri parametra. Parametar  $\alpha$  zavisi od nelinearnosti sistema, parametar  $k$  je Rajsov faktor, a parametar  $\mu$  je broj klastera u propagacionoj okolini.  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  je generalna raspodela i više raspodela se mogu dobiti iz ove raspodele.  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u  $k$ - $\mu$  za  $\alpha=2$ , prelazi u  $\alpha$ - $\mu$  raspodelu za  $k=0$  i prelazi u  $\alpha$ - $k$  raspodelu za  $\mu=1$ . Za  $k=0$  i za  $\mu=1$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Veibulovu raspodelu. Za  $\alpha=2$  i  $k=0$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Nakagami- $m$  raspodelu. Za  $\alpha=2$  i  $\mu=1$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu. Za  $\alpha=2$ ,  $k=0$  i  $\mu=1$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodela aprkosimira Rejljevu raspodelu [60-62].

$\eta$ - $\mu$  raspodela može opisati varijaciju anvelope signala u linearnim sredinama, bez dominantne komponente sa više klastera i različitim snagama komponente u fazi i kvadraturi. Parametar  $\eta$  izražava odnos snage komponente u fazi i snage komponente u kvadraturi. Kada je  $\eta=1$ ,  $\eta$ - $\mu$  raspodela prelazi u Nakagami- $m$  raspodelu, a za  $\mu=1$ ,  $\eta$ - $\mu$  raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu [63-65].

Međukanalna interferencija je jedna od osnovnih smetnji koje se pojavljuju kod bežičnih telekomunikacionih sistema. Ona se može definisati kao slučajni talas koji radi na

---

istoj nosećoj učestanosti kao željeni korisni signal. Signali iz dva ili više kanala, koji su na istoj učestanosti i na raznim lokacijama interferiraju [66-68]. U nekim kanalima međukanalna interferencija može da bude dominantna smetnja. Snaga šuma može da bude znatno manja od snage međukanalne interferencije tako da se uticaj Gausovog termičkog šuma na performanse sistema može zanemariti. Ovakvi kanali se nazivaju interferencijom ograničeni kanali. Može se desiti da je snaga šuma znatno veća od snage međukanalne interferencije tako da se uticaj međukanalne interferencije na performanse sistema može zanemariti. Ovi kanali se zovu šumom ograničeni kanali. Čelijski telekomuniacioni sistemi su interferencijom ograničeni sistemi. Kod ovih sistema je ista noseća učestanost u različitim ćelijama. Kapacitet sistema se povećava sa povećanjem broja ćelija. Sa povećanjem broj ćelija smanjuje se rastojanje između ćelija, a sa ovim se povećava uticaj međukanalne interferencije. U ovom slučaju se traži kompromis između kapaciteta kanala i kvaliteta prenosa degradiranog prisustvom međukanalne interferencije. Kod ovih sistema, korisni signal u samoj ćeliji je izložen uticaju fedinga koji ima dominantnu komponentu. Međukanalna interferencija dolazi od udaljene ćelije i izložena je uticaju fedinga bez dominantne komponente. Međukanalna interferencija može da bude jedna ili više. Kada postoji više interferencija, one mogu da se aproksimiraju sa Gausovim šumom prema centralnoj graničnoj teoremi. Često se razmatra jedna međukanalna interferencija čija je snaga jednaka snazi svih međukanalnih interferencija. Može da se razmatra i uticaj više interferencija na performanse bežičnih telekomunikacionih sistema. Međukanalna interferencija može da se predstavi kao slučajni talas sa promenljivom anvelopom i uniformno raspoređenom fazom [69-71]. Gustina verovatnoće anvelope zavisi od fedinga prisutnog u kanalu. Kao i u slučaju korisnog signala, međukanalna interferencija može da bude istovremeno izložena uticajem brzog i sporog fedinga. Brzi feding ima uticaja na anvelopu međukanalne interferencije, a spori feding ima uticaja na snagu interferencije.

---

### **3. MAKRODIVERZITI SISTEM SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI SC KOMBINERA U PRISUSTVU $k$ - $\mu$ BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA**

U ovoj glavi razmtra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC (selection combining) prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Na ulazima je prisutan brzi  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Razmatra se srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Da bi se odredio srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema treba odrediti srednji broj osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive, srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika i srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika [69].

Kvadrat  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednak je zbiru kvadrata  $2\mu$  Gausovih slučajnih promenljivih. Pretpostavlja se da je  $\mu$  ceo broj. Ako je  $\mu$  razlomljen broj onda se mogu odrediti donja granica srednjeg broja osnih preseka. Gausove slučajne promenljive su nezavisne, odnosno, one su nekorelisane. Ove Gausove slučajne promenljive imaju bar jednu srednju vrednost različitu od nule, a varijanse su im jednake. Zatim je određen prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Ovaj prvi izvod je linearna kombinacija prvog izvoda Gausovih slučajnih promenljivih. Prvi izvod od Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva. Takođe, linearna kombinacija Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva. Na osnovu ovoga je prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive Gausova slučajna promenljiva. Da bi se ova slučajna promenljiva odredila potrebno je odrediti njenu srednju vrednost i varijansu [73-74].

Srednja vrednost od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je nula, pošto je srednja vrednost od prvog izvoda Gausove slučajne promenljive nula. Varijansa prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednaka je srednjoj kvadratnoj vrednosti od prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive pošto je srednja vrednost prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive nula. Dobija se

---

da je varijansa od prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednaka lieraranoj kombinaciji varijansa prvog izvoda Gausove slučajne promenljive. Varijansa prvog izvoda Gausove slučajne promenljive zavisi od maksimalne Doplerove frekvencije i snage sketering komponente za jedan Gausov par. Na osnovu srednje vrednosti i varijanse može da se odredi Gausova gustina verovatnoće prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Na osnovu varijanse prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive može da se utvrdi da su  $k$ - $\mu$  slučajna promenljiva i prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne pomenljive međusobno nezavisni, odnosno nekorelisani. Na osnovu ovoga može da se utvrdi da je združena gustina verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednak proizvodu gustine verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i Gausove gustine verovatnoće prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Na ovaj način je određena združena gustina verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Srednji broj osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive [75].

U ovoj glavi je, zatim, razmatran SC diverziti prijemnik na čijim se ulazima pojavljuje nezavisni i identičan  $k$ - $\mu$  feding. Pokazano je da je združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika i njegovog prvog izvoda jednaka dvostrukom proizvodu združene gustine verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda. Zatim je izračunata srednja vrednost prvog izvoda signala na izlazu iz SC prijemnika. Dobijeno je da je srednja vrednost broja osnih preseka signala na izalzu iz SC prijemnika jednaka dvostrukom proizvodu srednjeg broja osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i kumulativne verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Na ovaj način mogu da se izračunaju srednja vrednost broja osnih preseka signala na izlazu iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti SC prijemnika.

Verovatnoća otkaza mikrodiverziti SC prijemnika jednaka je kvadratu kumulativne verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Srednje vreme trajanja otkaza makrodiverziti SC prijemnika jednaka je količniku verovatnoće otkaza mikrodiverziti SC prijemnika i srednjeg broja osnih preseka signalana izalzu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je srednjem broju osnih preseka na izlazu onog mikrodiverziti SC prijemnika na čijem je ulazima snaga signala maksimalna. Snage signala na ulazima u mikrodiverziti SC prijemnik slede korelisanu Gama raspodelu. Na osnovu teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Verovatnoća otkaza makrodiverziti sistema jednaka je verovatnoći otkaza onog mikrodiverziti SC prijemnika ne čijim je ulazima snaga korisnog signala veća od snage

korisnog signala na ulazima u druga dva mikrodiverziti SC prijemnika. Na osnovu ovoga, primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi verovatnoća otkaza makrodiverziti SC prijemnika. Srednje vreme trajanja otkaza makrodiverziti SC prijemnika jednako je srednjoj vrednosti trajanja otkaza onog mikrodiverziti SC prijemnika na čijim je ulazima srednja snaga maksimalna [76-78]. Na osnovu ovoga može da se odredi srednje vreme trajanja otkaza makrodiverziti sistema.

### 3.1. Srednji broj osnih preseka $k$ - $\mu$ slučajne promenljive

Kvadrat  $k$ - $\mu$  slučajna promenljiva je

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \quad , \quad (3.1)$$

gde su  $x_i$ ,  $i=1,2,\dots,2\mu$  nezavisne Gausove slučajne promenljive sa varijansom  $\sigma^2$ . Prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$\dot{x} = \frac{1}{x} (x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 + \dots + x_{2\mu} \dot{x}_{2\mu}) . \quad (3.2)$$

Slučajne promenljive  $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_{2\mu}$  su Gausove slučajne promenljive. Linearna transformacija od Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva [6]. Prvi izvod od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $\dot{x}_1$  je uslovna Gausova slučajna promenljiva. Srednja vrednost od  $\dot{x}$  je

$$\bar{\dot{x}} = \frac{1}{x} (x_1 \bar{\dot{x}}_1 + x_2 \bar{\dot{x}}_2 + \dots + x_{2\mu} \bar{\dot{x}}_{2\mu}) = 0 \quad , \quad (3.3)$$

pošto je  $\bar{\dot{x}}_1 = \bar{\dot{x}}_2 = \dots = \bar{\dot{x}}_{2\mu} = 0$ .

Varijansa od  $\dot{x}$  je

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} (x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2 \sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2) \quad (3.4)$$

gde je

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \sigma_{\dot{x}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 = 2\sigma^2 \pi^2 f_m^2 . \quad (3.5)$$

Zamenom (3.5) u (3.4) se dobija

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} 2\sigma^2 \pi^2 f_m^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2\mu}^2) = \frac{1}{x^2} 2\sigma^2 \pi^2 f_m^2 x^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega}{\mu(k+1)} . \quad (3.6)$$

Združena gustina verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x$  i  $\dot{x}$  je

---


$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/x) p_x(x) = p_{\dot{x}}(\dot{x}) p_x(x) \quad (3.7)$$

gde je gustina verovatnoće promenljive  $\dot{x}$  data sa

$$p_{\dot{x}}(\dot{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}}^2}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}} \quad (3.8)$$

i gustina verovatnoće promenljive  $x$  sa

$$p_x(x) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} x^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} x \right) . \quad (3.9)$$

Parametar  $\mu$  predstavlja broj klastera kroz koji se prostire signal,  $k$  Rajsov faktor,  $x_0$  srednja snaga signala, a  $I_n(\cdot)$  modifikovana Beselova funkcija prvog reda  $n$ -te vrste. Nakon razvoja Beselove funkcije u red, izraz za gustinu verovatnoće  $x$  postaje [79]:

$$p_x(x) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} x^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+\mu-1} . \quad (3.10)$$

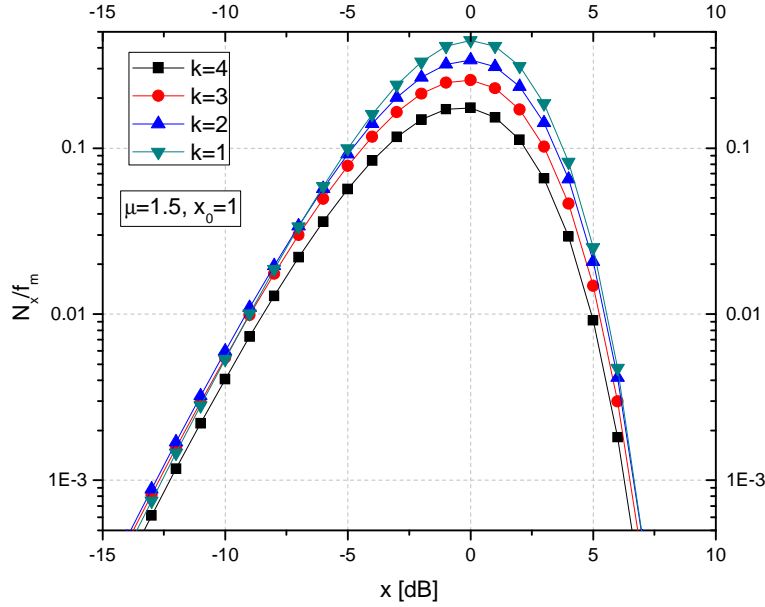
Zamenom (3.10) i (3.8) u (3.7) se dobija

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}}^2}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} . \quad (3.11)$$

Srednji broj osnih preseka od  $x$  je

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^{\infty} d\dot{x} \cdot \dot{x} \cdot p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \\ &= \int_0^{\infty} d\dot{x} \cdot \dot{x} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}}^2}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} = . \quad (3.12) \\ &= \frac{\sqrt{2\pi} f_m \mu^{\frac{1}{2}} (k+1)^{\frac{\mu}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} \end{aligned}$$

Na osnovu (3.12), na Slici 3.1 je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka  $k$ -u slučajne promenljive u zavisnosti od amplitude signala  $x$  za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Parametar  $\mu$  iznosi 1.5, a srednja snaga signala  $x_0=1$ . Sa porastom amplitude signala srednji broj osnih preseka raste do  $x=0$  dB, nakon čega se smanjuju. Rast srednjeg broja osnih preseka je blaži nego opadanje. Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora dolazi do povećanja vrednosti srednjeg broja osnih preseka.



Slika 3.1: Srednji broj osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora.

Kumulativna verovatnoća od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$\begin{aligned}
 F_x(x) &= \int_0^x dt p_x(t) = \int_0^x dt \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} t^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)t^2}{x_0}} = \\
 &= \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \int_0^x dt \cdot t^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)t^2}{x_0}} \quad . \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

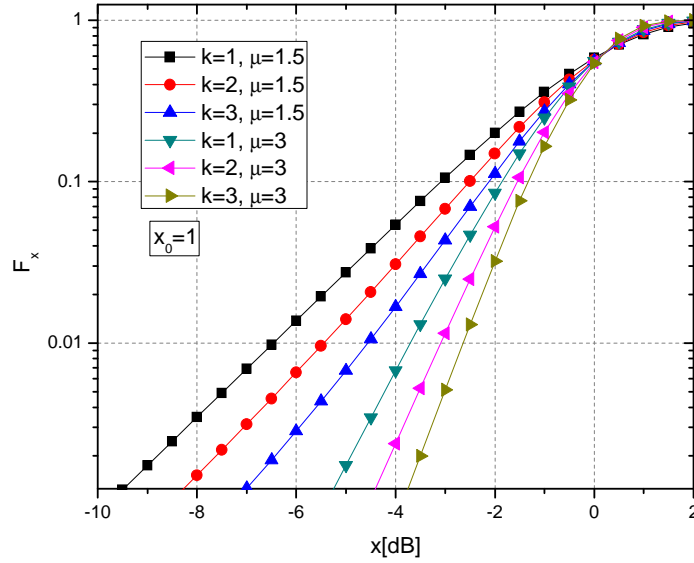
Nakon rešavanja integrala u (3.13) koristeći [79], izraz za kumulativnu verovatnoću  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive postaje

$$\begin{aligned}
 F_x(x) &= \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} x_0^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \left( \frac{x_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu} \times \\
 &\times \frac{1}{i_1+\mu} \left( \frac{\mu(k+1)}{x_0} \right)^{i_1+\mu} x^{2i_1+2\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)}{x_0} x^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+\mu)!}{(i_1+\mu+i_2)!} \frac{(\mu(k+1)x^2)^{i_2}}{x_0^{i_2}} \quad . \quad (3.14)
 \end{aligned}$$

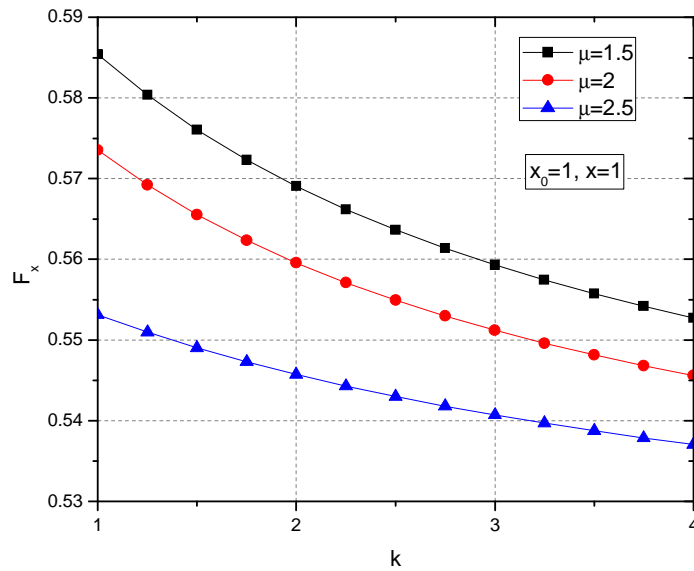
Koristeći se (3.14) dobijeni su grafički prikazi kumulativne verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Na Slici 3.2 je prikazana kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od amplitude signala  $x$  za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Srednja snaga signala  $x_0=1$ . Sa porastom amplitude signala  $x$  kumulativna verovatnoća teži 1.



Rast kumulativne verovatnoće je izraženiji za više vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Takođe, sa porastom broja klastera  $\mu$  dolazi do bržeg porasta kumulativne verovatnoće.



Slika 3.2: Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

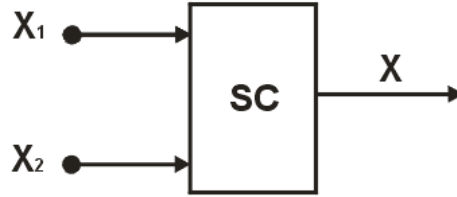


Slika 3.3: Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

Na Slici 3.3 je prikazana promena kumulativne verovatnoće u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora i za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ . Srednja snaga signala je  $x_0=1$ , a amplituda  $x=1$ . Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora kumulativna verovatnoća opada. Opadanje kumulativne verovatnoće je znatnije izraženo za niže vrednosti broja klastera  $\mu$ .

### 3.2. Statističke karakteristike signala na izlazu iz SC kombinera

Razmatra se SC kombiner sa dva ulaza. Na ulazima je prisutan  $k$ - $\mu$  feding. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.4.



Slika 3.4: SC kombiner sa dva ulaza.

Signali na ulazima su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a signal na izlazu je označen sa  $x$ . Gustine verovatnoće od  $x_1$  i  $x_2$  su

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k \Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x_1^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x_1^2}{\Omega_1}}, \quad (3.15)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k \Omega_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} x_2^{2i_2+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x_2^2}{\Omega_2}}, \quad (3.16)$$

gde  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$  predstavljaju snage signala na ulazima 1 i 2 SC kombinera.

Kumulativne verovatnoće od  $x_1$  i  $x_2$  su

$$F_{x_1}(x_1) = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k \Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \left( \frac{\Omega_1}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu} \gamma \left( i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x_1^2 \right) \quad (3.17)$$

$$F_{x_2}(x_2) = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k \Omega_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \left( \frac{\Omega_2}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left( i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2} x_2^2 \right) \quad (3.18)$$

gde  $\gamma(\cdot)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju.

Združena gustina verovatnoće od  $x$  i  $\dot{x}$  je

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x) = 2p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x). \quad (3.19)$$

Srednji broj osnih preseka za  $\dot{x}$  je

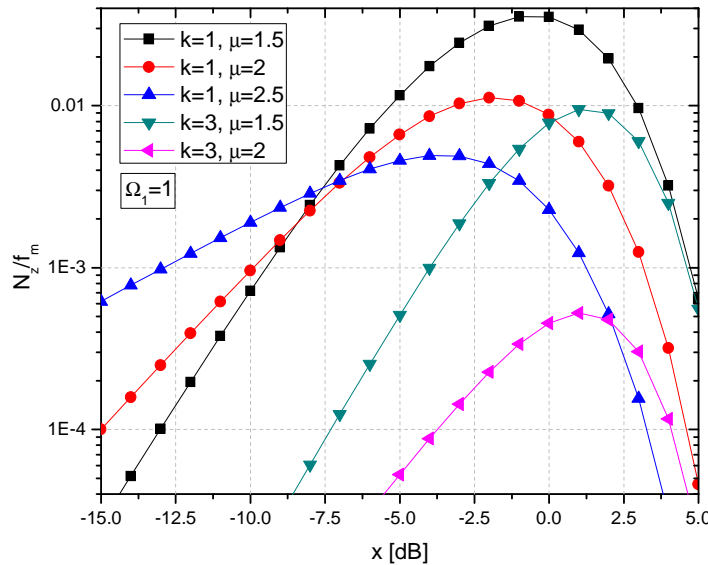
$$N_x = \int_0^\infty dx \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = 2F_{x_2}(x) \int_0^\infty dx \dot{x} p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) = 2F_{x_2}(x) N_{x_1}, \quad (3.20)$$

gde je  $N_{x_1}$  dato sa (3.12), a  $F_{x_2}$  sa (3.18). Nakon zamene (3.12) i (3.18) u (3.20), srednji broj osnih preseka za  $\dot{x}$  postaje

$$N_x = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \left( \frac{\Omega_1}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma\left(i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x^2\right) \times$$

$$\times \frac{\sqrt{2\pi} f_m \mu^{\frac{1}{2}} (k+1)^{\frac{\mu}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1}}. \quad (3.21)$$

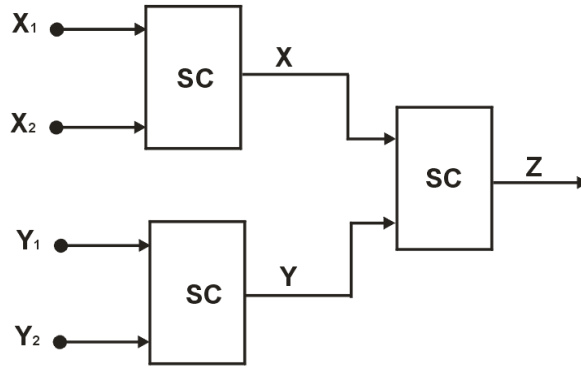
Na osnovu (3.21), na Slici 3.5 je prikazana promena normalizovanog srednjeg broja osnih preseka u zavisnosti od amplitude signala  $x$  i za vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Srednja snaga signala je  $\Omega_1=1$ . Maksimum srednjeg broja onih preseka se znatnije potiže za više vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i parametra  $\mu$ . Takođe, maksimalna vrednost srednjeg broja onih preseka je niža za više vrednosti parametra  $k$  i parametra  $\mu$ .



Slika 3.5: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

### 3.3. Makrodiverziti sistema sa dva mikrodiverziti SC kombinera

Posmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika. Model koji se razmatra prikazan je na Slici 3.6. Na ulazima je prisutan  $k$ - $\mu$  feding. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti SC prijemnik su  $x_1$  i  $x_2$ , a na ulazima u drugi mikrodiverziti SC prijemnik su  $y_1$  i  $y_2$ . Signal na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika je  $x$ , a na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika je  $y$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je  $z$ .



Slika 3.6: Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti SC kombinera.

Srednji broj osnih preseka za  $x$  i  $y$  (signala na izlazu iz prvog i drugog mikrodiverziti SC kombinera) su:

$$N_x = \frac{2\sqrt{2\pi} f_m \mu^{\frac{3}{2}} (k+1)^{\mu+\frac{1}{2}}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k} \Omega_1^{2\mu+\frac{3}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1}} \times$$

$$\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \left( \frac{\Omega_1}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left( i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x^2 \right)$$
(3.22)

i

$$N_y = \frac{2\sqrt{2\pi} f_m \mu^{\frac{3}{2}} (k+1)^{\mu+\frac{1}{2}}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k} \Omega_2^{2\mu+\frac{3}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2j_1+\mu-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu)} y^{2j_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y^2}{\Omega_2}} \times$$

$$\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2j_2+\mu-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+\mu)} \left( \frac{\Omega_2}{\mu(k+1)} \right)^{j_2+\mu} \gamma \left( j_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2} y^2 \right)$$
(3.23)

Srednje snage  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$  imaju združenu gustinu verovatnoće

$$\begin{aligned}
 p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) &= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} I_{c-1}\left(\frac{2\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\Omega_1^{\frac{1}{2}}\Omega_2^{\frac{1}{2}}\right) = \\
 &= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \Omega_1^{i_3+c-1} \Omega_2^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}
 \end{aligned} \quad (3.24)$$

gde je  $\Omega_0$  srednja kvadratna vrednost promene snage,  $\rho$  koeficijent korelacije na makro nivou, a  $c$  dubina osenčenosti kanala.

Srednji broj osnih preseka od  $z$  (signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera) je

$$\begin{aligned}
 N_z &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 N_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \\
 &= 2 \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2)
 \end{aligned} \quad (3.25)$$

gde je  $N_{x/\Omega_1}$  je dato sa (3.22), a  $p_{\Omega_1\Omega_2}$  sa (3.24). Nakon zamene (3.22) i (3.24) u (3.25) dobija se

$$\begin{aligned}
 N_z &= \frac{4\sqrt{2\pi}f_m\mu^{\frac{3}{2}}(k+1)^{\mu+\frac{1}{2}}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_2+\mu-1} \times \\
 &\times \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu)} \left(\frac{1}{\mu(k+1)}\right)^{i_2+\mu} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \times \\
 &\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-i_1+i_3+c-2\mu-\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \gamma\left(i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1}x^2\right) \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}
 \end{aligned} \quad (3.26)$$

Primenom [79] se rešava integral  $\int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}$ , nakon čega se dobija

$$\begin{aligned}
 N_z &= \frac{4\sqrt{2\pi}f_m\mu^{\frac{3}{2}}(k+1)^{\mu+\frac{1}{2}}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_1+\mu-1} \frac{x^{2i_1+2\mu-1}}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_2+\mu-1} \times \\
 &\times \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu)} \left(\frac{1}{\mu(k+1)}\right)^{i_2+\mu} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho^2))^{i_3+c}}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \times \\
 &\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-i_1+i_3+c-2\mu-\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \gamma\left(i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1}x^2\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)
 \end{aligned} \quad (3.27)$$

Posmatra se integral

$$I = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-i_1+i_3+c-2\mu-\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \gamma\left(i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x^2\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right). \quad (3.28)$$

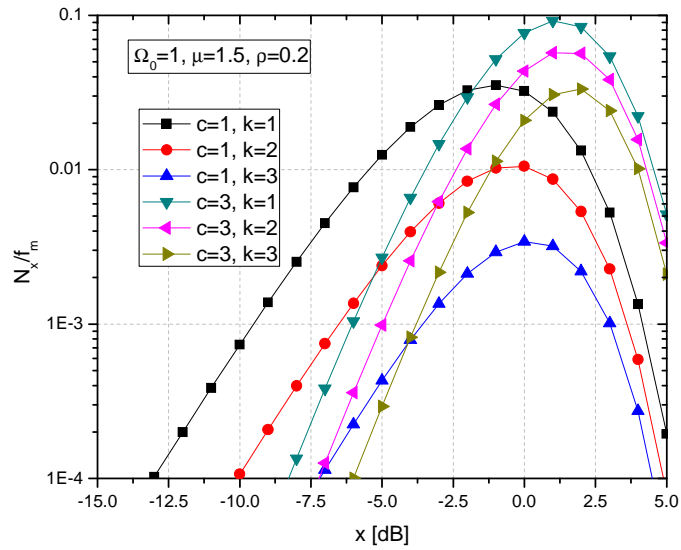
Razvojem donje nepotpune Gama funkcije i primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-i_1+i_3+c-2\mu-\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \times \\ &\times \frac{1}{i_2+\mu} \left(\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1}\right)^{i_2+\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+\mu)!}{(i_2+\mu+j_1)!} \frac{(\mu(k+1)x^2)^{j_1}}{\Omega_1^{j_1}} \times \\ &\times \frac{1}{i_3+c} \left(\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{i_3+c} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{\Omega_1^{j_2}}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} = \\ &= \frac{1}{i_2+\mu} (\mu(k+1)x^2)^{i_2+\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+\mu)!}{(i_2+\mu+j_1)!} (\mu(k+1)x^2)^{j_1} \times \\ &\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \times \\ &\times (\mu(k+1)x^2 \Omega_0(1-\rho^2))^{-\frac{i_1}{2} - \frac{i_2}{2} + i_3 - \frac{j_1}{2} + \frac{j_2}{2} + c - \frac{3\mu}{2} - \frac{1}{4}} K_{-i_1-i_2+2i_3-j_1+j_2+2c-3\mu-\frac{1}{2}} \left(2\sqrt{\frac{4\mu(k+1)x^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}\right). \quad (3.29) \end{aligned}$$

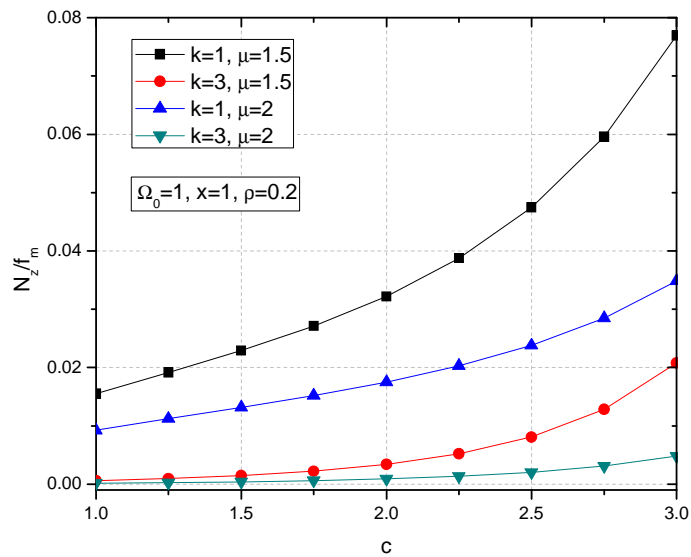
Nakon zamene (3.29) u (3.27) dobija se izraz za srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera:

$$\begin{aligned} N_z &= \frac{4\sqrt{2\pi} f_m \mu^{\frac{3}{2}} (k+1)^{\mu+\frac{1}{2}}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_1+\mu-1} \frac{x^{2i_1+2\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2i_2+\mu-1} \times \\ &\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \left(\frac{1}{\mu(k+1)}\right)^{i_2+\mu} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{\frac{c-1}{2}} \Omega_0^{c+1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho^2))^{i_3+c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\ &\times \frac{1}{i_2+\mu} (\mu(k+1)x^2)^{i_2+\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+\mu)!}{(i_2+\mu+j_1)!} (\mu(k+1)x^2)^{j_1} \times \\ &\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \times \\ &\times (\mu(k+1)x^2 \Omega_0(1-\rho^2))^{-\frac{i_1}{2} - \frac{i_2}{2} + i_3 - \frac{j_1}{2} + \frac{j_2}{2} + c - \frac{3\mu}{2} - \frac{1}{4}} K_{-i_1-i_2+2i_3-j_1+j_2+2c-3\mu-\frac{1}{2}} \left(2\sqrt{\frac{4\mu(k+1)x^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}\right) \quad (3.30) \end{aligned}$$

Pomoću (3.30) grafički su dobijeni srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera.



Slika 3.7: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i dubine osenčenosti kanala  $c$ .

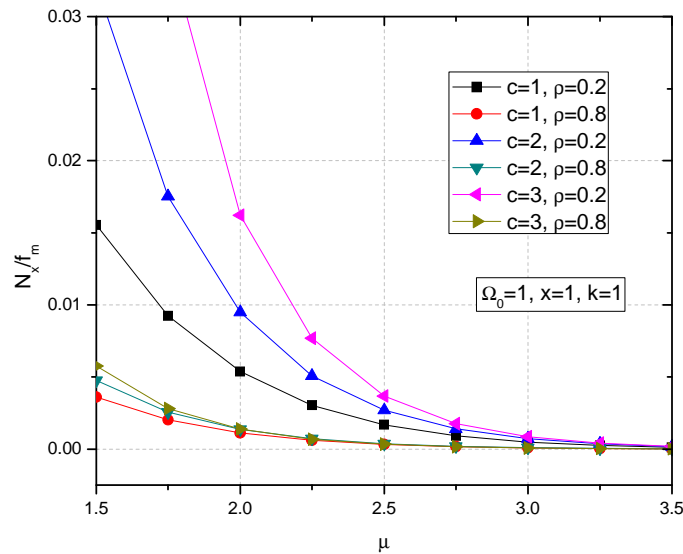


Slika 3.8: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od dubine osenčenosti kanala  $c$ .

Na Slici 3.7 je prikazan normalizovan srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od amplitude signala  $x$  i za različite vrednosti Rajsovog  $k$

faktora i dubine osenčenosti kanala  $c$ . Srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ , broj klastera kroz koji se prostire signal  $\mu=1.5$ , a koeficijent korelacije  $\rho=0.2$ . Maksimum srednjeg broja osnih preseka se brže postiže za više vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  nego za niže. Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora smanjuje se maksimum srednjeg broja osnih preseka dok se sa povećanjem parametra  $c$  povećava i maksimum srednjeg broja osnih preseka.

Na Slici 3.8 je prikazana promena normalizovanog srednjeg broja osnih preseka u zavisnosti od dubine osenčenosti kanala i za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Amplituda signala je  $x=1$ , a koeficijent korelacije  $\rho=0.2$ . Srednji broj osnih preseka rastu sa porastom dubine osenčenosti kanala. Pri nižim vrednostima dubine osenčenosti kanala srednji broj osnih preseka sporije raste. Rast je brži za niže vrednosti  $\mu$  i  $k$ . Više vrednosti srednjeg broja osnih preseka se dobijaju za niže vrednosti broja klastera i Rajsovog  $k$  faktora.



Slika 3.9: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

Na Slici 3.9 je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ , a za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  i koeficijenta korelacije  $\rho$ . Srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ , amplituda signala  $x=1.5$ , a Rajsov faktor je  $k=1$ . Srednji broj osnih preseka opada sa porastom broja klastera  $\mu$  s tim što je pad znatno izraženiji za niže vrednosti parametra  $\mu$ , da

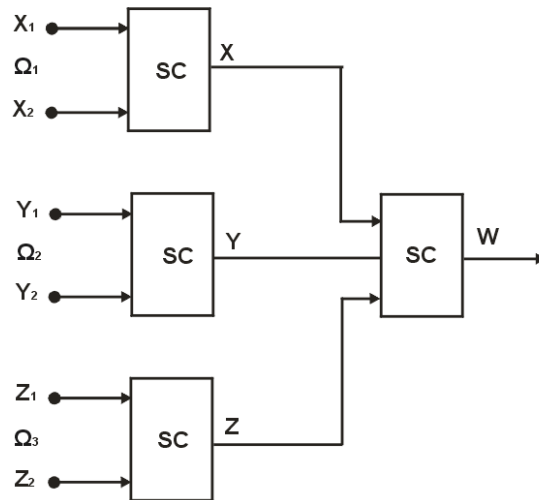


---

bi sa njegovim porastom srednji broj osnih preseka težio nuli. Za više vrednosti parametra  $c$  opadanje srednjeg broja osnih preseka je znatno izraženije. Za niže vrednosti koeficijenta korelacije  $\rho$  opadanje srednjeg broja osnih preseka je brže.

### 3.3. Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera

Razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.10. Na ulazima je prisutan  $k$ - $\mu$  nezavisen feding. Mikrodiverziti SC prijemnici imaju po dva ulaza. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti SC kombiner su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a signal na izlazu sa  $x$ . Signali na ulazima u drugi mikrodiverziti SC kombiner su označeni sa  $y_1$  i  $y_2$ , a signal na izlazu je označen sa  $y$ . Signali na ulazima u treći mikrodiverziti SC kombiner su označeni sa  $z_1$  i  $z_2$ , a signal na izlazu sa  $z$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je označen sa  $w$ . Snage signala na ulazima u mikrodiverziti prijemnike su označene sa  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$ .



Slika 3.10: Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera.

Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika  $w$  jednak je signalu na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik veća od snage na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  i od snage na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika  $w$  jednak je signalu na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  veća od snage na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik

$\Omega_1$  i od snage na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika  $w$  jednak je signalu na izlazu iz trećeg mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$  veća od snage na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_1$  i od snage na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  [58].

Gustina verovatnoće signala  $x_1$  i  $x_2$  je

$$p_{x_i}(x_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} x_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)x_i^2}{\Omega_1}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} x_i \right), \quad i=1,2 \quad . \quad (3.31)$$

Gustina verovatnoće signala  $y_1$  i  $y_2$  je

$$p_{y_i}(y_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} y_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)y_i^2}{\Omega_2}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} y_i \right), \quad i=1,2 \quad . \quad (3.32)$$

Gustina verovatnoće signala  $z_1$  i  $z_2$  je

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_3^{\mu+1}} z_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)z_i^2}{\Omega_3}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} z_i \right), \quad i=1,2 \quad . \quad (3.33)$$

Nakon razvoja Beselove funkcije  $I(\cdot)$  u red [79], izrazi za gustinu verovatnoće signala na ulazima u prvi, drugi i treći mikrodiverziti SC kombiner postaju, respektivno:

$$p_{x_i}(x_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} x_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)x_i^2}{\Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x_i^{2i_1+\mu-1}, \quad i=1,2 \quad , \quad (3.34)$$

$$p_{y_i}(y_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} y_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)y_i^2}{\Omega_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} y_i^{2i_2+\mu-1}, \quad i=1,2 \quad , \quad (3.35)$$

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_3^{\mu+1}} z_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)z_i^2}{\Omega_3}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_3+\mu-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu)} z_i^{2i_3+\mu-1}, \quad i=1,2 \quad . \quad (3.36)$$

Kumulativna verovatnoća od  $x_i$ ,  $i=1,2$  je

$$\begin{aligned} F_{x_i}(x_i) &= \int_0^{x_i} dt p_{x_i}(t) = \\ &= \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \int_0^{x_i} dt \cdot t^{2i_1+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)t^2}{\Omega_1}}, \quad i=1,2 \end{aligned} \quad . \quad (3.37)$$

Nakon rešavanja integrala primenom [79] dobija se izraz za kumulativnu verovatnoću signala na ulazu u prvi mikrodiverziti SC kombiner:

$$F_{x_i}(x_i) = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times \left( \frac{\Omega_1}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu} \gamma \left( i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x_i^2 \right), \quad i=1,2 \quad (3.38)$$

Kumulativna verovatnoća od  $y_i$ ,  $i=1,2$  je

$$F_{y_i}(y_i) = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \times \left( \frac{\Omega_2}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left( i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2} y_i^2 \right), \quad i=1,2 \quad (3.39)$$

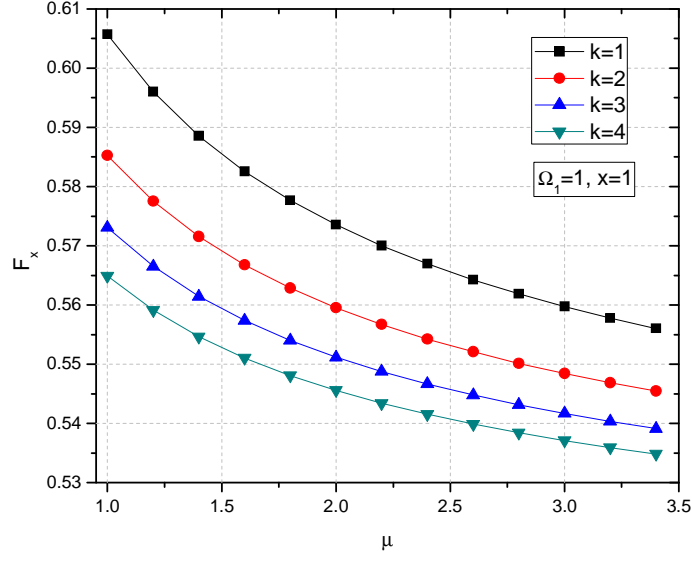
Kumulativna verovatnoća od  $z_i$ ,  $i=1,2$  je

$$F_{z_i}(z_i) = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_3^{\mu+1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_3+\mu-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu)} \times \left( \frac{\Omega_3}{\mu(k+1)} \right)^{i_3+\mu} \gamma \left( i_3+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_3} z_i^2 \right), \quad i=1,2 \quad (3.40)$$

gde  $\gamma(\cdot)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju.

Koristeći se (3.38), (3.39) i (3.40) mogu se dobiti grafički prikaz promene kumulativne verovatnoće signala na ulazu i mikrodiverziti prijemnike.

Na Slici 3.11 je prikazana promena kumulativne verovatnoće  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ , a za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Amplituda signala je  $x=1$ , a srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ . Sa porastom vrednosti broja klastera, kumulativna verovatnoća opada i to znatno brže za niže vrednosti broja klastera nego za više. Opadanje kumulativne verovatnoće je takođe brže za niže vrednosti Rajsovog faktora  $k$ . Više vrednosti kumulativne verovatnoće se dobijaju za niže vrednosti Rajsovog faktora  $k$ .



Slika 3.11: Kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC kombinera je

$$p_x(x) = p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x) = 2p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) \quad , \quad (3.41)$$

gde je  $p_{x_1}$  dato sa (3.34) a  $F_{x_2}$  sa (3.39). Nakon zamena (3.34) i (3.39) u (3.41) dobija se

$$p_x(x) = 4 \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \right)^2 e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{\Omega_1}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu)} x^{2j_1+2\mu-1} \times \quad (3.42)$$

$$\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \left( \frac{\Omega_1}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu} \gamma \left( i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} x^2 \right)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC kombinera je

$$p_y(y) = p_{y_1}(y)F_{y_2}(y) + p_{y_2}(y)F_{y_1}(y) = 2p_{y_1}(y)F_{y_2}(y) =$$

$$= 4 \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} \right)^2 e^{-\frac{\mu(k+1)y^2}{\Omega_2}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2j_2+\mu-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+\mu)} y^{2j_2+2\mu-1} \times \quad (3.43)$$

$$\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \left( \frac{\Omega_2}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left( i_2+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2} y^2 \right)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz trećeg mikrodiverziti SC kombinera je

---


$$\begin{aligned}
p_z(z) &= p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) + p_{z_2}(z)F_{z_1}(z) = 2p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) = \\
&= 4 \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k \Omega_3^{\mu+1}}} \right)^2 e^{-\frac{\mu(k+1)z^2}{\Omega_3}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2j_3+\mu-1} \frac{1}{j_3! \Gamma(j_3+\mu)} z^{2j_3+2\mu-1} \times \\
&\times \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_3+\mu-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu)} \left( \frac{\Omega_3}{\mu(k+1)} \right)^{i_3+\mu} \gamma \left( i_2 + \mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_3} z^2 \right)
\end{aligned} \quad (3.44)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je gustini verovatnoće signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_1$  veća od snage signala na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  i od snage na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$ . Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je gustini verovatnoće signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  veća od snage signala na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_1$  i od snage na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$ . Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je gustini verovatnoće signala na izlazu iz trećeg mikrodiverziti SC prijemnika ako je snaga na ulazu u treći mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_3$  veća od snage signala na ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_1$  i od snage na ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik  $\Omega_2$  [75]. Na osnovu ovoga je gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka

$$\begin{aligned}
p(w) &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 p_x \left( \frac{w}{\Omega_1} \right) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) + \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_x \left( \frac{w}{\Omega_2} \right) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) + \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 p_x \left( \frac{w}{\Omega_3} \right) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= I_1 + I_2 + I_3
\end{aligned} \quad (3.45)$$

gde je  $p_x(w/\Omega_1)$ ,  $p_x(w/\Omega_2)$  i  $p_x(w/\Omega_3)$  dato sa (3.42), (3.43) i (3.44), respektivno. Zdužena gustina verovatnoće snaga  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$  je data sa:

$$\begin{aligned}
p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) &= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \Omega_1^{i_1+c-1} \Omega_2^{i_1+i_2+c-1} \Omega_3^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2(1+\rho)+\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \quad (3.46)$$


---

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_x \left( \frac{w}{\Omega_1} \right) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{4\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \times \sum_{i_1=0}^\infty \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \\
&\times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-1-i_1-\frac{\mu-1}{2}-i_2-\frac{\mu-1}{2}-2(\mu+1)} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma \left( i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} w^2 \right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_3+i_4+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_4+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{3.47}$$

Nakon primene [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{4\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \sum_{i_1=0}^\infty \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-i_1-i_2-3\mu-2} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma \left( i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_1} w^2 \right) \times \\
&\times \gamma \left( i_3+i_4+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \gamma \left( i_4+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{3.48}$$

Nakon razvoja Gama funkcije i primenom [79] integral postaje

$$\begin{aligned}
& \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-i_1-i_2-3\mu-2} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_1 + \mu, \frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1}\right) \times \\
& \quad \times \gamma\left(i_3 + i_4 + c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_4 + c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right) = \\
& \quad = \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-i_1-i_2-3\mu-2} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_1 + c} \frac{(\mu(k+1)w^2)^{i_1+c}}{\Omega_1^{i_1+c}} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_1}} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} \frac{(\mu(k+1)w^2)^{j_1}}{\Omega_1^{j_1}} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_3+i_4+c} \frac{\Omega_1^{i_3+i_4+c}}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+i_4+c}} e^{-\frac{\Omega_1(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+i_4+c)!}{(i_3+i_4+c+j_2)!} \frac{\Omega_1^{j_2}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_4+c} \frac{\Omega_1^{i_4+c}}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} \frac{\Omega_1^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} = \\
& \quad = \frac{1}{i_1+c} (\mu(k+1)w^2)^{i_1+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} (\mu(k+1)w^2)^{j_1} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_3+i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+i_4+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+i_4+c)!}{(i_3+i_4+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
& \quad \times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-2i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3-3\mu+2c-2-1} e^{-\frac{2\mu(k+1)w^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1(2+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} = \\
& \quad = \frac{1}{i_1+c} (\mu(k+1)w^2)^{i_1+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} (\mu(k+1)w^2)^{j_1} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_3+i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+i_4+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+i_4+c)!}{(i_3+i_4+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \quad \times \frac{1}{i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
& \quad \times \left( \frac{2\mu(k+1)w^2 \Omega_0(1-\rho)}{2+\rho} \right)^{\frac{-2i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3-3\mu+2c-2}{2}} \times \\
& \quad \times K_{-2i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3-3\mu+2c-2} \left( 2\sqrt{\frac{2\mu(k+1)w^2(2+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{3.49}$$

tako da je integral

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{4\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4!\Gamma(i_4+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c} \times \\
&\times \frac{1}{i_1+c} (\mu(k+1)w^2)^{i_1+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} (\mu(k+1)w^2)^{j_1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3+i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+i_4+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+i_4+c)!}{(i_3+i_4+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \frac{1}{i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \left(\frac{2\mu(k+1)w^2\Omega_0(1-\rho)}{2+\rho}\right)^{\frac{-2i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3-3\mu+2c-2}{2}} \times \\
&\times K_{-2i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3-3\mu+2c-2} \left(2\sqrt{\frac{2\mu(k+1)w^2(2+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}\right)
\end{aligned} \tag{3.50}$$

gde je  $K_n(x)$  modifikovana Beselova funkcija druge vrste,  $n$ -tog reda i argumenta  $x$ .

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_y\left(\frac{w}{\Omega_2}\right) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4!\Gamma(i_4+c)} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{i_3+i_4+c-1-2(\mu+1)-i_2-\frac{\mu-1}{2}-i_1-\frac{\mu-1}{2}+i_1+\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_2}-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2} w^2\right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_4+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{3.51}$$



Primenom metode za računanje integrala  $I_1$ , integral  $I_2$  se svodi na

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{4\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}\Omega_1^{2(\mu+1)}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4!\Gamma(i_4+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_1+c} (\mu(k+1)w^2)^{i_1+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} (\mu(k+1)w^2)^{j_1} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} (\Omega_0(1-\rho))^{j_3} \times \\
&\quad \times \left(\frac{2\mu(k+1)w^2\Omega_0(1-\rho)}{3+\rho}\right)^{\frac{-i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3+2c-2\mu-3}{2}} \times \\
&\quad \times K_{-i_1-i_2+2i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3+2c-2\mu-3} \left(2\sqrt{\frac{2\mu(k+1)w^2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}\right)
\end{aligned} \tag{3.52}$$

Integral  $I_3$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_3 &= \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 p_z \left(\frac{w}{\Omega_3}\right) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \times \\
&\quad \times \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4!\Gamma(i_4+c)} \times \\
&\quad \times \int_0^{\infty} d\Omega_3 \Omega_3^{-2(\mu+1)-i_2-\frac{\mu-1}{2}-i_1-\frac{\mu-1}{2}+i_1+\mu+i_4+c-1} e^{-\frac{\mu(k+1)w^2}{\Omega_3}-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_1+\mu, \frac{\mu(k+1)}{\Omega_3} w^2\right) \times \\
&\quad \times \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \Omega_1^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 \Omega_2^{i_4+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{3.53}$$

Primenom metode za računanje integrala  $I_1$ , integral  $I_3$  se svodi na

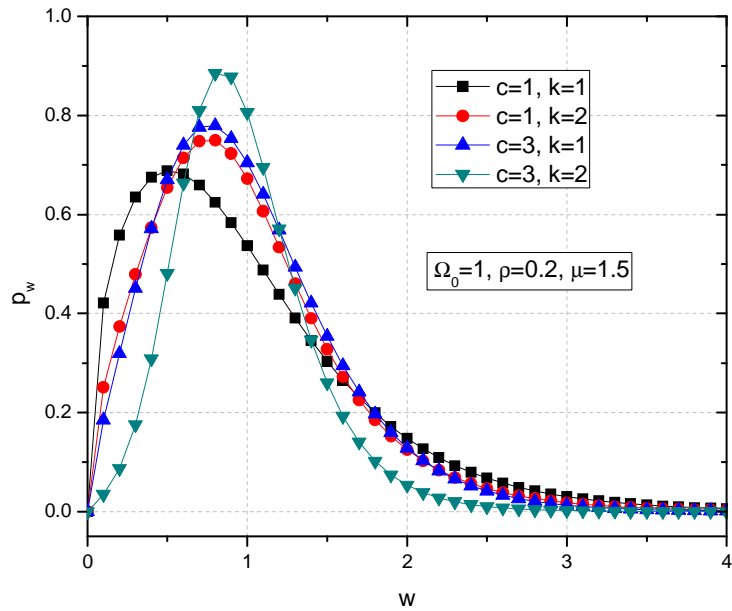
$$\begin{aligned}
I_3 = & \frac{4\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}\Omega_1^{2(\mu+1)}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu\sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} w^{2i_2+2\mu-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu\sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \times \\
& \times \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \times \\
& \times \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4!\Gamma(i_4+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+i_4+2c} \times \\
& \times \frac{1}{i_1+c} (\mu(k+1)w^2)^{i_1+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_1)!} (\mu(k+1)w^2)^{j_1} \times \\
& \times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \times \frac{1}{i_4+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_4+c}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_4+c)!}{(i_4+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
& \times \left( \frac{2}{3} \mu(k+1)w^2\Omega_0(1-\rho) \right)^{\frac{-i_1-i_2+i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3+2c-2\mu-1}{2}} \times \\
& \times K_{-i_1-i_2+i_3+2i_4-j_1+j_2+j_3+2c-2\mu-1} \left( 2\sqrt{\frac{6\mu(k+1)w^2}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{3.54}$$

Pomoću (3.45) dobijaju se grafički prikazi gustine verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

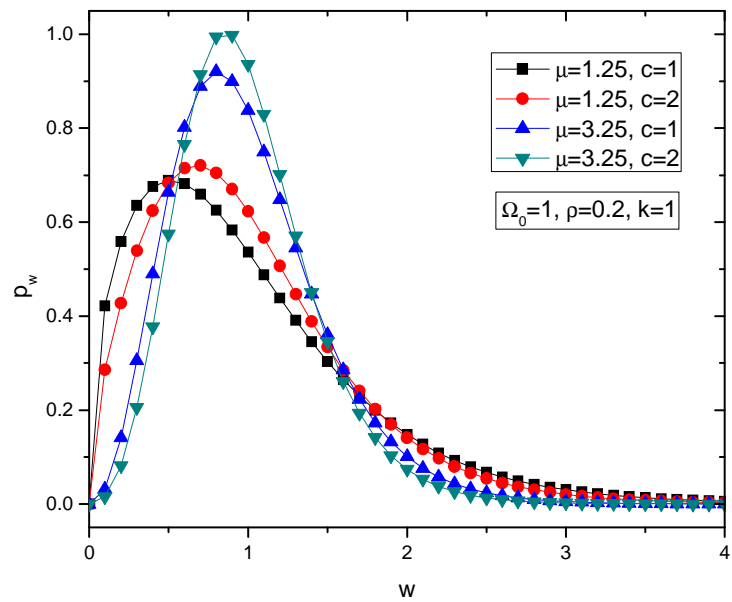
Na Slici 3.12 je prikazana gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  i Rajsovog  $k$  faktora. Broj klastera  $\mu=1.5$ . Vrh gustine verovatnoće je viši za visoke vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  i Rajsovog  $k$  faktora.

Na Slici 3.13 je data gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala  $c$ . Rajsov faktor iznosi  $k=1$ . Viši vrhovi gustine verovatnoće se dobijaju za više vrednosti broja klastera  $\mu$  i za više vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$ .

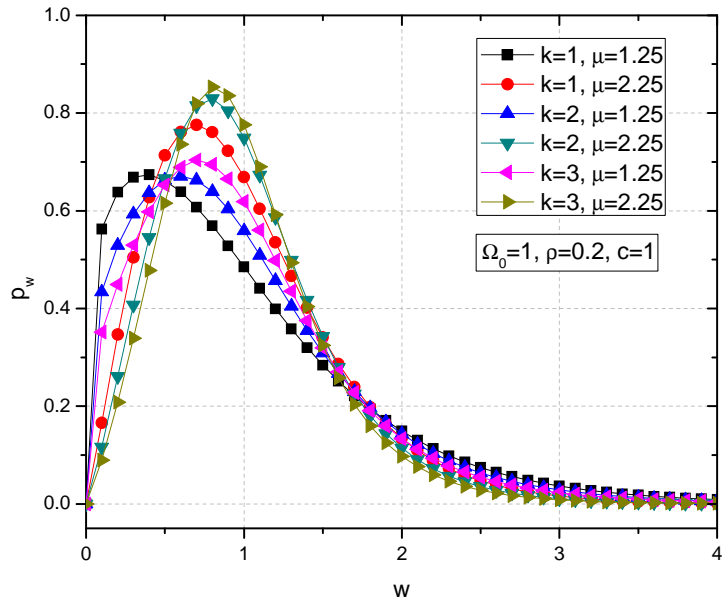
Na Slici 3.14 je prikazana promena Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Dubina osenčenosti kanala je  $c=1$ . Sa povećanjem Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera vrhovi gustine verovatnoće su više izraženiji. Koficijent korelacije za sva tri grafika je  $\rho=0.2$ , srednja kvadratna promena snage  $\Omega_0=1$ .



Slika 3.12: Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$  i Rajsovog  $k$  faktora.



Slika 3.13: Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala  $c$ .

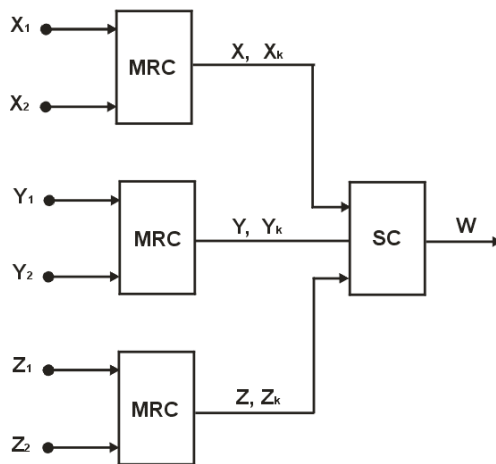


Slika 3.14: Gustina verovatnoće signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

---

## 4. MAKRODIVERZITI SISTEM SA TRI MRC KOMBINERA U PRISUSTVU $k$ - $\mu$ BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA

U ovoj glavi razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti selektivnim prijemnikom SC (selection combining) i tri mikrodiverziti MRC (maximum ratio combining) prijemnika. Na ulazima u mikrodiverziti MRC prijemnike prisutan je nezavisni  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Sistem koji se razmatra prikazan je na Slici 4.1.



Slika 4.1: Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti MRC kombinera.

Signali na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti prijemnik su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a na izlazu  $x$ . Signali na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti prijemnik su označeni sa  $y_1$  i  $y_2$ , a na izlazu  $y$ . Signali na ulazima u treći MRC mikrodiverziti prijemnik su označeni sa  $z_1$  i  $z_2$ , a na izlazu  $z$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti sistema je označen sa  $w$ .

Makro sistem koji se razmatra može biti primenjen u jednoj ćeliji, ćelijskog mobilnog radio sistema. Mikro diverziti prijemnici se postavljaju na baznim stanicama koje opslužuju mobilne korisnike u jednoj ćeliji. Makrodiverziti sistem koristi signale od više baznih stanica

---

postavljenih u jednoj ćeliji ili dve i više ćelija. Mikrodiverziti prijemnik smanjuje uticaj brzog fedinga na verovatnoću greške sistema, verovatnoću otkaza sistema i kapacitet kanala. Mikrodiverziti recepcija je realizovana kao MRC prijemnik. MRC prijemnik daje najbolje performanse ali je veoma složen za praktičnu implementaciju [80]. Makrodiverziti SC prijemnik smanjuje uticaj sporog gama fedinga na performanse sistema.

Kvadrat signala na izlazu iz makrodiverziti sistema jednak je zbiru kvadrata signala sa njegovih ulaza. Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je signalu sa izlaza prvog mikro diverziti MRC prijemnika ako je snaga signala na ulazu u prvi mikrodiverziti MRC prijemnik veća od snage signala na ulazu u drugi mikro diverziti MRC prijemnik i snage signala na ulazu u treći mikrodiverziti MRC prijemnik. Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je signalu na izlazu iz drugog mikrodiverziti MRC prijemnika ako je snaga signala na ulazu u drugi mikrodiverziti MRC prijemnik veća od snage signala na ulazu u prvi mikro diverziti MRC prijemnik i od snage signala na ulazu u treći mikrodiverziti MRC prijemnik. Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je signalu na izlazu iz trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika ako je snaga signala na ulazu u treći mikrodiverziti MRC prijemnik veća od snage signala na ulazu u prvi mikrodiverziti MRC prijemnik i od snage signala na ulazu u drugi mikrodiverziti MRC prijemnik.

U većini slučajeva se smatra da je spori feding korelisan. Koeficijent korelacije opada sa rastojanjem između antena. Ista prepreka može osenčavati signale na obe bazne stanice. U ovom slučaju da bi signali na antenama bili nezavisni potrebno je veliko rastojanje između baznih stanica koje su iz drugih razloga ne može postići. Zbog ovoga je spori feding korelisan. Stepenn korelacije je određen korelacionim koeficijentom ili korelacionom matricom. Korelacija ima velikog uticaja na performanse sistema. Kada korelacioni koeficijent teži ka 1, onda makrodiverziti sistem nema uticaja na poboljšanje diverziti dobitka [81-82].

Kvadrat  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive jednak je zbiru  $2\mu$  kvadrata Gausovih nezavisnih slučajnih promenljivih i kvadrat na izlazu iz MRC prijemnika jednak je zbiru kvadrata signala na njegovim ulazima, pa otuda sledi da je kvadrat signala na izlazu iz MRC prijemnika jednak zbiru  $\mu \cdot l$  kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa istim varijansama, gde je  $l$  broj ulaza u MRC prijemnik. Na osnovu ovoga može da se zaključi da kvadrat signala na izlazima iz mikrodiverziti MRC prijemnika na baznim stanicama sledi  $\chi^2$

---

raspodelu. Na ovaj način transformacionom metodom može da se odredi gustina verovatnoće signala na izlazu iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika [83].

Makrodiverziti SC prijemnik se priključuje na izlaz onog mikrodiverziti prijemnika koji ima najveću snagu na ulazu. Gustina verovatnoće signala na izlazu jednaka je gustini verovatnoće signala na izlazu onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu na ulazu. Na osnovu ovoga može da se odredi gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Kumulativna verovatnoća signala se dobija integracijom gustine verovatnoće signala. Tako može da se dobije kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je kumulativnoj verovatnoći signala na izlazu onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu signala na njegovim ulazima. Primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika [75]. Ako se koristi združena Gama gustina verovatnoće za raspodelu snaga na ulazima u mikrodiverziti MRC prijemnike onda se izraz za kumulativnu verovatnoću signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika dobija u zatvorenom obliku.

Karakteristična funkcija amplitude signala jednaka je srednjoj vrednosti eksponencijalne funkcije amplitude signala. Na ovaj način mogu da se odrede karakteristične funkcije signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika. Karakteristična funkcija amplitude signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je karakterističnoj funkciji amplitude signala sa izlaza onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji najmanju snagu na njegovim ulazima. Kao i u prethodnom slučaju, na osnovu teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi karakteristična funkcija amplitude signala na izlazu iz makrodiverziti prijemnika.

Momenti signala se dobijaju stepenovanjem potencijalne funkcije. Na ovaj način mogu da se odrede momenti na izlazu iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika. Momenti na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je momentima signala na izlazu onog mikrodiverziti MRC prijemnika čija je snaga na ulazima veća od snage na ulazu u ostala dva mikrodiverziti MRC prijemnika. Primenom teoreme o totalnoj verovatnoći određuju se momenti signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Kapacitet kanala se određuje usrednjavanjem Šenonovog izraza za kapacitet kanala. Tako može da se odredi kapacitet kanala na izlazu iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti

---

MRC prijemnika. Primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je kapacitetu kanala onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu na njegovim ulazima.

Srednja verovatnoća greške po bitu se dobija usrednjavanjem uslovne verovatnoće greške. Uslovna verovatnoća greške je eksponencijalna funkcija integrala greške. Na ovaj način može da se izračuna srednja verovatnoća greške po bitu na izlazima prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika. Srednja verovatnoća greške po bitu na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je verovatnoći greške onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu na njegovim ulazima. Na osnovu ovoga, primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi srednja verovatnoća greške po bitu na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Signal na izlazu iz mikrodiverziti prijemnika i njegov prvi izvod su međusobno nezavisni. Prvi izvod od signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika ima Gausovu raspodelu. Zbog ovoga je združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika i njegovog prvog izvoda jednaka proizvodu gustine verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika i Gausove gustine verovatnoće [85]. Tako mogu da se dobiju združena gustina verovatnoće signala i njegovog prvog izvoda na izlazima iz sva tri mikrodiverziti MRC prijemnika. Združena gustina verovatnoće na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika i njegovog prvog izvoda jednaka je združenoj gustini verovatnoće signala na izlazu iz onog mikrodiverziti MRC prijemnika i njegovog prvog izvoda koji ima najveću snagu signala na njegovim ulazima. Prema tome može da se odredi združena gustina verovatnoće signala i njegovog prvog izvoda na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika može da se izračuna kao srednja vrednost od prvog izvoda signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika. Tako mogu da se izračunaju srednji brojevi osnih preseka signala na izlazima iz prvog, drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je srednjem broju osnih preseka signala na izlazu iz onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu na njegovim ulazima. Primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

Srednje vreme trajanja otkaza sistema može da se odredi na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika kao količnik verovatnoće otkaza mikrodiverziti MRC prijemnika i srednjeg



---

broja osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika. Verovatnoća otkaza se određuje na osnovu kumulativne verovatnoće. Na ovaj način mogu da se odrede verovatnoća otkaza i srednje vreme trajanja otkaza na izlazima sva tri mikrodiverziti MRC prijemnika. Srednje vreme trajanja otkaza na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednako je srednjem vremenu trajanja otkaza onog mikrodiverziti MRC prijemnika koji ima najveću snagu na njegovim ulazima. Verovatnoća otkaza makrodiverziti SC sistema jednaka je verovatnoći otkaza onog mikrodiverziti SC sistema koji ima najveću snagu na njegovim ulazima. Tako, primenom teoreme o totalnoj verovatnoći može da se odredi verovatnoća otkaza na izlazu iz makrodiverziti SC sistema.

Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika može da se odredi i integracijom gustine verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Karakteristična funkcija signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika može biti dobijena usrednjavanjem eksponencijalne funkcije preko signala na izlazu iz SC prijemnika. Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika dobijaju se usrednjavanjem potencijalne funkcije preko signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Verovatnoća otkaza se može dobiti upotrebom kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Srednja verovatnoća greške po bitu može se dobiti urednjavanjem uslovne verovatnoće greške preko signala na izlazu iz SC prijemnika. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika može se dobiti kao srednja vrednost prvog izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika [75-86]. Srednje vreme trajanja otkaza se dobija kao količnik verovatnoće otkaza makrodiverziti SC prijemnika i srednjeg broja osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Na sličan način može se odrediti združena gustina verovatnoće signala u dva trenutka vremena na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika, kao i združena gustina verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika u dva trenutka vremena i njihovih prvih izvoda. Takođe, može se odrediti gustina verovatnoće dužine osnih preseka u dva trenutka vremena.

#### **4.1. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema**

Kvadriran  $k$ - $\mu$   $x_1$  signal je jednak

$$x_1^2 = x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{12\mu}^2, \quad (4.1)$$

a kvadriran  $k$ - $\mu$   $x_2$  signal je jednak

$$x_2^2 = x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{22\mu}^2 \quad . \quad (4.2)$$

Kvadriran signal  $x$  je jednak

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 = x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{12\mu}^2 + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{22\mu}^2 = x_k \quad . \quad (4.3)$$

Slučajna promenljiva  $x_k$  ima  $\chi^2$  raspodelu:

$$p_{x_k}(x_k) = \frac{1}{2\sigma^2} \left( \frac{x_k}{\lambda} \right)^{\frac{2\mu-1}{2}} e^{-\frac{\lambda+x_k}{2\sigma^2}} I_{2\mu+1} \left( \frac{\frac{1}{2} \frac{x_k}{\sigma^2}}{\frac{\lambda^2 x_k^2}{\sigma^2}} \right) \quad . \quad (4.4)$$

gde je  $I_n(\cdot)$  modifikovana Beselova funkcija prvog reda  $n$ -te vrste,  $\sigma$  varijansa signala,  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal, a  $\lambda$  srednja snaga signala.

Relacije između  $x_k$  i  $x$  su

$$x^2 = x_k \quad (4.5)$$

i

$$x = x_k^{\frac{1}{2}} \quad . \quad (4.6)$$

Gustina verovatnoće od  $x$  je

$$p_x(x) = \frac{dx_k}{dx} p_{x_k}(x^2) \quad (4.7)$$

gde je

$$\frac{dx_k}{dx} = 2x \quad . \quad (4.8)$$

Zamnom (4.8) i (4.4) u (4.7) se dobija

$$\begin{aligned} p_x(x) &= 2x \frac{1}{2\sigma^2} \frac{x^{2\mu-1}}{\lambda^{2\mu-1}} e^{-\frac{\lambda+x^2}{2\sigma^2}} I_{2\mu+1} \left( \frac{\frac{1}{2} x}{\frac{\lambda^2 x}{\sigma^2}} \right) = \\ &= \frac{x^{2\mu}}{\sigma^2 \lambda^{2\mu-1}} e^{-\frac{\lambda+x^2}{2\sigma^2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\frac{1}{2}}{2\sigma^2} \right)^{2i_1+2\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} = \\ &= \frac{1}{\sigma_1^2 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\frac{1}{2}}{2\sigma_1^2} \right)^{2i_1+2\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{2\sigma_1^2}} \quad . \quad (4.9) \end{aligned}$$

Neka je

$$2\sigma_1^2 = \Omega_1 \quad . \quad (4.10)$$

Nakon zamene (4.10) u (4.9), gustina verovatnoće signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti MRC prijemnika postaje

$$p_x(x) = \frac{2}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{\Omega_1}} \quad (4.11)$$

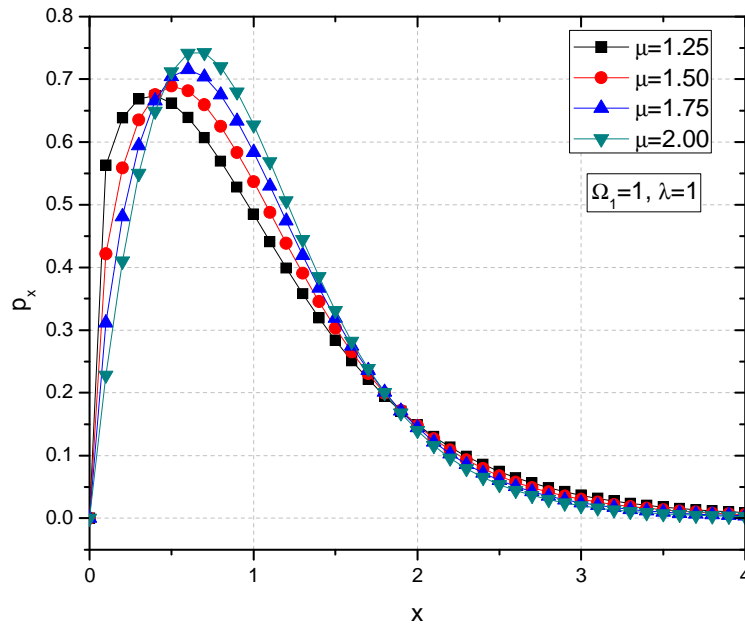
gde je  $\Omega_1$  srednja snaga signala.

Na sličan način se dobija i gustina verovatnoće signala na izlazu iz drugog o trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika

$$p_y(y) = \frac{2}{\Omega_2 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{-i_2-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} y^{2i_2+4\mu-1} e^{-\frac{\lambda+y^2}{\Omega_2}} \quad (4.12)$$

$$p_z(z) = \frac{2}{\Omega_3 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \lambda^{i_3+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_3^{-i_3-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+2\mu)} z^{2i_3+4\mu-1} e^{-\frac{\lambda+z^2}{\Omega_3}} \quad (4.13)$$

Koristeći (4.11), na Slici 4.2 je prikazana promena gustine verovatnoće signala  $x$  na izlazu iz mikrodiverziti MRC kombinera za različiti broj klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal. Srednje snage signala su  $\Omega_1=1$  i  $\lambda=1$ . Sa slike se može videti da se najviše vrednosti gustine verovatnoće za više vrednosti parametra  $\mu$ . Sa smanjenjem broja klastera  $\mu$  opadanje gustine verovatnoće signala je sporije.



Slika 4.2: Gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti MRC prijemnika za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ .

Združena gustina verovatnoće od  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$  je jednaka

$$p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} (\Omega_1\Omega_2\Omega_3)^{\frac{c-1}{2}} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2+\Omega_3(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \quad (4.14)$$

$$\times I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\sqrt{\Omega_1\Omega_2}\right) I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\sqrt{\Omega_2\Omega_3}\right)$$

gde je  $I_n(\cdot)$  modifikovana Beselova funkcija prvog reda  $n$ -te vrste,  $\Omega_0$  je srednja kvadratna vrednost promene snage,  $\rho$  koeficijent korelacije, a  $c$  je dubina osenčenosti kanala. Nakon razvoja Beselove funkcije u red dobija se

$$p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1!\Gamma(j_1+c)} \times \quad (4.15)$$

$$\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2!\Gamma(j_2+c)} \Omega_1^{j_1+c-1} \Omega_2^{j_1+j_2+c-1} \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2+\Omega_3(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}$$

Gustina verovatnoće od  $w$  je

$$p_w(w) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \quad (4.16)$$

$$+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 p_y(w/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) +$$

$$+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 p_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) =$$

$$= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_2$$

pošto je

$$I_1 = I_3 \quad . \quad (4.17)$$

Funkcije  $p_x(w/\Omega_1)$ ,  $p_y(w/\Omega_2)$  i  $p_z(w/\Omega_3)$  su date sa (4.11), (4.12) i (4.13), respektivno.

Integral  $I_1$  je jednak

$$I_1 = \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{i!\Gamma(i+2\mu)} \lambda^{i+\mu-\frac{1}{2}} x^{2i+4\mu-1} \times \quad (4.18)$$

$$\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1!\Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2!\Gamma(j_2+c)} \times$$

$$\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-1-i-\mu+\frac{1}{2}+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{j_1+j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}$$

Nakon primene [79] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.18),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} x^{2i_1+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-1-i_1-\mu+\frac{1}{2}+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \gamma\left(j_1+j_2+c, \frac{1+\rho}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{1}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1\right)
\end{aligned} \tag{4.19}$$

gde  $\gamma(\cdot)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju. Nakon razvoja Gama funkcije

$$\gamma(n, x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} {}_1F_1(1, n+1, x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{n!}{(n+i)!} x^i \tag{4.20}$$

dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} x^{2i_1+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-1-i_1-\mu+\frac{1}{2}+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} e^{-\frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+j_2+c)!}{(j_1+j_2+c+j_3)!} \left( \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \left( \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_2+c} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)!} \left( \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_4}
\end{aligned} \tag{4.21}$$

odnosno

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} x^{2i_1+4\mu-1} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+j_2+c)!}{(j_1+j_2+c+j_3)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\frac{1}{2}-i_1-\mu+2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c-1} e^{-\frac{\lambda+x^2}{\Omega_1} \frac{(3+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.22}$$

Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} x^{2i_1+4\mu-1} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+j_2+c)!}{(j_1+j_2+c+j_3)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \left( \frac{(\lambda+x^2)\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)} \right)^{-\frac{1}{4} \frac{i_1}{2} - \frac{\mu}{2} + j_1 + j_2 + \frac{j_3}{2} + \frac{j_4}{2} + \frac{3c}{2}} K_{\frac{1}{2}-i_1-\mu+2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c} \left( 2\sqrt{\frac{(\lambda+x^2)(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{4.23}$$

gde je  $K_n(x)$  modifikovana Beselova funkcija druge vrste,  $n$ -tog reda i argumenta  $x$ .

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} y^{2i_2+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}-i_2-\mu+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+y^2}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{j_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_2} \int_0^{\infty} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.24}$$

Nakon primene [79] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.24),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} y^{2i_2+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c}}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \quad (4.25) \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}-i_2-\mu+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+y^2}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(j_1+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} y^{2i_2+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c}}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\quad \times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}-i_2-\mu+j_1+c-1} e^{-\frac{\lambda+y^2}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \quad (4.26) \\
&\quad \times \frac{1}{j_1+c} \left( \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+c} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+c)!}{(j_1+c+j_3)!} \left( \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_3} \times \\
&\quad \times \frac{1}{j_2+c} \left( \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_2+c} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)!} \left( \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_4}
\end{aligned}$$

odnosno

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} y^{2i_2+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c}}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\quad \times \frac{1}{j_1+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+c}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+c)!}{(j_1+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \quad (4.27) \\
&\quad \times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\quad \times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}-i_2-\mu+2j_1+j_2+j_3+j_4+3c-1} e^{-\frac{\lambda+y^2}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} y^{2i_2+4\mu-1} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c}}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+c}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(j_1+c)!}{(j_1+c+j_3)! (\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_4)! (\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \left( \frac{(\lambda+y^2)\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)} \right)^{\frac{1}{4} \frac{i_2}{2} \frac{\mu}{2} + j_1 + \frac{j_2}{2} + \frac{j_3}{2} + \frac{j_4}{2} + \frac{3c}{2}} K_{-\frac{1}{2}i_2-\mu+2j_1+j_2+j_3+j_4+3c} \left( 2\sqrt{\frac{(\lambda+y^2)(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{4.28}$$

## 4.2. Kumulativna verovatnoća signala

Kumulativna verovatnoća od  $x$  je

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= \int_0^x dt p_x(t) = \\
&= \int_0^x dt \frac{2}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} t^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{\lambda+t^2}{\Omega_1}} = \\
&= \frac{1}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Omega_1^{i_1+2\mu} \gamma\left(i_1+2\mu, \frac{x^2}{\Omega_1}\right)
\end{aligned} \tag{4.29}$$

gde je  $p_x(t)$  gustina verovatnoće data sa (4.11).

Na sličan način se dobija i kumulativna verovatnoća signala  $y$  i  $z$  na izlazu iz drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika:

$$F_y(y) = \frac{1}{\Omega_2 \lambda^{2\mu-1}} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{-i_2-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \Omega_2^{i_2+2\mu} \gamma\left(i_2+2\mu, \frac{y^2}{\Omega_2}\right) \tag{4.30}$$

$$F_z(z) = \frac{1}{\Omega_3 \lambda^{2\mu-1}} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_3}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \lambda^{i_3+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_3^{-i_3-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+2\mu)} \Omega_3^{i_3+2\mu} \gamma\left(i_3+2\mu, \frac{z^2}{\Omega_3}\right) \tag{4.31}$$

Kumulativna verovatnoća signala  $w$  na izlazu iz SC makrodiverziti prijemnika je



$$\begin{aligned}
F_w(w) &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 F_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 F_y(w/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 F_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_2
\end{aligned} \tag{4.32}$$

pošto je

$$I_1 = I_3 \quad . \tag{4.33}$$

Funkcije  $F_x(w/\Omega_1)$ ,  $F_y(w/\Omega_2)$  i  $F_z(w/\Omega_3)$  su date sa (4.28), (4.29) i (4.30), respektivno, a  $p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3)$  sa (4.16).

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i=0}^\infty \frac{1}{i! \Gamma(i+2\mu)} \lambda^{i+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-1-i-\mu+\frac{1}{2}+i+2\mu+j_1+c-1} e^{\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i+2\mu, \frac{w^2}{\Omega_1}\right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{j_1+j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_1}{\Omega_2}} \int_0^{\Omega_3} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.34}$$

Nakon primene [79] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.34),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i=0}^\infty \frac{1}{i! \Gamma(i+2\mu)} \lambda^{i+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+\mu+j_1+c-1} e^{\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \gamma\left(i+2\mu, \frac{w^2}{\Omega_1}\right) \gamma\left(j_1+j_2+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \frac{1}{i_1+2\mu} w^{2i_1+4\mu} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_1+2\mu)!}{(i_1+2\mu+j_3)!} w^{2j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_1+j_2+c)!}{(j_1+j_2+c+j_4)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_4} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_5=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_5)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_5}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\frac{1}{2}\mu-i_1+2j_1+2j_2-j_3+j_4+j_5+3c-1} e^{-\frac{\lambda+w^2}{\Omega_1} - \frac{(3+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.36}$$

Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{j_1+j_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c} \frac{1}{i_1+2\mu} w^{2i_1+4\mu} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_1+2\mu)!}{(i_1+2\mu+j_3)!} w^{2j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_1+j_2+c)!}{(j_1+j_2+c+j_4)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_4} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_5=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_5)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_5}} \times \\
&\times \left( \frac{(\lambda+w^2)\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)} \right)^{\frac{1}{4}\frac{\mu}{2}+j_1+j_2-\frac{j_3}{2}+\frac{j_4}{2}+\frac{j_5}{2}+\frac{3c}{2}} K_{-\frac{1}{2}\mu-i_1+2j_1+2j_2-j_3+j_4+j_5+3c} \left( 2\sqrt{\frac{(\lambda+w^2)(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{4.37}$$

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{-1-i_2-\mu+\frac{1}{2}+i_2+2\mu+j_1+j_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_2+2\mu, \frac{w^2}{\Omega_2}\right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{j_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.38}$$

Nakon primene [79] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.38),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times (\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c} \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}+\mu+j_1+j_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_2+2\mu, \frac{w^2}{\Omega_2}\right) \times \\
&\times \gamma\left(j_1+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{4.39}$$

Nakon razvoja Gama funkcije date sa (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times (\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c} \frac{1}{i_2+2\mu} w^{2i_2+4\mu} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+2\mu)!}{(i_2+2\mu+j_3)!} w^{2j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_1+c)!}{(j_1+c+j_4)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_5=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_5)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_5}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}-\mu-i_2+2j_1+2j_2-j_3+j_4+j_5+3c-1} e^{-\frac{\lambda+w^2}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{4.40}$$

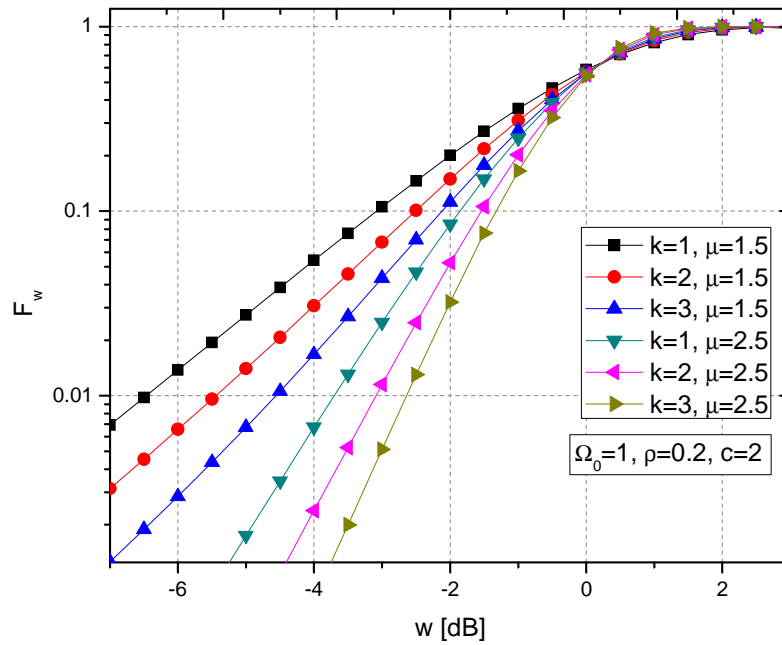
Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times (\Omega_0(1-\rho))^{j_1+j_2+2c} \frac{1}{i_2+2\mu} w^{2i_2+4\mu} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+2\mu)!}{(i_2+2\mu+j_3)!} w^{2j_3} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{(j_1+c)!}{(j_1+c+j_4)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_5=0}^{\infty} \frac{(j_2+c)!}{(j_2+c+j_5)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_5}} \times \\
&\times \left( \frac{(\lambda+w^2)\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)} \right)^{\frac{1}{4} \frac{\mu}{2} \frac{i_2}{2} + j_1 + j_2 - \frac{j_3}{2} + \frac{j_4}{2} + \frac{j_5}{2} + \frac{3c}{2}} K_{\frac{1}{2}\mu - i_2 + 2j_1 + 2j_2 - j_3 + j_4 + j_5 + 3c} \left( 2\sqrt{\frac{(\lambda+w^2)(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{4.41}$$

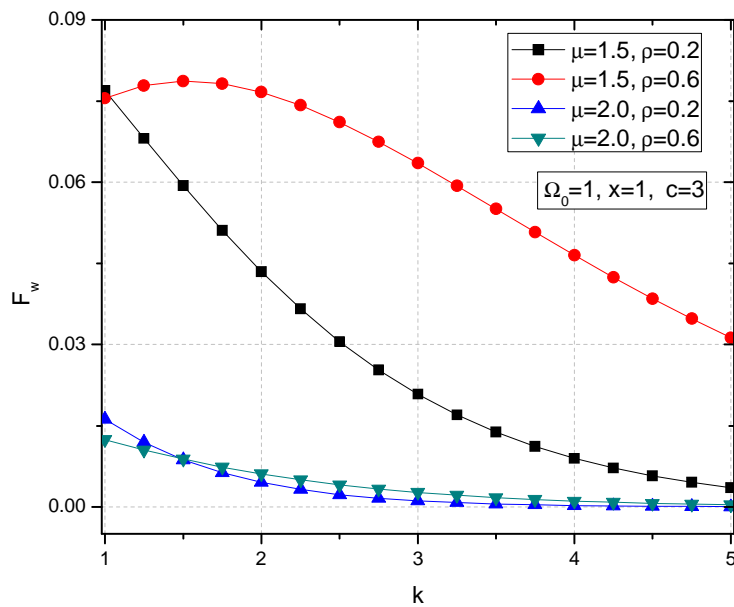
Nakon odgovarajućih zamena u (4.32) može se grafički predstaviti promena kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

Na Slici 4.3 prikazana je grafička promena kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od amplitude signala  $w$ , a za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ , koeficijent korelacije  $\rho=0.2$ , a dubina osenčenosti kanala  $c=2$ . Sa porastom amplitude signala vrednosti kumulativne verovatnoće rastu i teže ka 1. Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$  kumulativna verovatnoća signala brže raste.

Na Slici 4.4 data je promena kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora, a za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta korelacije  $\rho$ . Srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ , amplituda signala je  $x=1$ , a dubina osenčenosti kanala  $c=3$ . Sa date slike se može videti da sa porastom Rajsovog  $k$  faktora dolazi do opadanja kumulativne verovatnoće signala. Kumulativna verovatnoća znatno brže opada za niže vrednosti paramatera  $\mu$  nego za više. Sa porastom koeficijenta korelacije smanjuje se vrednost kumulativne verovatnoće signala.



Slika 4.3: Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .



Slika 4.4: Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti Rajsovog  $k$  faktora.

### 4.3. Karakteristična funkcija signala

Karakteristična funkcija od  $x$  je

$$M_x(s) = \int_0^{\infty} dx e^{sx} p_x(x) =$$

$$= \frac{2}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \int_0^{\infty} dx x^{2i_1+4\mu-1} e^{sx-\frac{x^2}{\Omega_1}} \quad (4.42)$$

gde je  $p_x(x)$  gustina verovatnoće od  $x$  data sa (4.11).

Neka je

$$I = \int_0^{\infty} dx x^{2i_1+4\mu-1} e^{sx-\frac{x^2}{\Omega_1}} \quad (4.43)$$

Uvodeći smene

$$sx = t \quad (4.44)$$

$$x = \frac{t}{s} \quad (4.45)$$

$$dx = \frac{dt}{s} \quad (4.46)$$

dobija se

$$I = \int_0^{\infty} \frac{dt}{s} \frac{t^{2i_1+4\mu-1}}{s^{2i_1+4\mu-1}} e^{t-\frac{t^2}{s^2\Omega_1}} = \frac{1}{s^{2i_1+4\mu}} \int_0^{\infty} dt t^{2i_1+4\mu-1} e^{t-\frac{t^2}{s^2\Omega_1}} \quad (4.47)$$

Primenom formule

$$\int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x-\beta x^{\nu}} dx = \frac{\lambda^p}{(\sqrt{2\pi})^{\lambda+k-2}} \sqrt{\frac{k}{\lambda}} G_{\lambda,k}^{k,\lambda} \left( \beta^k \frac{\lambda^{\lambda}}{k^{\lambda}} \left| \begin{matrix} 1-p, 2-p, \dots, \lambda-p \\ \lambda, \lambda, \dots, \lambda \end{matrix} \right. \right), \quad (4.48)$$

gde je  $G_{\lambda,k}^{k,\lambda}(\cdot)$  Majerova funkcija [87], a  $\nu = 2$ ,  $\lambda = 2$ ,  $k = 1$ , tako da se dobija

$$I = \frac{1}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{(\sqrt{2\pi})^{2+1-2}} \sqrt{\frac{1}{2}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{1}{s^2\Omega_1} \frac{2^2}{1^1} \left| \begin{matrix} 1-2i_1-4\mu, 2-2i_1-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) \quad (4.49)$$

Zamenom (4.49) u (4.42) dobija se karakteristična funkcija signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti MRC prijemnika:

$$\begin{aligned}
M_x(s) &= \frac{1}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \times \\
&\times \frac{1}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{\sqrt{\pi}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2 \Omega_1} \left| \begin{matrix} 1-2i_1-4\mu, 2-2i_1-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) . \quad (4.50)
\end{aligned}$$

Karakteristična funkcija signala na izlazu iz drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika je

$$\begin{aligned}
M_y(s) &= \frac{1}{\Omega_2 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \lambda^{i_2+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{-i_2-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2}} \times \\
&\times \frac{1}{s^{2i_2+4\mu}} \frac{2^{2i_2+4\mu}}{\sqrt{\pi}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2 \Omega_2} \left| \begin{matrix} 1-2i_2-4\mu, 2-2i_2-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) , \quad (4.51)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_z(s) &= \frac{1}{\Omega_3 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \lambda^{i_3+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_3-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_3}} \times \\
&\times \frac{1}{s^{2i_3+4\mu}} \frac{2^{2i_3+4\mu}}{\sqrt{\pi}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2 \Omega_3} \left| \begin{matrix} 1-2i_3-4\mu, 2-2i_3-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) . \quad (4.52)
\end{aligned}$$

Karakteristična funkcija od  $w$  je

$$\begin{aligned}
M_w(s) &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 M_x(s/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 M_y(s/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 M_z(s/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= M_{1w}(s) + M_{2w}(s) + M_{3w}(s) = 2M_{1w}(s) + M_{2w}(s) \quad (4.53)
\end{aligned}$$

Funkcije  $M_x(s/\Omega_1)$ ,  $M_y(s/\Omega_2)$  i  $M_z(s/\Omega_3)$  su date sa (4.50), (4.51) i (4.52), respektivno, a  $p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3)$  sa (4.15).

Vrednost  $M_{1w}(s)$  je

$$\begin{aligned}
M_{1w}(s) &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 M_x(s/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.54) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}-\mu-i_1+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_1} \left| \begin{matrix} 1-2i_1-4\mu, 2-2i_1-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_1}{\Omega_2}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.54),  $M_{1w}(s)$  postaje

$$\begin{aligned}
M_{1w}(s) &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}-\mu-i_1+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_1} \left| \begin{matrix} 1-2i_1-4\mu, 2-2i_1-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right) \times \quad (4.55) \\
&\times \gamma \left( i_2+i_3+c, \frac{\Omega_1(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \gamma \left( i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
M_{1w}(s) &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \\
&\times \frac{1}{i_2+i_3+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{i_2+i_3+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+i_3+c)!}{(i_2+i_3+c+j_1)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1} \times \quad (4.56) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}-\mu-i_1+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{(3+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_1} \left| \begin{matrix} 1-2i_1-4\mu, 2-2i_1-4\mu \\ 2, 2 \end{matrix} \right. \right)
\end{aligned}$$



Vrednost  $M_{2w}(s)$  je

$$\begin{aligned}
M_{2w}(s) &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 M_y(s/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.57) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_2} \middle| \frac{1-2i_1-4\mu}{2}, \frac{2-2i_1-4\mu}{2} \right) \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.57),  $M_{2w}(s)$  postaje

$$\begin{aligned}
M_{2w}(s) &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c} \times \quad (4.58) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_2} \middle| \frac{1-2i_1-4\mu}{2}, \frac{2-2i_1-4\mu}{2} \right) \times \\
&\times \gamma \left( i_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \gamma \left( i_3+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
M_{2w}(s) &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}\sqrt{\pi}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+2\mu)} \frac{2^{2i_1+4\mu}}{s^{2i_1+4\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3!\Gamma(i_3+c)} (\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c}} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_1)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1}} \times \quad (4.59) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{-\frac{1}{2}\mu-i_1+2i_2+2i_3+3c+j_1+j_2-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} G_{2,1}^{1,2} \left( \frac{2}{s^2\Omega_2} \middle| \frac{1-2i_1-4\mu}{2}, \frac{2-2i_1-4\mu}{2} \right)
\end{aligned}$$

#### 4.4. Momenti signala

Moment  $n$ -tog reda od  $x$  je

$$\begin{aligned}
 m_{xn} &= \int_0^{\infty} dx x^n p_x(x) = \\
 &= \frac{2}{\Omega_1 \lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu+\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \int_0^{\infty} dx x^{2i_1+4\mu-1+n} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} = \\
 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Omega_1^{\mu+\frac{n}{2}-\frac{1}{2}} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}}
 \end{aligned} \tag{4.60}$$

gde je  $p_x(x)$  gustina verovatnoće od  $x$  data sa (4.11).

Na sličan način se dobija  $n$ -ti red momenata signala na izlazu iz drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika:

$$m_{yn} = \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Omega_2^{\mu+\frac{n}{2}-\frac{1}{2}} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2}} \tag{4.61}$$

$$m_{zn} = \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Omega_3^{\mu+\frac{n}{2}-\frac{1}{2}} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) e^{-\frac{\lambda}{\Omega_3}} \tag{4.62}$$

Moment  $n$ -tog reda od  $w$  je

$$\begin{aligned}
 m_{wn}(w) &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{xn} / \Omega_1 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{yn} / \Omega_2 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 m_{zn} / \Omega_3 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
 &= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_3
 \end{aligned} \tag{4.63}$$

Funkcije  $m_{xn}$ ,  $m_{yn}$  i  $m_{zn}$  su date sa (4.60), (4.61) i (4.62), respektivno, a  $p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3)$  sa (4.15).

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{,nn} / \Omega_1 \rho_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \quad (4.64)$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.64),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
&\times \left(\frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho}\right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \gamma\left(i_2+i_3+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \quad (4.65)$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left(\frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho}\right)^{i_2+i_3+c} \times \\
&\times (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \frac{1}{i_2+i_3+c} \left(\frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{i_2+i_3+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+i_3+c)!}{(i_2+i_3+c+j_1)!} \left(\frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{j_1} \times \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+2i_2+2i_3+3c+j_1+j_2-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{(3+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \quad (4.66)$$

Primenom [79,88] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left(\frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho}\right)^{i_2+i_3+c} \times \\
&\times (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \frac{1}{i_2+i_3+c} \left(\frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{i_2+i_3+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+i_3+c)!}{(i_2+i_3+c+j_1)!} \left(\frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{j_1} \times \quad (4.67) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \left(\frac{\lambda\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)}\right)^{\frac{1}{4}+\frac{n}{4}+\frac{\mu}{2}+i_2+i_3+\frac{j_1}{2}+\frac{j_2}{2}+\frac{3c}{2}} K_{-\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+2i_2+2i_3+3c+j_1+j_2} \left(2\sqrt{\frac{\lambda(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}\right)
\end{aligned}$$

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{yn} / \Omega_2 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.68) \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (4.68),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.69) \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(i_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

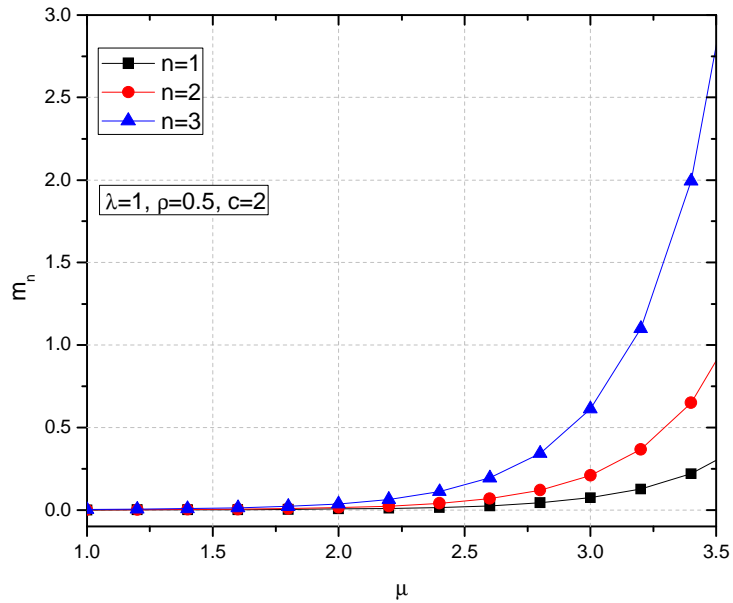
$$\begin{aligned}
I_2 = & \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
& \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
& \times \frac{1}{i_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_1)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1}} \times \\
& \times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \quad (4.70)$$

Primenom [79,88] dobija se

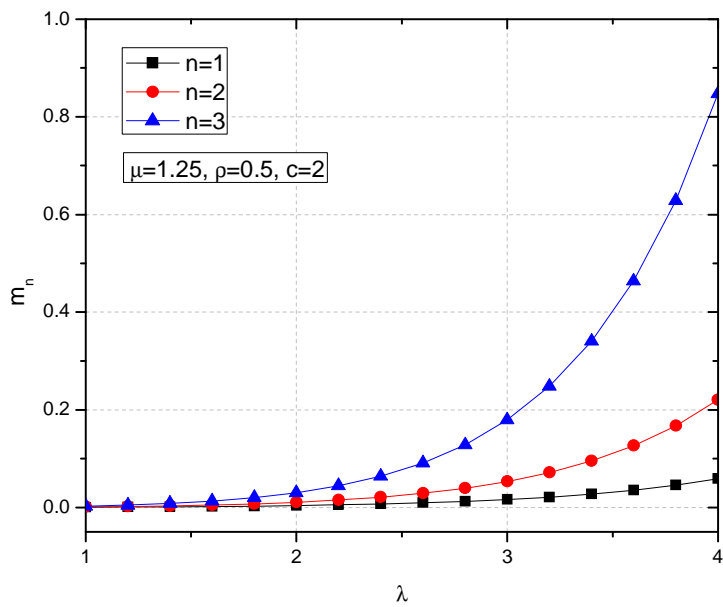
$$\begin{aligned}
I_2 = & \frac{1}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \Gamma\left(i_1+2\mu+\frac{n}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
& \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
& \times \frac{1}{i_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_1)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1}} \times \\
& \times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
& \times \left(\frac{\lambda\Omega_0(1-\rho)}{(3+\rho)}\right)^{\frac{1}{4}+\frac{n}{4}+\frac{\mu}{2}+i_2+i_3+\frac{j_1}{2}+\frac{j_2}{2}+\frac{3c}{2}} K_{\frac{1}{2}+\frac{n}{2}+\mu+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c} \left(2\sqrt{\frac{\lambda(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}\right)
\end{aligned} \quad (4.71)$$

Nakon odgovarajućih zamena u (4.63) moguće je grafički predstaviti promenu momenata signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

Na Slici 4.5 je dat grafički prikaz promene prvog, drugog i trećeg momenta signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ . Srednja snaga signala je  $\lambda=1$ , koeficijent korelacije  $\rho=0.2$ , a dubina osenčenosti kanala  $c=2$ . Sa porastom parametra  $\mu$  rastu i vrednosti momenata. Rast momenata je naročito izražen pri višim vrednostima parametra  $\mu$ , dok je za niže vrednosti približno konstantan za sva tri reda. Najviše vrednosti momenata se dobijaju za treći red momenata,  $n=3$ .



Slika 4.5: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .



Slika 4.6: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od srednje snage signala  $\lambda$ .

Na Slici 4.6 su prikazani moment signala prvog, drugog i trećeg reda na izalzu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od srednje snage signala  $\lambda$ . Broj klastera kroz koji se prostire signal je  $\mu=1$ , koeficijent korelacije  $\rho=0.2$ , a dubina osenčenosti kanala  $c=2$ .

Ponašanje momenata je slično kao i zavisnosti od broja klastera  $\mu$  (Slika 4.5). Momenti signala rastu sa porastom srednje snage signala. Momenti višeg reda rastu pri porastu srednje snage znatno brže nego moment nižeg reda.

## 4.5. Kapacitet kanala

Kapacitet kanala od  $x$  je

$$C_x = \int_0^{\infty} dx \log(1+x^2) p_x(x) =$$

$$= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \int_0^{\infty} dx \log(1+x^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \quad (4.72)$$

gde je  $p_x(x)$  gustina verovatnoće od  $x$  data sa (4.11).

Na sličan način se dobija i kapacitet kanala za  $y$  i  $z$ :

$$C_y = \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2}} \int_0^{\infty} dy \log(1+y^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \quad (4.73)$$

$$C_z = \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_3^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_3}} \int_0^{\infty} dz \log(1+z^2) z^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{z^2}{\Omega_3}} \quad (4.74)$$

Kapacitet od  $w$  je jednak

$$C_w = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 C_x / \Omega_1 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) +$$

$$+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 C_y / \Omega_2 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) +$$

$$+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 C_z / \Omega_3 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) =$$

$$= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_2 \quad (4.75)$$

Funkcije  $C_x$ ,  $C_y$  i  $C_z$  su date sa (4.72), (4.73) i (4.74), respektivno, a  $p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3)$  sa (4.15).

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 C_x / \Omega_1 p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.76) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+i_2+c-1} e^{\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^\infty dx \log(1+x^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+i_3+c-1} e^{\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}} =
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje trećeg i četvrtog integrala u (4.76),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \times \quad (4.77) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+i_2+c-1} e^{\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^\infty dx \log(1+x^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right) \times \\
&\times \gamma \left( i_2+i_3+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \gamma \left( i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+i_3+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{i_2+i_3+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+i_3+c)!}{(i_2+i_3+c+j_1)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1} \times \quad (4.78) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^\infty dx \log(1+x^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right)
\end{aligned}$$



Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 C_y / \Omega_2 p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.79) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^\infty dy \log(1+y^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje trećeg i četvrtog integrala u (4.79),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.80) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^\infty dy \log(1+y^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \times \\
&\times \gamma\left(i_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c}} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_1)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1}} \times \quad (4.81) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+-\mu-i_1+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^\infty dy \log(1+y^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \right)
\end{aligned}$$

## 4.6. Srednja verovatnoća greške po bitu

Uslovna verovatnoća greške je

$$p_e / x = a \operatorname{erfc}(bx^2) \quad (4.82)$$

gde su  $a$  i  $b$  modulacioni parametri.

Srednja verovatnoća greške po bitu prvog MRC prijemnika je

$$\begin{aligned} p_{ex} &= \int_0^{\infty} dx p_e / x \cdot p_x(x) = \\ &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{\lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}}}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1}} \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(bx^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \end{aligned} \quad (4.83)$$

gde je  $p_x(x)$  gustina verovatnoće od  $x$  data sa (4.11).

Na sličan način se srednja verovatnoća greške po bitu drugog i trećeg mikrodiverziti MRC prijemnika:

$$P_{ey} = \int_0^{\infty} dy p_e / y \cdot p_y(y) = \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{\lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}}}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2}} \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(by^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \quad (4.84)$$

$$P_{ez} = \int_0^{\infty} dz p_e / z \cdot p_z(z) = \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{\lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \Omega_3^{-i_1-\mu-\frac{1}{2}}}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_3}} \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(bz^2) z^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{z^2}{\Omega_3}} \quad (4.85)$$

Srednja verovatnoća greške po bitu od  $w$  je

$$\begin{aligned} P_{ew} &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 P_{ex} / \Omega_1 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\ &+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 P_{ey} / \Omega_2 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\ &+ \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 P_{ez} / \Omega_3 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\ &= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_2 \end{aligned} \quad (4.86)$$

Funkcije  $P_{ex}$ ,  $P_{ey}$  i  $P_{ez}$  su date sa (4.83), (4.84) i (4.85), respektivno, a  $p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3)$  sa (4.15).

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 P_{ex} / \Omega_1 \rho_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.87) \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(bx^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \frac{\Omega_1}{\Omega_2}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje trećeg i četvrtog integrala u (4.87),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \times \quad (4.88) \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+i_2+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(bx^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right) \times \\
&\times \gamma \left( i_2+i_3+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \gamma \left( i_3+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)} \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \times \\
&\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_2+i_3+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+i_3+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{i_2+i_3+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{(i_2+i_3+c)!}{(i_2+i_3+c+j_1)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1} \times \quad (4.89) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_1} \frac{\Omega_1(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^{\infty} dx a \operatorname{erfc}(bx^2) x^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right)
\end{aligned}$$

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 C_y / \Omega_2 P_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.90) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^\infty dy \cdot a \operatorname{erfc}(by^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_2 \Omega_2^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}} =
\end{aligned}$$

Nakon primene [79,88] za rešavanje trećeg i četvrtog integrala u (4.90),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \quad (4.91) \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+i_2+i_3+c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^\infty dy \cdot a \operatorname{erfc}(by^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \times \\
&\times \gamma\left(i_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_3+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned}$$

Nakon razvoja Gama funkcije (4.20) dobija se

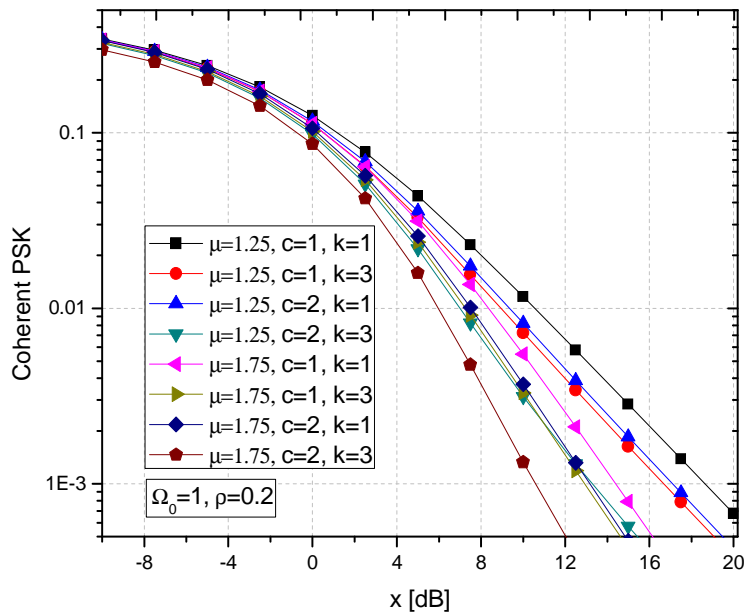
$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2}{\lambda^{2\mu-1}} \sum_{i_1=0}^\infty \lambda^{i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+2\mu)} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \sum_{i_3=0}^\infty \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+i_3+2c}}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c}} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_1)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_1}} \times \quad (4.92) \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{i_3+c}} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{(i_3+c)!}{(i_3+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_2 \Omega_2^{\frac{1}{2}+\mu-i_1+2i_2+2i_3+j_1+j_2+3c-1} e^{-\frac{\lambda}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \int_0^\infty dy \cdot a \operatorname{erfc}(by^2) y^{2i_1+4\mu-1} e^{-\frac{y^2}{\Omega_2}} \right)
\end{aligned}$$

U Tabeli 4.1 dati su izrazi za uslovnu verovatnoću greške za različite digitalne modulations formate.

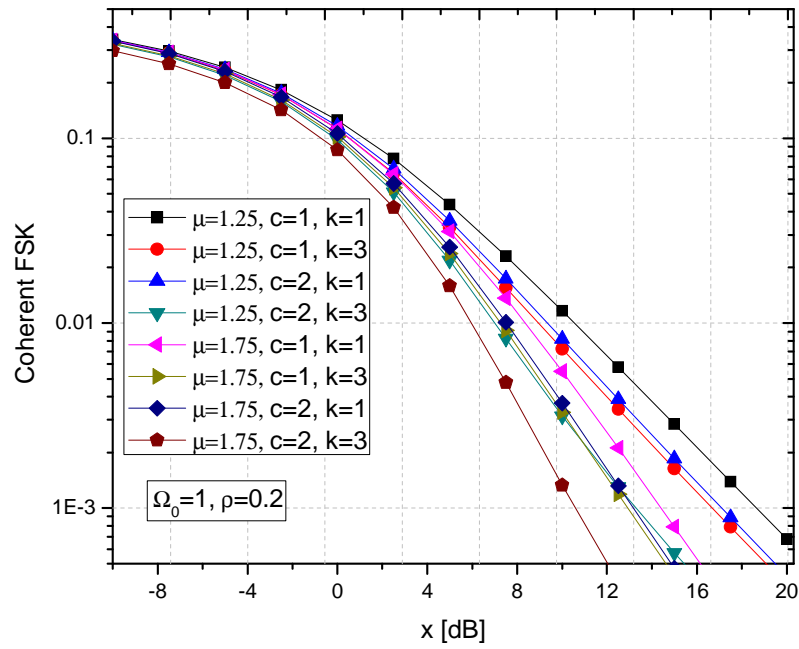
Tabela 4.1: Verovatnoća greške za različite modulacione formate.

Modulacioni format	Uslovna verovatnoća greške $P_e/w$
Koherentna digitalna fazna modulacija (CPSK)	$p_e = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(w) \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{1 \cdot w}) dw$
Koherentna digitalna frekvencijska modulacija (CFSK)	$p_e = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(w) \cdot \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{1}{2} \cdot w}\right) dw$
Diferencijalna digitalna fazna modulacija (DPSK)	$p_e = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(w) \cdot e^{-1 \cdot w} dw$
Nekoherentna digitalna frekvencijska modulacija (NCFSK)	$p_e = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(w) \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot w} dw$

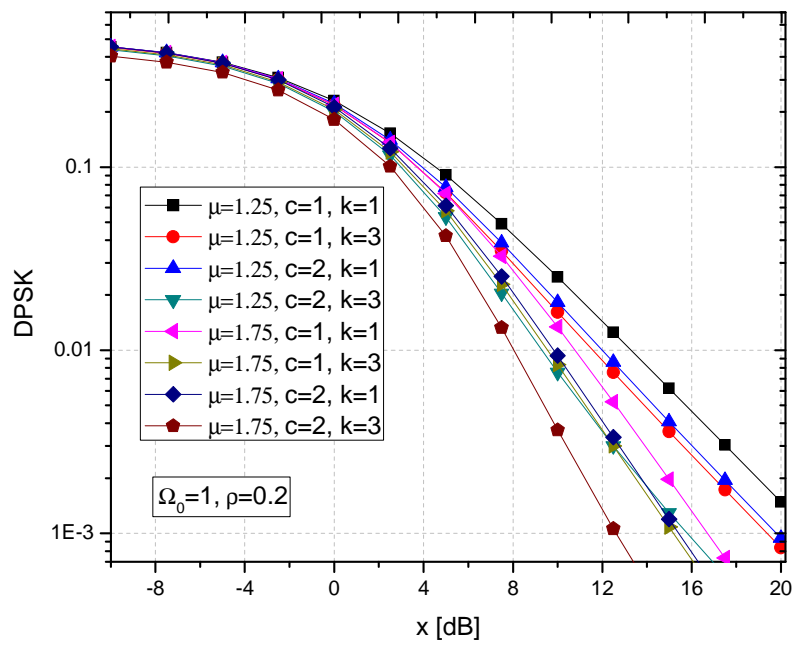
Na Slici 4.7, Slici 4.8, Slici 4.9 i Slici 4.10 prikazana je grafička promena srednje verovatnoće greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability) za koherentnu digitalnu faznu modulaciju (CPSK), koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (CFSK), diferencijalnu digitalnu faznu modulaciju (DPSK) i nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (NCFSK), respektivno. Srednja verovatnoća greške po bitu je prikazana u zavisnosti od anvelope signala  $x$ , za koeficijent korelacije  $\rho=0.2$  i za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala  $c$ .



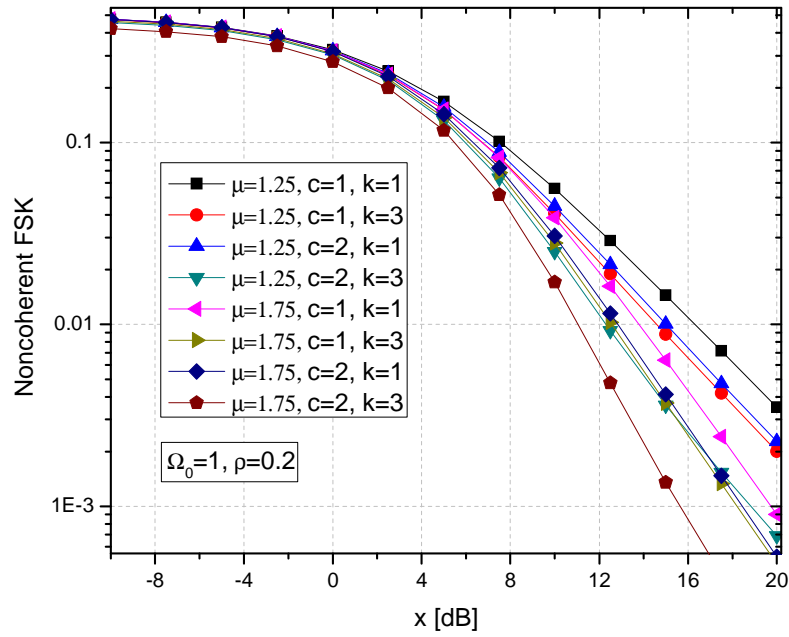
Slika 4.7: Srednja verovatnoća greške po bitu za koherentnu digitalnu faznu modulaciju.



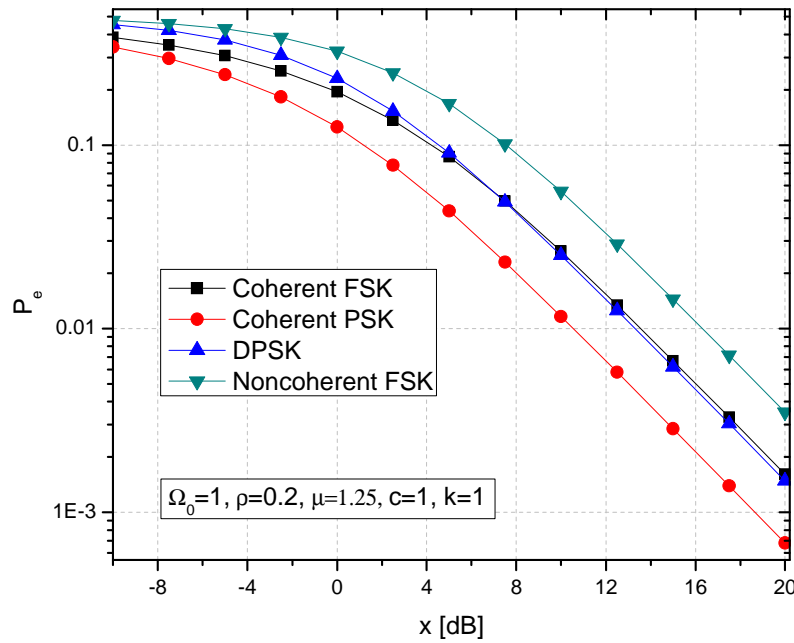
Slika 4.8: Srednja verovatnoća greške po bitu za koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju.



Slika 4.9: Srednja verovatnoća greške po bitu za diferencijalnu digitalnu faznu modulaciju.



Slika 4.10: Srednja verovatnoća greške po bitu za nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju.



Slika 4.11: Poređenje srednje verovatnoće greške po bitu za različite modulationske formate.

---

Sa datih slika se može videti da verovatnoća greške opada sa porastom amplitude signala  $x$ . Kod sva četiri modulaciona formata sa porastom broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal dolazi do bržeg opadanja srednje verovatnoće greške po bitu. Takođe, sa porastom Rajsovog  $k$  faktora i dubine osenčenosti kanala  $c$  dolazi do bržeg opadanja srednje verovatnoće greške po bitu.

Na Slici 4.11 je data grafička promena srednje verovatnoće greške po bitu za različite modulacione formate za slučaj  $\rho=2$ ,  $\mu=1.15$ ,  $c=2$  i  $k=1$ . Najviše vrednosti srednja verovatnoća greške po bitu se dobijaju za NFSK modulaciju, a zatim za CFSK i DPSK. Najniže vrednosti se dobijaju za CPSK modulaciju. Za niže vrednosti amplitude signala DPSK modulacija daje više vrednosti u odnosu CFSK. Sa porastom amplitude srednja verovatnoća greške po bitu DPSK i CFSK modulacije su približno iste.



---

## **5. MOMENTI SIGNALA NA IZLAZU IZ MAKRODIVERZITI SISTEMA SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI EGC KOMBINERA U PRISUSTVU $k$ - $\mu$ BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA**

U ovoj glavi razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC (selection combiner) prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti EGC (equal gain combiner) prijemnika. Mikrodiverziti EGC prijemnici imaju po dva ulaza. Na ulazima je prisutan nezavisni  $k$ - $\mu$  feding.  $k$ - $\mu$  feding je identičan. Na ulazima u sve tri bazne stanice prisutan je korelisan Gama feding. Stepenn korelacije je određen koeficijentom korelacije. Stepenn korelacija uzima vrednost od nule do 1. Korelacija signala na antenama baznih stanica nastaje kada su dve bazne stanice ili sve tri bazne stanice osenčene sa istim objektom. Ekstremni slučajevi za koeficijent korelacije su nula ili 1. Kada je koeficijent korelacije blizu nule onda su signali na baznim stanicama nezavisni. Ovo znači, ako je signal na jednoj baznoj stanici manji, na drugoj je veliki. Ovaj događaj je veoma povoljan. Kada je koeficijent korelacije blizu 1 onda su signali na baznim stanicama jako korelisani. U ovom slučaju je velika verovatnoća da kada je signal na jednoj baznoj stanici mali, onda je taj signal mali i na drugoj baznoj stanici. Ovo je veoma nepovoljan slučaj. U ovom slučaju se makrodiverziti sistemi poklapaju sa performansama mikrodiverziti sistema [89-93].

EGC prijemnik daje bolje rezultate nego SC prijemnik ali i nešto lošije od MRC (maximum ratio combining) prijemnika. Što se tiče realizacije i tu je EGC srednje rešenje. EGC je jednostavniji za realizaciju od MRC, a složeniji je od SC. Signal na ulazima u EGC treba dovesti u fazu. Anvelopa signala na izlazu iz EGC prijemnika jednaka je zbiru anvelopa signala na njegovim ulazima [91,94]. Takođe je potrebno obezbediti informaciju o signalu na diverziti granama.

---

U ovoj glavi razmatraće se momenti signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Momenti su važna karakteristika slučajnih procesa. Srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i varijansa signala su važne karakteristike signala. Na osnovu ovih vrednosti mogu da se odrede optimalne vrednosti parametara bežičnog telekomunikacionog sistema. Takođe, srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i srednja kubna vrednost signala su važne performanse sistema. Srednja vrednost je jednosmerna komponenta signala, srednja kvadratna vrednost signala je snaga signala, a varijansa je naizmenična vrednost signala. Momenti mogu, takođe, da se dobiju simulacijom. Prvi moment se računa na taj način što se izmereni uzorci slučajnog procesa ili simulirane vrednosti slučajnog procesa saberu i ovaj zbir se podeli sa brojem uzoraka. Srednja kvadratna vrednost ili drugi moment se dobija na taj način što se uzorci prvo kvadriraju, zatim saberu, pa se ovaj zbir podeli sa brojem uzoraka. Varijansa se dobija na taj način što se od srednje kvadratne vrednosti oduzme srednja vrednost na kvadrat. Moment  $n$ -tog reda se dobija tako što se uzorci stepenuju sa  $n$  pa se saberu i opet se zbir podeli sa brojem uzoraka [95]. Pomoću momenata mogu da se odrede parametri  $k$ - $\mu$  fedinga.

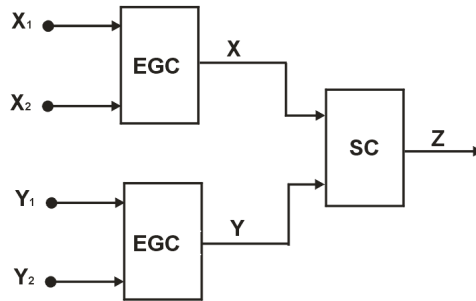
Postoje estimatori koji rade u realnom vremenu. Oni se koriste u adaptivnim sistemima kod kojih se može povećati kapacitet sistema ili se može smanjiti snaga potrebna za napajanje sistema. Ako se u sistemu iz nekog razloga poveća parametar  $k$ , to se dešava ako se poveća snaga dominantne komponente ili ako se smanji snaga sketering komponente, onda estimator registruje povećanje Rajsovog  $k$  faktora.  $k$ - $\mu$  feding postaje manje oštar i verovatnoća greške opada. U ovom slučaju sistemi uključuju modulaciju sa više nivoa a time se povećava kapacitet kanala ili se povećava verovatnoća greške na prvobitnu vrednost. Ako se Rajsov  $k$  faktor smanji onda je feding manje oštar i verovatnoća greške se povećava [96]. Sistem u ovom slučaju odredi modulaciju sa manje nivoa čime se verovatnoća greške smanji, ali se smanji i kapacitet sistema.

U ovom poglavlju je prvo određen  $n$ -ti moment  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Na osnovu ove formule može da se odredi srednja vrednost  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive i varijansa  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive. Moment  $n$ -tog reda na izlazu iz EGC kombinera jednak je srednjoj vrednosti  $n$ -tog stepena zbira signala na ulazima u kombiner. Ako kombiner ima dva ulaza onda primenom Binomne formule može da se odredi moment  $n$ -tog reda signala na izlazu iz EGC prijemnika u zavisnosti od momenta signala na njegovim ulazima [96]. Makrodiverziti SC prijemnik izdvaja onaj mikrodiverziti prijemnik sa najvećom snagom na njegovim ulazima. Na ovaj način, primenom teoreme o

totalnoj verovatnoći može da se odredi moment  $n$ -tog reda signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Takođe, na ovaj način mogu da se dobiju srednja vrednost signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika, srednja kvadratna vrednost signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika i varijansa signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Moment  $n$ -tog reda može biti dobijen i kao srednja vrednost  $n$ -tog stepena signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

### 5.1. Momenti signala na izlazu makrodiverziti sistema sa dva EGC mikrodiverziti i jednim SC makrodiverziti prijemnikom

Razmatra se makrodiverziti sistem koji se sastoji od makrodiverziti SC prijemnika i dva mikrodiverziti EGC prijemnika. Svaki od EGC prijemnika ima po dva ulaza. Model makrodiverziti sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 5.1. Na ulazima je prisutan  $k$ - $\mu$  feding. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a signal na izlazu sa  $x$ . Signali na ulazima u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik su označeni sa  $y_1$  i  $y_2$ , a signal na izlazu je označen sa  $y$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je označen sa  $w$ .



Slika 5.1: Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti EGC prijemnika.

Gustina  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$  i  $x_2$  signala na ulazu u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik je:

$$p_{x_i}(x_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} x_i^{\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)x_i^2}{\Omega_1}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} x_i \right), \quad i = 1, 2 \quad (5.1)$$

gde je  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal,  $k$  Rajsov faktor,  $\Omega_1$  srednja snaga signala, a  $I_n(\cdot)$  modifikovana Beselova funkcija prvog reda  $n$ -te vrste. Nakon razvoja Beselove funkcije u red [79], izraz za gustinu verovatnoće  $x$  postaje:

---


$$p_{x_i}(x_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \sum_{a=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2a+\mu-1} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} x_i^{2a+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x_i^2}{\Omega_1}}, \quad i=1,2 \quad (5.2)$$

Gustina  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $y_1$  i  $y_2$  signala na ulazu u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik je:

$$p_{y_i}(y_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} y_i^{\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)y_i^2}{\Omega_2}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} y_i \right), \quad i=1,2 \quad (5.3)$$

odnosno

$$p_{y_i}(y_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_2^{\mu+1}} \sum_{a=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2a+\mu-1} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} y_i^{2a+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y_i^2}{\Omega_2}}, \quad i=1,2 \quad (5.4)$$

Moment  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$  je

$$\begin{aligned} m_{x_1 n} &= \overline{x_1^n} = \int_0^{\infty} dx_1 x_1^n p_{x_1}(x_1) = \\ &= \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_1^{\mu+1}} \sum_{a=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2a+\mu-1} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} \int_0^{\infty} dx_1 x_1^{2a+2\mu+n-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x_1^2}{\Omega_1}}. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Primenom [79] za rešavanje integrala dobija se

$$m_{x_1 n} = \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2a+\mu-1} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n}{2}\right) \Omega_1^{-\frac{\mu+n}{2} - \frac{1}{2}}. \quad (5.6)$$

Moment  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_2$  je jednak momentu  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$

$$m_{x_2 n} = m_{x_1 n} \quad (5.7)$$

Moment  $n$ -tog reda signala  $x$  na izlazu iz prvog EGC kombinera je

$$\begin{aligned} m_{x n} &= \overline{x^n} = \overline{(x_1 + x_2)^n} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \overline{x_1^{n-i} x_2^i} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} m_{x_1(n-i)} m_{x_2 i} = \\ &= \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} \right)^{2a+2b+2\mu-2} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b! \Gamma(b+\mu)} \times \\ &\quad \times \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \Omega_1^{-\mu+\frac{n}{2}-1} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Moment  $n$ -tog reda signala  $y$  na izlazu iz drugog EGC kombinera je

$$m_{yn} = \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2a+2b+2\mu-2} \frac{1}{a! \Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b! \Gamma(b+\mu)} \times$$

$$\times \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \Omega_2^{-\mu+\frac{n}{2}-1} \quad (5.9)$$

Moment  $n$ -tog reda signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je momentu  $n$ -tog reda signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti EGC prijemnika ako je snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik veća od snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik. Moment  $n$ -tog reda signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je momentu  $n$ -tog reda signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti EGC prijemnika ako je snaga signala na ulazima u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik veća od snage signala na ulazima u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik [93]. Na osnovu ovoga je moment  $n$ -tog reda signala  $w$  na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak

$$m_{wn} = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{xn} / \Omega_1 p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 m_{yn} / \Omega_2 p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) =$$

$$= 2 \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{xn} / \Omega_1 p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) \quad (5.10)$$

gde je  $m_{xn}$  i  $m_{yn}$  dato sa (5.8) i (5.9).

Snaga signala na ulazima u mikrodiverziti EGC prijemnike je označena sa  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$ . Slučajne vrednosti  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$  prate korelisanu Gama raspodelu:

$$p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{\frac{c-1}{2}} \Omega_0^{c+1}} (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} I_{c-1} \left( \frac{2\rho\sqrt{\Omega_1 \Omega_2}}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right) =$$

$$= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{\frac{c-1}{2}} \Omega_0^{c+1}} (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \sum_{j=0}^{\infty} \left( \frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2j+c-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+c)} \Omega_1^{j+c-1} \Omega_2^{j+c-1} \quad (5.11)$$

gde je  $\Omega_0$  srednja kvadratna vrednost promene snage,  $\rho$  koeficijent korelacije, a  $c$  dubina osenčenosti kanala.

Nakon zamene (5.8) i (5.11) u (5.10), izraz za  $n$ -ti moment signala  $w$  postaje

$$\begin{aligned}
m_{wn} &= \frac{2}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2a+2b+2\mu-2} \times \\
&\times \frac{1}{a!\Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b!\Gamma(b+\mu)} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \quad (5.12) \\
&\times \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2j+c-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+c)} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\mu+\frac{n}{2}+c+j-2} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{c+j-1} e^{-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}}
\end{aligned}$$

Primenom [79] rešava se drugi integral u (5.12) tako da se sada dobija

$$\begin{aligned}
m_{wn} &= \frac{2}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2a+2b+2\mu-2} \times \\
&\times \frac{1}{a!\Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b!\Gamma(b+\mu)} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \quad (5.13) \\
&\times \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2j+c-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+c)} (\Omega_0(1-\rho^2))^{c+j} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\mu+\frac{n}{2}+c+j-2} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \gamma\left(j+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned}$$

gde  $\gamma(n,x)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju:

$$\gamma(n,x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} {}_1F_1(1, n+1, x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{x^i}{(n+1)_{(i)}} \quad (5.14)$$

a  $(x)_{(i)}$  predstavlja Pochamerov simbol [79] definisan sa

$$(x)_{(i)} = \frac{\Gamma(x+1)}{\Gamma(x-i+1)} \quad (5.15)$$

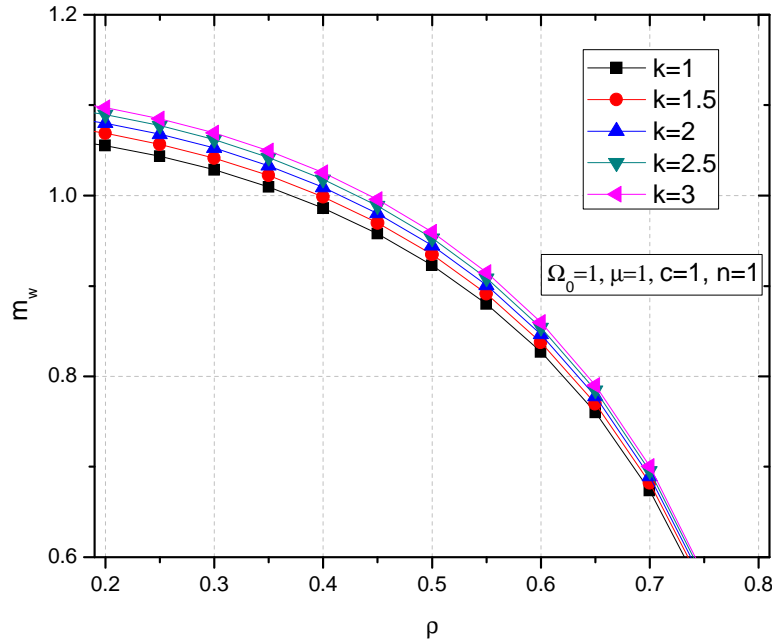
Nakon razvoja Gama funkcije prema (5.14), izraz za  $n$ -ti moment signala  $w$  postaje

$$\begin{aligned}
m_{wn} &= \frac{2}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} (\mu\sqrt{k(k+1)})^{2a+2b+2\mu-2} \times \\
&\times \frac{1}{a!\Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b!\Gamma(b+\mu)} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
&\times \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2j+c-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+c)} (\Omega_0(1-\rho^2))^{c+j} \times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\mu+\frac{n}{2}+c+j-2} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \\
&\times \frac{1}{j+c} \left(\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{j+c} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(j+c+1)_{(t)}} \left(\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^t \quad (5.16)
\end{aligned}$$

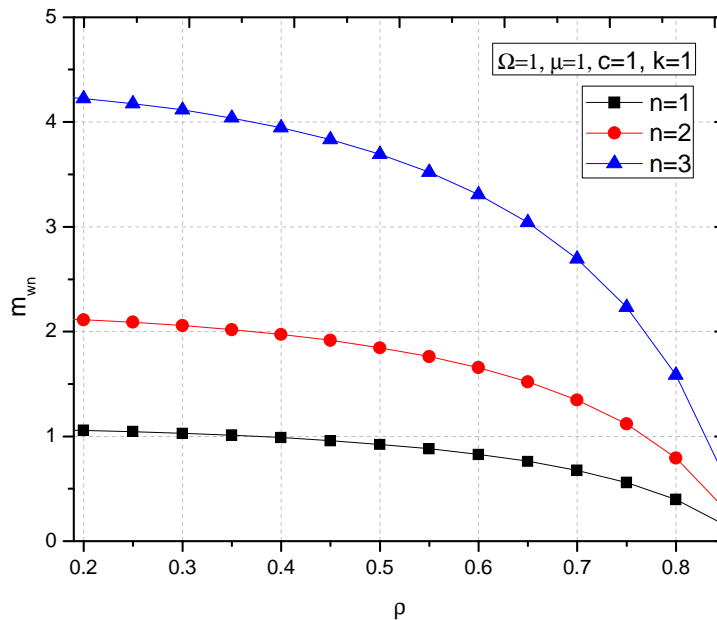
Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
 m_{wn} &= \frac{2}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{a=0}^{\infty} \sum_{b=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2a+2b+2\mu-2} \times \\
 &\times \frac{1}{a!\Gamma(a+\mu)} \frac{1}{b!\Gamma(b+\mu)} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \frac{1}{(\mu(k+1))^{a+b+2\mu+\frac{n}{2}}} \Gamma\left(a+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(b+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
 &\times \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2j+c-1} \frac{(\Omega_0(1-\rho^2))^{c+j}}{j!\Gamma(j+c)} \frac{1}{j+c} \times \\
 &\times \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(j+c+1)_{(y)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j+c+t}} \left(\frac{\Omega_0(1-\rho)}{2}\right)^{-\mu+\frac{n}{2}+2c+2j+t-1} \Gamma\left(-\mu+\frac{n}{2}+2c+2j+t-1\right)
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

Korsiteći se dobijenim izrazom za momente signala na izlazu iz makrodiverziti sistema dobijaju se odgovarajući grafici. Na Slici 5.2 prikazana je grafička promena prvog momenta signala u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ , a za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Srednja kvadratna vrednost promene snage je  $\Omega_0=1$ , broj klastera  $\mu=1$ , a dubina osenčenosti kanala  $c=1$ . Sa porastom koeficijenta korelacije dolazi do smanjenja momenata. Smanjenje momenata je blaže pri nižim vrednostima koeficijenta korelacije. Sa povećanjem vrednosti Rajsovog  $k$  faktora rastu i vrednosti momenata.



Slika 5.2: Prvi moment signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .



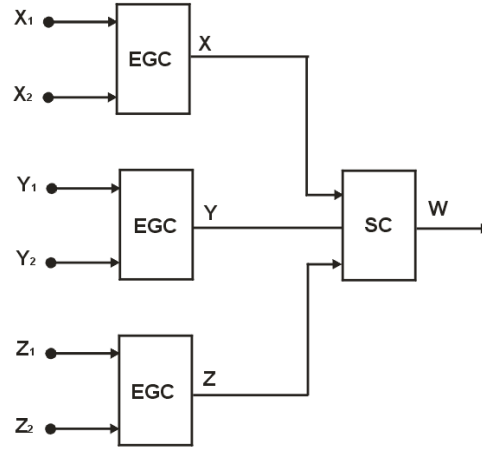
Slika 5.3: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva EGC prijemnika u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .

Na Slici 5.3 je dat grafički prikaz momenata signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva EGC prijemnikom u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ . Sa porastom koeficijenta korelacije svi momenti teže 0. Najmanje opadanje se dešava za moment prvog reda a najviše za moment trećeg reda.

## 5.2. Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti EGC prijemnika i makrodiverziti SC prijemnikom

Razmatra se makrodiverziti sistem koji se sastoji od makrodiverziti SC prijemnika i tri mikrodiverziti EGC prijemnika. Svaki od EGC prijemnika ima po dva ulaza. Model makrodiverziti sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 5.4. Na ulazima je prisutan  $k$ - $\mu$  feding. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a signal na izlazu sa  $x$ . Signali na ulazima u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik su označeni sa  $y_1$  i  $y_2$ , a signal na izlazu je označen sa  $y$ . Signali na ulazima u treći mikrodiverziti EGC prijemnik su označeni sa  $z_1$  i  $z_2$ , a signal na izlazu sa  $z$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je označen sa  $w$ .





Slika 5.4: Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti EGC prijemnika.

Gustina  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$  i  $x_2$  signala na ulazu u prvi mikrodiverziti EGC prijemnik je data sa (5.2), a gustina  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $y_1$  i  $y_2$  signala na ulazu u drugi mikrodiverziti EGC prijemnik je data sa (5.4). Gustina  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $z_1$  i  $z_2$  signala na ulazu u treći mikrodiverziti EGC prijemnik je

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_3^{\mu+1}} z_i^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)z_i^2}{\Omega_3}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} z_i \right), \quad i=1,2 \quad (5.18)$$

odnosno

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\mu k} \Omega_3^{\mu+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} z_i^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)z_i^2}{\Omega_3}}, \quad i=1,2 \quad (5.19)$$

Moment  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$  je dat sa (5.6). Moment  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_2$  je jednak momentu  $n$ -tog reda od  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive  $x_1$  (5.7).

Moment  $n$ -tog reda signala  $x$  na izlazu iz prvog EGC kombinera i moment  $n$ -tog reda signala  $y$  na izlazu iz drugog EGC kombinera je dat sa (5.8) i (5.9).

Moment  $n$ -tog reda signala  $z$  na izlazu iz trećeg EGC kombinera je

$$m_{z_n} = \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k} \Omega_3^{2(\mu+1)}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu-2} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \left( \frac{\Omega_3}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \quad (5.20)$$

Moment  $n$ -tog reda signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak

$$\begin{aligned}
m_{wn} &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 m_{xn} / \Omega_1 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{yn} / \Omega_2 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 m_{zn} / \Omega_3 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= I_1 + I_2 + I_3 = 2I_1 + I_2
\end{aligned} \tag{5.21}$$

pošto je  $I_1 = I_3$ .

Funkcije  $m_{xn}$ ,  $m_{yn}$  i  $m_{zn}$  su date sa (5.8), (5.9) i (5.20), respektivno, a združena gustina verovatnoće od  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$  je jednaka

$$\begin{aligned}
p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) &= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} (\Omega_1\Omega_3)^{\frac{c-1}{2}} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_3+\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\sqrt{\Omega_1\Omega_2}\right) I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\sqrt{\Omega_2\Omega_3}\right)
\end{aligned} \tag{5.22}$$

Nakon razvoja Beselove funkcije u red [79] dobija se

$$\begin{aligned}
p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) &= \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1!\Gamma(j_1+c)} \times \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2!\Gamma(j_2+c)} \Omega_1^{j_1+c-1} \Omega_2^{j_1+j_2+c-1} \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_3+\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{5.23}$$

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 m_{xn} / \Omega_1 p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{\mu^2(k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1}e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu\sqrt{k(k+1)}\right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1!i_2!\Gamma(i_1+\mu)\Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1!\Gamma(j_1+c)} \times \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2!\Gamma(j_2+c)} \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-2(\mu+1)-i_1-i_2-\mu-1+i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}+j_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_1+j_2+c-1} e^{-\frac{(1+\rho)\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{5.24}$$

Primenom [79] rešava se drugi i treći integral u (5.24) tako da se sada dobija

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \times \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{-\mu+j_1+c+\frac{n}{2}-2} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \gamma\left(j_1+j_2+c, \frac{(1+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{5.25}$$

gde  $\gamma(n,x)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju. Nakon razvoja Gama funkcije prema (5.14),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(j_1+j_2+c+1)_{(j_3)}} \frac{(1+\rho)^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{1}{(j_2+c+1)_{(j_4)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c-\mu+\frac{n}{2}-1-1} e^{-\frac{(3+\rho)\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{5.26}$$

Primenom [79] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+j_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+j_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(j_1+j_2+c+1)_{(j_3)}} \frac{(1+\rho)^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{1}{(j_2+c+1)_{(j_4)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{3+\rho} \right)^{2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c-\mu+\frac{n}{2}-1} \Gamma\left(2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c-\mu+\frac{n}{2}-1\right)
\end{aligned} \tag{5.27}$$

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 m_{yn} / \Omega_2 \rho_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3} (\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \\
&= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \times \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_2 \Omega_2^{j_1+j_2+c-1-2(\mu+1)+i_1+i_2+\mu-1+i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}} e^{-\frac{(1+\rho)\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{j_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{j_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{5.28}$$

Primenom [79] rešava se drugi i treći integral u (5.28) tako da se sada dobija

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \times \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{j_1+j_2+c+2i_1+2i_2+\mu-5+\frac{n}{2}} e^{-\frac{(1+\rho)\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \gamma\left(j_1+c, \frac{(1+\rho)\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(j_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{5.29}$$

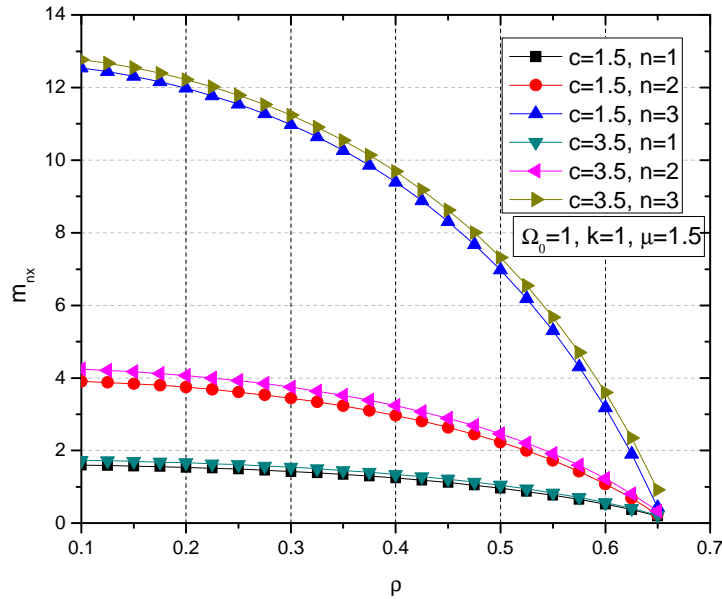
Nakon razvoja Gama funkcije prema (5.14),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{c-1} \Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(j_1+c+1)_{(j_3)}} \frac{(1+\rho)^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{1}{(j_2+c+1)_{(j_4)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c+2i_1+2i_2+\mu+\frac{n}{2}-4-1} e^{-\frac{(3+\rho)\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{5.30}$$

Primenom [79] dobija se

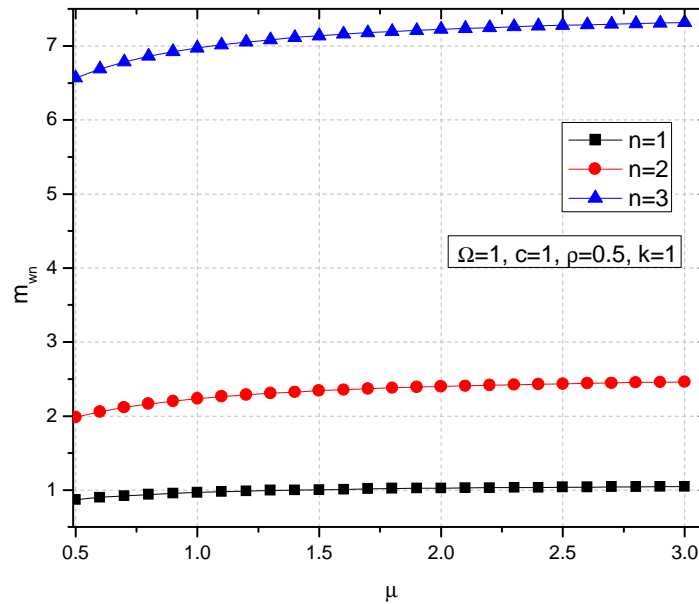
$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{\mu^2 (k+1)^{\mu+1}}{k^{\mu-1} e^{2\mu k}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+2i_2+2\mu+\frac{n}{2}} \frac{1}{i_1! i_2! \Gamma(i_1+\mu) \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\times \frac{1}{(\mu(k+1))^{i_1+i_2+2\mu+\frac{n}{2}}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \Gamma\left(i+\mu+\frac{n-i}{2}\right) \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{i}{2}\right) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_1+c-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+c)} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2j_2+c-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{j_1+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_1+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(j_1+c+1)_{(j_3)}} \frac{(1+\rho)^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \frac{1}{j_2+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2+c}} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{1}{(j_2+c+1)_{(j_4)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_4}} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{3+\rho} \right)^{2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c+2i_1+2i_2+\mu+\frac{n}{2}-4} \Gamma\left(2j_1+2j_2+j_3+j_4+3c+2i_1+2i_2+\mu+\frac{n}{2}-4\right) \quad (5.31)
\end{aligned}$$

Zamenom rešenja integrala u izraz za momente na izlazu makrodiverziti sistema (5.21) moguće je na osnovu njega grafički prikazati promenu momenata. Na Slici 5.5 je dat grafički prikaz prvog, drugog i trećeg momenta signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti EGC prijemnika u zavisnosti od koeficijenta korelacija  $\rho$ , a za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$ .

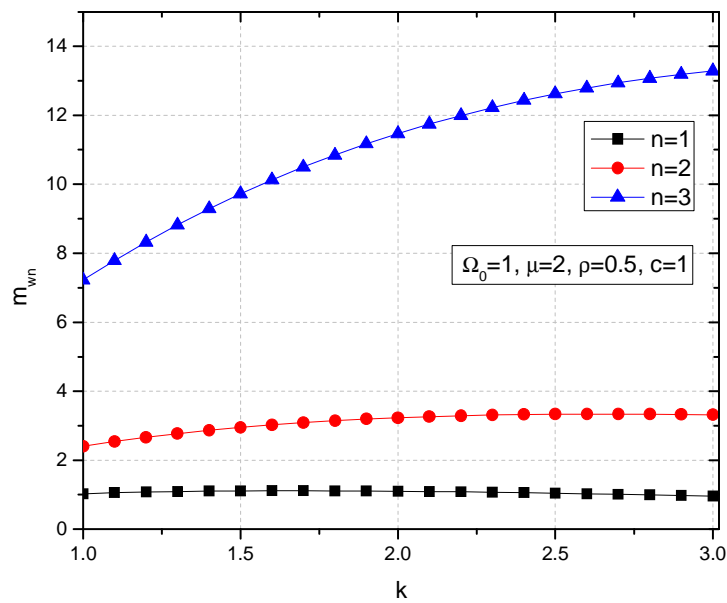


Slika 5.5: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ .

Sa Slike 5.5. se može videti da je najveće opadanje karakteristično za momente višeg reda. Ukoliko uporedimo krive po parametru  $c$  možemo videti da više vrednosti dubine osenčenosti kanala daju više vrednosti momenata signala.



Slika 5.6: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .



Slika 5.7: Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

---

Na Slici 5.6 je prikazana zavisnost momenata prvog, drugog i trećeg reda od broja klastera  $\mu$  za  $\Omega_0=1$ ,  $c=1$ ,  $\rho=0.5$  i  $k=1$ . Pri niskim vrednostima parametra  $\mu$  momenti neznatno rastu da bi sa porastom broja klastera, vrednosti momenta signala postali delimično konstantni.

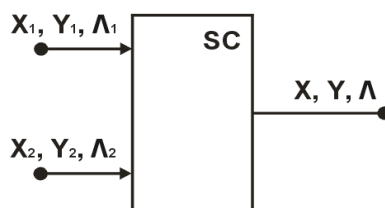
Na Slici 5.7 dat je grafički prikaz prvog, drugog i trećeg momenata signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti EGC kombinera u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora, a za  $\Omega_0=1$ ,  $\mu=2$ ,  $\rho=0.5$  i  $c=1$ . Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora najviše raste treći moment, a zatim drugi moment koji pri nižim vrednostima parametra  $k$  raste da bi kasnije težio nekoj konstantnoj vrednosti. Prvi moment je uglavnom konstantan u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.



---

## 6. KARAKTERISTIKE SC PRIJEMNIKA U PRISUSTVU KORISNOG SIGNALA I INTERFERENCIJE

U ovom poglavlju razmatraće se statističke karakteristike mikrodiverziti SC (selection combining) prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interferencije, kao što je prikazano na Slici 6.1. Korisni signali na ulazima su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$  a na izlazu sa  $x$ . Interferencija na ulazu je označena sa  $y_1$  i  $y_2$ , a na izlazu sa  $y$ . Odnos korisnog signala i interferencije na ulazima su predstavljeni sa  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ , a na izlazu iz prijemnika sa  $\lambda$ .



Slika 6.1: Mikrodiverziti SC prijemnik.

Odnos korisnog signala na prvom ulazu, drugom ulazu i na izlazu iz SC prijemnika dat je sledećim izrazima [96-98]:

$$\lambda_1 = \frac{x_1}{y_1} \quad , \quad x_1 = \lambda_1 y_1 \quad , \quad (6.1)$$

$$\lambda_2 = \frac{x_2}{y_2} \quad , \quad x_2 = \lambda_2 y_2 \quad , \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{x}{y} \quad , \quad x = \lambda y \quad . \quad (6.3)$$

### 6.1. Veibulov korisni signal i $k$ - $\mu$ interferencija

Na ulazu je prisutan koristan signal opisan Veibulovom raspodelom, a interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom.

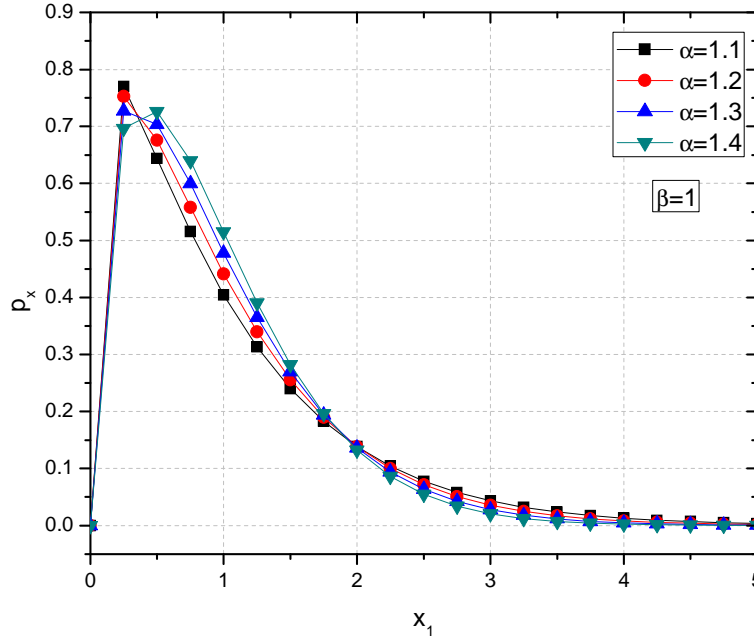
Gustina verovatnoće korisnog signala  $x_1$  i  $x_2$  data je sa [39-40]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha}{\beta} x_1^{\alpha-1} e^{-\frac{1}{\beta} x_1^\alpha}, \quad x_1 \geq 0, \quad (6.4)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha}{\beta} x_2^{\alpha-1} e^{-\frac{1}{\beta} x_2^\alpha}, \quad x_2 \geq 0, \quad (6.5)$$

gde je  $\alpha$  koeficijent nelinearnosti propagacione okoline, a  $\beta$  srednja snaga signala.

Na osnovu (6.4) i (6.5), na Slici 6.2 grafički je prikazana raspodela gustine verovatnoće za koristan signal opisan Veibulovm raspodelom za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ . Sa porastom parametra  $\alpha$  smanjuje se vrh gustine verovatnoće i ona sporije opada u odnosu na niže vrednosti koeficijenta nelinearnosti.



Slika 6.2: Gustina verovatnoće Veibulovog signala za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

Gustine verovatnoće interferencije  $y_1$  i  $y_2$  data je sa [99-100]:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} y_1^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} y_1 \right), \quad y_1 \geq 0, \quad (6.6)$$

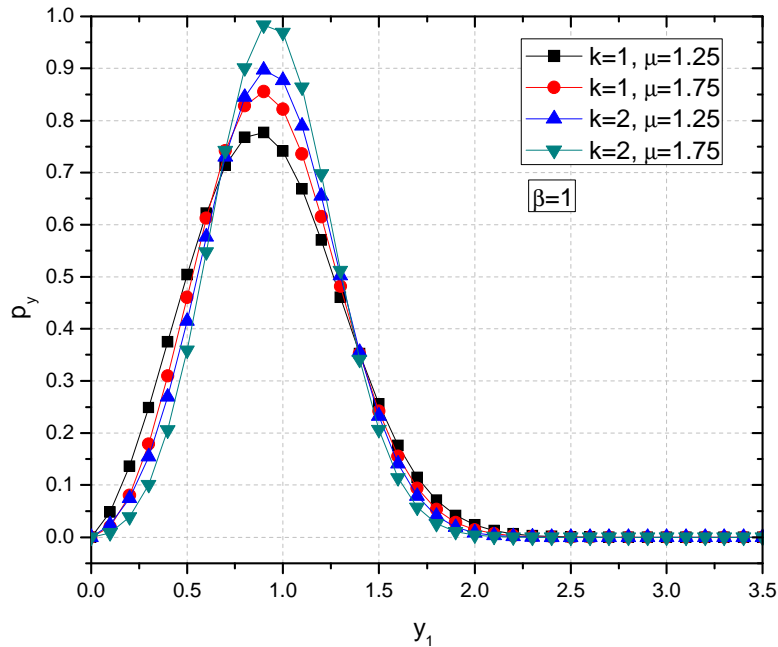
$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} y_2^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)y_2^2}{y_0}} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} y_2 \right), \quad y_2 \geq 0, \quad (6.7)$$

gde je  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal,  $k$  Rajsov faktor,  $y_0$  srednja snaga signala, a  $I_n(\cdot)$  modifikovana Beselova funkcija prvog reda  $n$ -te vrste. Nakon razvoja Beselove funkcije u red [79], izrazi za gustinu verovatnoće  $y_1$  i  $y_2$  postaju:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu y_0^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} y_1^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0}}, \quad (6.8)$$

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu y_0^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} y_2^{2i_2+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y_2^2}{y_0}}. \quad (6.9)$$

Na osnovu (6.8) i (6.9), na Slici 6.3 prikazana je gustina verovatnoće interferencije opisane  $k$ - $\mu$  raspedlom za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Za više vrednosti parametra  $k$  i  $\mu$  dobija se veći ekstrem gustine verovatnoće i njeno brže opadanje.



Slika 6.3: Gustina verovatnoće  $k$ - $\mu$  interferencije za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ .

Uslovna gustina verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$p_{\lambda_1}(\lambda_1 / y_1) = \left| \frac{dx_1}{d\lambda_1} \right| p_{x_1}(\lambda_1 y_1), \quad (6.10)$$

gde je

$$\frac{dx_1}{d\lambda_1} = y_1 \quad . \quad (6.11)$$

Zamenom (6.11) u (6.10) se dobija

$$p_{\lambda_1}(\lambda_1 / y_1) = y_1 p_{x_1}(\lambda_1 y_1) . \quad (6.12)$$

Usrednjavanjem (6.12) dobija se

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1 \cdot p_{x_1}(\lambda_1 y_1) \cdot p_{y_1}(y_1) = \\ &= \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1 \frac{\alpha}{\beta} (\lambda_1 y_1)^{\alpha-1} e^{-\frac{1}{\beta} \lambda_1^{\alpha} y_1^{\alpha}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{y_1^{2i+2\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0}} = (6.13) \\ &= \frac{2\alpha}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha-1} \sum_{i=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1^{2i+2\mu-1+\alpha} e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0}} e^{-\frac{\lambda_1^{\alpha} y_1^{\alpha}}{\beta}} \end{aligned}$$

Uvode se smene

$$s = \frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0} \quad , \quad (6.14)$$

$$y_1 = \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}} \quad , \quad (6.15)$$

$$dy_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{\frac{1}{2}} s^{-\frac{1}{2}} ds \quad , \quad (6.16)$$

$$y_1^{\alpha} = \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{\frac{\alpha}{2}} s^{\frac{\alpha}{2}} \quad . \quad (6.17)$$

Zamenom (6.14), (6.15), (6.16) i (6.17) u (6.13) dobija se

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{2\alpha}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha-1} \sum_{i=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}} \times \\ &\quad \times \int_0^{\infty} ds \cdot s^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}-1} e^{-s} e^{-\frac{\lambda_1^{\alpha}}{\beta} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{\frac{\alpha}{2}} s^{\frac{\alpha}{2}}} \end{aligned} \quad . \quad (6.18)$$

Primenom formule

$$I = \int_0^{\infty} dx \cdot x^{a-1} e^{-s} e^{-x-bx^r} = \frac{\lambda^{a-1}}{(\sqrt{2\pi})^{k+\lambda-2}} \sqrt{\frac{k}{\lambda}} \cdot G_{\lambda,k}^{k,\lambda} \left[ b^k \frac{\lambda^\lambda}{k^k} \left| \begin{array}{c} 1-a, 2-a, \dots, \lambda-a \\ \lambda, \lambda, \dots, \lambda \end{array} \right. \right. \\ \left. \left. 0, \frac{1}{k}, \dots, \frac{k-1}{k} \right. \right], \quad (6.19)$$

gde je  $\gamma = \frac{\lambda}{k}$ ,  $\lambda = \alpha$ ,  $k = 2$ ,  $a = i_1 + \mu + \frac{\alpha}{2}$ ,  $b = \frac{\lambda_1^2}{\beta} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha$ , a  $G_{\lambda,k}^{k,\lambda} [ ]$  Majerova

funkcija [87], dobija se

$$p_{\lambda_1}(\lambda_1) = \frac{2\alpha}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}} \times \\ \times \frac{\alpha^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{\lambda_1^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, 2-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, \dots, \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \end{array} \right. \right. \\ \left. \left. 0, \frac{1}{2} \right. \right] \quad (6.20)$$

Na sličan način se dobija i gustina verovatnoće za  $\lambda_2$ :

$$p_{\lambda_2}(\lambda_2) = \frac{2\alpha}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_2^{\alpha-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu+\frac{\alpha}{2}} \times \\ \times \frac{\alpha^{i_2+\mu+\frac{\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{\lambda_2^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}, 2-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}, \dots, \alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \end{array} \right. \right. \\ \left. \left. 0, \frac{1}{2} \right. \right] \quad (6.21)$$

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$F_{\lambda_1}(\lambda_1) = \int_0^{\lambda_1} dt \cdot p_{\lambda_1}(t) = \\ = \frac{1}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}} \frac{\alpha^{i_1+\mu+\frac{\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\ \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{\lambda_1^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, 2-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, \dots, \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \end{array} \right. \right. \\ \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right. \right] \quad (6.22)$$

Na sličan način se dobija kumulativna verovatnoća za  $\lambda_2$ :

$$F_{\lambda_2}(\lambda_2) = \frac{1}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_2^{\alpha-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \times$$

$$\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu+\frac{\alpha}{2}} \frac{\alpha^{i_2+\mu+\frac{\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \quad (6.23)$$

$$\times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{\lambda_2^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \frac{1-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, \frac{2-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, 1-\frac{1}{2} \right. \right.$$

$$\left. \left. \begin{matrix} 0, & \frac{1}{2}, & -\frac{1}{2} \end{matrix} \right. \right]$$

Odnos korisnog signala i interferencije na izlazu iz SC prijemnika je [101-104]

$$\lambda = \max(\lambda_1, \lambda_2) \quad (6.24)$$

Kumulativna verovatnoća signala  $\lambda$  na izlazu iz SC prijemnika je

$$F_\lambda(\lambda) = F_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = (F_{\lambda_1}(\lambda))^2 =$$

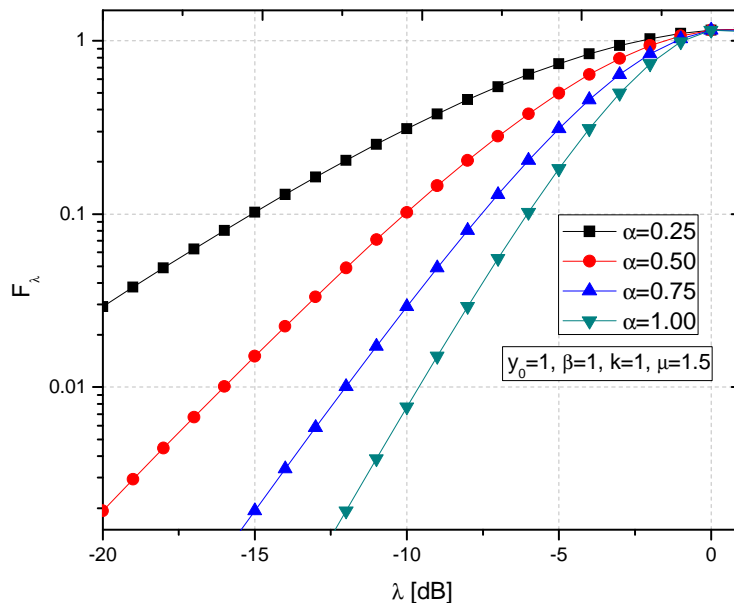
$$= \frac{1}{\beta^2} \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \lambda^{2\alpha-2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{4i_1+2\mu-2} \times$$

$$\times \left( \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} \right)^2 \frac{1}{4} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{2i_1+2\mu+\alpha} \frac{\alpha^{2i_1+2\mu+\alpha-1}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{\alpha}{2} \times \quad (6.25)$$

$$\times \left( G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{\lambda^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \frac{1-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, \frac{2-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}}{\alpha}, 1-\frac{1}{2} \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \begin{matrix} 0, & \frac{1}{2}, & -\frac{1}{2} \end{matrix} \right. \right] \right)^2$$

Koristeći se (6.25) grafički je određena i prikazana na Slici 6.4 promena kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika na čijem ulazu se nalazi korisni signal opisan  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom i interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom. Kumulativna verovatnoća je data u zavisnosti od amplitude odnosa korisnog signala i signala interferencije, a za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ . Sa datih grafika se može videti da sa porastom koeficijenta nelinearnosti, kumulativna verovatnoća signala znatno brže raste u odnosu na manje vrednosti parameter  $\alpha$ .



Slika 6.4: Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

Gustina verovatnoće signala  $\lambda$  na izlazu iz SC kombinera je

$$\begin{aligned}
 p_\lambda(\lambda) &= p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) + p_{\lambda_2}(\lambda) \cdot F_{\lambda_1}(\lambda) = 2p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = \\
 &= 2 \frac{2\alpha}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda^{\alpha-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\frac{\mu+\alpha}{2}} \frac{\alpha^{i_1+\frac{\mu+\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
 &\quad \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{\lambda^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, \quad 2-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2}, \quad \dots, \quad \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha}{2} \\ \alpha, \quad \alpha, \quad \dots, \quad \alpha \end{array} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. 0, \quad \frac{1}{2} \right] \times \\
 &\times \frac{1}{\beta} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda^{\alpha-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\frac{\mu+\alpha}{2}} \frac{\alpha^{i_2+\frac{\mu+\alpha}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \times \\
 &\quad \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{\lambda^{2\alpha}}{\beta^2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}, \quad 2-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2}, \quad \dots, \quad \alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha}{2} \\ \alpha, \quad \alpha, \quad \dots, \quad \alpha \end{array} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. 0, \quad \frac{1}{2}, \quad -\frac{1}{2} \right] \right. \quad . \quad (6.26)
 \end{aligned}$$

## 6.2. Korisni signal $\alpha$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija

Na ulazu je prisutan koristan signal opisan  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom, a interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom.

Gustina verovatnoće korisnog signala  $x_1$  i  $x_2$  data je sa [45,105]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m x_1^{\alpha m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} x_1^\alpha}, \quad x_1 \geq 0, \quad (6.27)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m x_2^{\alpha m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} x_2^\alpha}, \quad x_2 \geq 0. \quad (6.28)$$

gde je  $\alpha$  koeficijent nelinearnosti propagacione okoline,  $m$  parametar koji definiše broj klastera kroz koji se prostire signal, a  $\Omega$  srednja snaga signala.

Gustina verovatnoće za  $y_1$  i  $y_2$  date su sa (6.8) i (6.9), respektivno.

Gustina verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1 \cdot p_{x_1}(\lambda_1 y_1) \cdot p_{y_1}(y_1) = \\ &= \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1 \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \lambda_1^{\alpha m-1} y_1^{\alpha m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} \lambda_1^\alpha y_1^\alpha} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \times \\ &\times \sum_{i_1=0}^\infty \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} y_1^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0}} = \\ &= \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha m-1} \sum_{i_1=0}^\infty \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times \\ &\times \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1^{2i_1+2\mu\alpha m-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y_1^2}{y_0} - \frac{m}{\Omega} \lambda_1^\alpha y_1^\alpha} \end{aligned} \quad (6.29)$$

Uvodeći smene (6.14), (6.15), (6.16) i (6.17) u (6.29) dobija se

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha m-1} \sum_{i_1=0}^\infty \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times \\ &\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \int_0^\infty ds \cdot s^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1} e^{-s - \frac{m}{\Omega} \lambda_1^\alpha \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{\frac{\alpha}{2}} s^{\frac{\alpha}{2}}} \end{aligned} \quad (6.30)$$

Primenom integrala (6.19) nad (6.30) dobija se



$$\begin{aligned}
p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha m-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times \\
&\quad \times \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\quad \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda_1^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad 2-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad \dots, \quad \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2} \\ \alpha, \quad \alpha, \quad \dots, \quad \alpha \end{array} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \begin{array}{c} 0, \\ \frac{1}{2} \end{array} \right. \right] \quad (6.31)
\end{aligned}$$

gde je  $b = \frac{m}{\Omega} \lambda_1^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha$ ,  $a = i_1 + \mu + \frac{\alpha m}{2}$ ,  $\lambda = \alpha$ ,  $k = 2$ , a  $G_{\lambda,k}^{k,\lambda} [ \ ]$  Majerova funkcija.

Na sličan način se dobija i gustina verovatnoće za  $\lambda_2$ :

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_2^{\alpha m-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \times \\
&\quad \times \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\quad \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda_2^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad 2-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad \dots, \quad \alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2} \\ \alpha, \quad \alpha, \quad \dots, \quad \alpha \end{array} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \begin{array}{c} 0, \\ \frac{1}{2} \end{array} \right. \right] \quad (6.32)
\end{aligned}$$

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \int_0^{\lambda_1} dt \cdot p_{\lambda_1}(t) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_1^{\alpha m-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\quad \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda_1^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad 2-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad \dots, \quad \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \quad 1-\frac{m+1}{2} \\ \alpha, \quad \alpha, \quad \dots, \quad \alpha \end{array} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \begin{array}{c} 0, \quad \frac{1}{2}, \quad \frac{m+1}{2} \end{array} \right. \right] \quad (6.33)
\end{aligned}$$

Na sličan način se dobija kumulativna verovatnoća za  $\lambda_2$ :

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \int_0^{\lambda_2} dt \cdot p_{\lambda_2}(t) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda_2^{\alpha m-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda_2^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 2-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \dots, \alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 1-\frac{m+1}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \\ 0, \frac{1}{2}, \frac{m+1}{2} \end{array} \right. \right]
\end{aligned} \quad (6.34)$$

Signal na izlazu iz SC kombinera je jednak (6.24).

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda$  je

$$\begin{aligned}
F_{\lambda}(\lambda) &= F_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = (F_{\lambda_1}(\lambda))^2 = \\
&= \left( \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \lambda^{2\alpha m-2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{4i_1+2\mu-2} \left( \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \right)^2 \frac{1}{4} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{2i_1+2\mu+\alpha m} \frac{\alpha^{2i_1+2\mu+\alpha m-2}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{2}{\alpha} \times \\
&\left( G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 2-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \dots, \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 1-\frac{m+1}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \\ 0, \frac{1}{2}, \frac{m+1}{2} \end{array} \right. \right] \right)^2
\end{aligned} \quad (6.35)$$

Gustina verovatnoće signala od  $\lambda$  na izlazu iz SC kombinera je

$$\begin{aligned}
p_{\lambda}(\lambda) &= p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) + p_{\lambda_2}(\lambda) \cdot F_{\lambda_1}(\lambda) = 2p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = \\
&= \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda^{\alpha m-1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_1+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 2-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \dots, \alpha-i_1-\mu-\frac{\alpha m}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \\ 0, \frac{1}{2} \end{array} \right. \right] \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \lambda^{\alpha m-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}} \frac{\alpha^{i_2+\mu+\frac{\alpha m}{2}-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times \\
&\times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \frac{m^2}{\Omega^2} \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_0}{\mu(k+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \left| \begin{array}{c} 1-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 2-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, \dots, \alpha-i_2-\mu-\frac{\alpha m}{2}, 1-\frac{m+1}{2} \\ \alpha, \alpha, \dots, \alpha \\ 0, \frac{1}{2}, \frac{m+1}{2} \end{array} \right. \right]
\end{aligned} \quad (6.36)$$

### 6.3. Korisni signal $\alpha$ - $k$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija

Na ulazu je prisutan koristan signal opisan  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodelom, a interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom.

Gustina verovatnoće korisnog signala  $x_1$  i  $x_2$  data je sa [60]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} x_1^{\frac{\alpha\mu+\alpha-1}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)}{y_0} x_1^\alpha} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} x_1^{\frac{\alpha}{2}} \right), \quad x_1 \geq 0, \quad (6.37)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} x_2^{\frac{\alpha\mu+\alpha-1}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)}{y_0} x_2^\alpha} I_{\mu-1} \left( 2\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} x_2^{\frac{\alpha}{2}} \right), \quad x_2 \geq 0, \quad (6.38)$$

odnosno, nakon razvoja Beselove funkcije  $I_n(\cdot)$  u red [79]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{y_0} x_1^\alpha}, \quad x_1 \geq 0, \quad (6.39)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x_2^{\alpha i_1+\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{y_0} x_2^\alpha}, \quad x_2 \geq 0, \quad (6.40)$$

gde je  $\alpha$  koeficijent nelinearnosti propagacione okoline,  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal,  $k$  Rajsov faktor,  $y_0$  srednja snaga signala.

Gustina verovatnoće interferencije  $y_1$  i  $y_2$  data je sa:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} y_1^{\mu_1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_{01}}} I_{\mu_1-1} \left( 2\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} y_1 \right), \quad y_1 \geq 0, \quad (6.41)$$

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} y_2^{\mu_1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_{01}}} I_{\mu_1-1} \left( 2\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} y_2 \right), \quad y_2 \geq 0, \quad (6.42)$$

odnosno, nakon razvoja Beselove funkcije  $I_n(\cdot)$  u red [79]:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} y_1^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_{01}}}, \quad y_1 \geq 0, \quad (6.43)$$

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} y_2^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_2^2}{y_0}}, \quad y_2 \geq 0, \quad (6.44)$$

gde je,  $\mu_1$  broj klastera kroz koji se prostire signal interferencije,  $k_1$  odgovarajući Rajsov faktor za interferenciju,  $y_{01}$  srednja snaga interferencije.

Gustina verovatnoće od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1 \cdot p_{x_1}(\lambda_1 y_1) \cdot p_{y_1}(y_1) = \\ &= \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1 \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \lambda_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1} y_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{y_0} \lambda_1^{\alpha} y_1^{\alpha}} \times \\ &\times \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} y_1^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_0}} = \quad (6.45) \\ &= \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \lambda_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1} \times \\ &\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \int_0^{\infty} dy_1 \cdot y_1^{\alpha i_1+\alpha\mu+2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_0} - \frac{\mu(k+1)}{y_0} \lambda_1^{\alpha} y_1^{\alpha}} \end{aligned}$$

Uvodeći smene (6.14), (6.15), (6.16) i (6.17) u (6.45) dobija se

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{\lambda_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times \\ &\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \quad (6.46) \\ &\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1} \int_0^{\infty} ds \cdot y_1^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1-1} e^{-s \frac{\mu(k+1)}{y_0} \lambda_1^{\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha}{2}} s^{\frac{\alpha}{2}}} \end{aligned}$$

Primenom integrala (6.19) nad (6.46) dobija se

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{\lambda_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda_1^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right], \quad (6.47) \\
&\left[ \frac{1-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha} \right] \\
&\quad 0, \quad \frac{1}{2}
\end{aligned}$$

gde je  $b = \frac{m}{\Omega} \lambda_1^2 \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha$ ,  $a = i_1 + \mu_1 + \frac{\alpha m}{2}$ ,  $\lambda = \alpha$ ,  $k=2$  a  $G_{\lambda,k}^{k,\lambda} [ ]$  Majerova funkcija [87].

Na sličan način se dobija gustina verovatnoća za  $\lambda_2$ :

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \frac{\alpha\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{\lambda_2^{\alpha i_1+\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda_2^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right]. \quad (6.48) \\
&\left[ \frac{1-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha} \right] \\
&\quad 0, \quad \frac{1}{2}
\end{aligned}$$

Kumulativna verovatnoće od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^2 e^{k\mu} y_0^2} \frac{2\mu_1(k+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^2 e^{k_1\mu_1} y_{01}^2} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{\lambda_1^{\alpha i_1+\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda_1^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right.
\end{aligned} \tag{6.49}$$

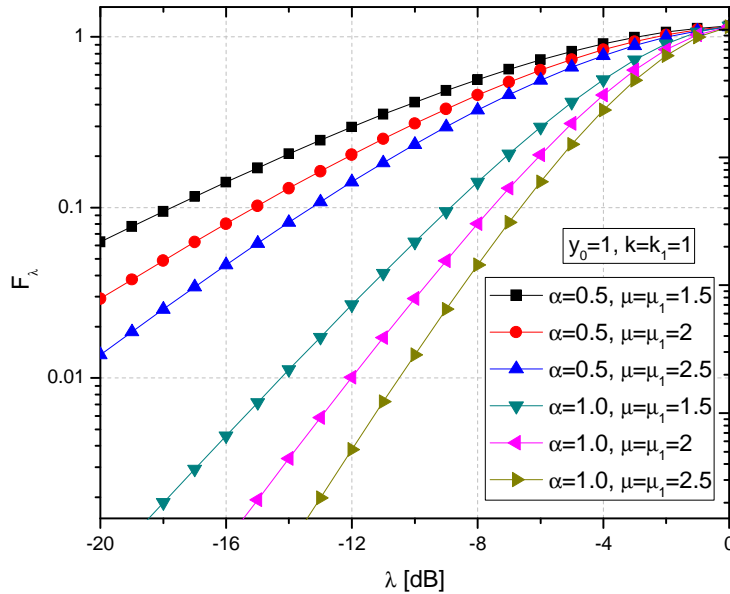
Na sličan način se dobija kumulativna verovatnoća za  $\lambda_2$ :

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^2 e^{k\mu} y_0^2} \frac{2\mu_1(k+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^2 e^{k_1\mu_1} y_{01}^2} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{\lambda_2^{\alpha i_1+\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\frac{\alpha i_1+\alpha\mu}{2}+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda_2^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right.
\end{aligned} \tag{6.50}$$

Signal na izlazu iz SC kombinera je jednak (6.24).

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda$  na izlazu iz kombinera je

$$\begin{aligned}
F_\lambda(\lambda) &= F_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = (F_{\lambda_1}(\lambda))^2 = \\
&= \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \left( \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \right)^2 \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{4i_1+2\mu-1} \left( \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \right)^2 \lambda^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{4i_2+2\mu_1-2} \left( \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \right)^2 \times \\
&\times \frac{1}{4} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+2i_2+2\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1+\alpha\mu+2i_2+2\mu_1-2}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{2}{\alpha} \times \left( G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \right. \\
&\left. \left. \left| \frac{1-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\frac{\alpha i_1}{2}-\frac{\alpha\mu}{2}-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right. \right. \right. \\
&\left. \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right) \quad .(6.51)
\end{aligned}$$



Slika 6.5: Kumulativna verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika za različite vrednosti parametra nelinearnosti  $\alpha$  i broja osnih preseka  $\mu$ .

Na osnovu (6.51), na Slici 6.5 je prikazana grafička promena kumulativna verovatnoće na izlazu iz SC prijemnika kada je korisni signal na njegovom ulazu opisan  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspodelom, interferencija  $k$ - $\mu$  raspodelom. Kumulativna verovatnoća je predstavljena u zavisnosti od odnosa amplitude korisnog i željenog signal na ulazu, a za različite vrednosti

koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$  i broja klastera  $\mu$ . Kumulativna verovatnoća brže raste, tj. teži ka 1 kada koeficijent nelinearnosti i broj klastera rastu.

Gustina verovatnoća od  $\lambda$  je

$$\begin{aligned}
p_\lambda(\lambda) &= p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) + p_{\lambda_2}(\lambda) \cdot F_{\lambda_1}(\lambda) = 2p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = \\
&= 2\alpha \left( \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \left( \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \right)^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{4i_1+2\mu-2} \left( \frac{\lambda^{\alpha i_1 + \alpha\mu - 1}}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} \right)^2 \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{4i_2+2\mu_1-2} \left( \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu_1)} \right)^2 \frac{1}{4} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\alpha i_1 + \alpha\mu + 2i_2 + 2\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1 + \alpha\mu + 2i_2 + 2\mu_1 - 1}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{2}{\alpha} \times \\
&\times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1 - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha}, \frac{2 - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha} \right. \right] \times \\
&\left. \left. \begin{matrix} 0, & \frac{1}{2} \end{matrix} \right] \times \right. \\
&\times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{\mu(k+1)}{y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1 - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha}, \frac{2 - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha - \frac{\alpha i_1}{2} - \frac{\alpha\mu}{2} - i_2 - \mu_1}{\alpha}, 1 - \frac{m+1}{2} \right. \right] \times \\
&\left. \left. \begin{matrix} 0, & \frac{1}{2}, & -\frac{m+1}{2} \end{matrix} \right] \right. \quad (6.52)
\end{aligned}$$

#### 6.4. Korisni signal $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$ i $k$ - $\mu$ interferencija

Na ulazu je prisutan koristan signal opisan  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  raspodelom, a interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom.

Gustina verovatnoće korisnog signala  $x_1$  i  $x_2$  data je sa [63]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu} (\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu} \sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu) y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} x_1^{\alpha\left(\frac{1}{2}+\mu\right)-1} e^{-\frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} x_1^\alpha} I_{\mu-\frac{1}{2}} \left( \frac{(\eta^2-1)}{2\eta y_0} x_1^\alpha \right), \quad x_1 \geq 0, \quad (6.53)$$



$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} x_2^{\alpha\left(\frac{1}{2}+\mu\right)-1} e^{-\frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} x_2^\alpha} I_{\mu-\frac{1}{2}}\left(\frac{(\eta^2-1)}{2\eta y_0} x_2^\alpha\right), \quad x_2 \geq 0, \quad (6.54)$$

odnosno, nakon razvoja Beselove funkcije  $I_n(\cdot)$  u red [79]

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} x_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1} e^{-\frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} x_1^\alpha}, \quad x_1 \geq 0, \quad (6.55)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma\left(i_2+\mu+\frac{1}{2}\right)} x_2^{2\alpha i_2+2\alpha\mu-1} e^{-\frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} x_2^\alpha}, \quad x_2 \geq 0, \quad (6.56)$$

gde je  $\alpha$  koeficijent nelinearnosti propagacione okoline,  $\eta$  predstavlja odnos snaga u fazi kvadraturi,  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal,  $k$  Rajssov faktor,  $y_0$  srednja snaga signala.

Gustine verovatnoće interferencija  $y_1$  i  $y_2$  date su sa (6.43) i (6.44).

Gustina verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned} p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1 \cdot p_{x_1}(\lambda_1 y_1) \cdot p_{y_1}(y_1) = \\ &= \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1 \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1} y_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1} e^{-\frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} \lambda_1^\alpha y_1^\alpha}}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \times \\ &\quad \times \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} y_1^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_0}} = \\ &= \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi\mu}^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \times \\ &\quad \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \int_0^\infty dy_1 \cdot y_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu+2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)y_1^2}{y_0} - \frac{(1+\eta)^2}{2\eta y_0} \lambda_1^\alpha y_1^\alpha} \end{aligned} \quad (6.57)$$

Uvodeći smene (6.14), (6.15), (6.16) i (6.17) u (6.57) dobija se

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi}\mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}}e^{k_1\mu_1}y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1!\Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1\sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu_1)} \times. \quad (6.58) \\
&\times \frac{1}{2} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1} \int_0^{\infty} ds \cdot y_1^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1-1} e^{-s-\frac{(1+\eta)^2\lambda_1^\alpha}{2\eta y_0}\left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\frac{\alpha}{2}}\frac{\alpha}{s^2}}
\end{aligned}$$

Primenom integrala (6.19) nad (6.58) dobija se

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi}\mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}}e^{k_1\mu_1}y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1!\Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1\sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left(\frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0}\right)^2 \lambda_1^{2\alpha} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\quad \left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2} \right] \right. \quad (6.59)
\end{aligned}$$

gde je  $\gamma = \frac{\lambda}{k}$ ,  $\lambda = \alpha$ ,  $k = 2$ ,  $a = \alpha i_1 + \alpha\mu + i_2 + \mu_1$ ,  $b = \frac{(1+\eta)^2\lambda_1^\alpha}{2\eta y_0} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\frac{\alpha}{2}}$ , a

$G_{\lambda,k}^{k,\lambda} [ ]$  Majerova funkcija [87].

Na sličan način se dobija gustina verovatnoća za  $\lambda_2$ :

$$\begin{aligned}
p_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi}\mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}}e^{k_1\mu_1}y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_2^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1!\Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1\sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left(\frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0}\right)^2 \lambda_2^{2\alpha} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2} \right] \right. \quad (6.60)
\end{aligned}$$

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda_1$  je

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_1}(\lambda_1) &= \frac{(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu}(\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu}\sqrt{\pi}\mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta}\Gamma(\mu)y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}}e^{k_1\mu_1}y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\eta^2-1}{4\eta y_0}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1!\Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1\sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}}\right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\times \frac{1}{2} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left(\frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0}\right)^2 \lambda_1^{2\alpha} \left(\frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)}\right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right. \quad (6.61)
\end{aligned}$$

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda_2$  je

$$\begin{aligned}
F_{\lambda_2}(\lambda_2) &= \frac{(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu} (\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu} \sqrt{\pi} \mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta} \Gamma(\mu) y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1 (k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1 \mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\eta^2-1}{4\eta y_0} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \lambda_2^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \times \\
&\frac{1}{2} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1} \frac{\alpha^{\alpha i_1+\alpha\mu+i_2+\mu_1-1}}{(\sqrt{2\pi})^\alpha} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0} \right)^2 \lambda_2^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right| \right. \\
&\left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right. \quad (6.62)
\end{aligned}$$

Signal na izlazu iz SC kombinera je jednak (6.24).

Kumulativna verovatnoća od  $\lambda$  na izlazu iz kombinera je

$$\begin{aligned}
F_\lambda(\lambda) &= F_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = (F_{\lambda_1}(\lambda))^2 = \\
&= \left( \frac{(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu} (\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu} \sqrt{\pi} \mu^{\frac{1}{2}+\mu}}{\sqrt{\eta} \Gamma(\mu) y_0^{\frac{1}{2}+\mu}} \frac{2\mu_1 (k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1 \mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \right)^2 \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\eta^2-1}{4\eta y_0} \right)^{4i_1+2\mu-1} \left( \frac{\lambda^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \right)^2 \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{4i_2+2\mu_1-2} \left( \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \right)^2 \times \\
&\times \frac{1}{4} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{2\alpha i_1+2\alpha\mu+2i_2+2\mu_1} \frac{\alpha^{2\alpha i_1+2\alpha\mu+2i_2+2\mu_1-2}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{2}{\alpha} \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right| \right. \\
&\left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right)^2 \quad (6.63)
\end{aligned}$$

Gustina verovatnoća od  $\lambda$  je

$$\begin{aligned}
p_\lambda(\lambda) &= p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) + p_{\lambda_2}(\lambda) \cdot F_{\lambda_1}(\lambda) = 2p_{\lambda_1}(\lambda) \cdot F_{\lambda_2}(\lambda) = \\
&= 2 \left( \frac{\alpha(\eta-1)^{\frac{1}{2}-\mu} (\eta+1)^{\frac{1}{2}+\mu} \sqrt{\pi} \mu^{\frac{1}{2}+\mu} 2\mu_1 (k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{\sqrt{\eta} \Gamma(\mu) y_0^{\frac{1}{2}+\mu} k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1 \mu_1} y_{01}^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \right)^2 \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\eta^2-1}{4\eta y_0} \right)^{4i_1+2\mu-1} \left( \frac{\lambda^{2\alpha i_1+2\alpha\mu-1}}{i_1! \Gamma\left(i_1+\mu+\frac{1}{2}\right)} \right)^2 \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{y_{01}}} \right)^{4i_2+2\mu_1-1} \left( \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \right)^2 \times \\
&\times \frac{1}{4} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{2\alpha i_1+2\alpha\mu+2i_2+2\mu_1} \frac{\alpha^{2\alpha i_1+2\alpha\mu+2i_2+2\mu_1-2}}{(\sqrt{2\pi})^{2\alpha}} \frac{2}{\alpha} \times G_{\alpha,2}^{2,\alpha} \left[ \left( \frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \\
&\quad \left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 0, \frac{1}{2} \right] \times \right. \\
&\quad \left. \times G_{\alpha+1,3}^{3,\alpha+1} \left[ \left( \frac{(1+\eta^2)}{2\eta y_0} \right)^2 \lambda^{2\alpha} \left( \frac{y_{01}}{\mu_1(k_1+1)} \right)^\alpha \frac{\alpha^\alpha}{4} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left| \frac{1-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \frac{2-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, \dots, \frac{\alpha-\alpha i_1-\alpha\mu-i_2-\mu_1}{\alpha}, 1-\frac{m+1}{2} \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. 0, \frac{1}{2}, -\frac{m+1}{2} \right] \right. \right. \tag{6.64}
\end{aligned}$$

## 6.5. Korisni signal $k$ - $\mu$ slučajna promenljiva i interferencija $k$ - $\mu$ slučajna promenljiva

Količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je dat sa

$$z = \frac{x}{y}, \tag{6.65}$$

gde je kvadrat  $x$  i  $y$   $k$ - $\mu$  slučajne promenljive dat sa

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \tag{6.66}$$

i

$$y^2 = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{2\mu}^2, \tag{6.67}$$

gde su  $x_i$  i  $y_i$ ,  $i=1,2,\dots,2\mu$  nezavisne Gausove slučajne promenljive.

Prvi izvod  $x$  i  $y$   $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$\dot{x} = \frac{1}{x} (x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 + \dots + x_{2\mu} \dot{x}_{2\mu}) \quad (6.68)$$

i

$$\dot{y} = \frac{1}{y} (y_1 \dot{y}_1 + y_2 \dot{y}_2 + \dots + y_{2\mu} \dot{y}_{2\mu}) \quad (6.69)$$

Prvi izvod od  $z$  je

$$\dot{z} = \frac{1}{y} \dot{x} - \frac{x}{y^2} \dot{y} = \frac{1}{xy} (x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 + \dots + x_{2\mu} \dot{x}_{2\mu}) - \frac{x}{y^3} (y_1 \dot{y}_1 + y_2 \dot{y}_2 + \dots + y_{2\mu} \dot{y}_{2\mu}) \quad (6.70)$$

Srednja vrednost od  $\dot{z}$  je

$$\bar{\dot{z}} = \frac{1}{xy} (x_1 \bar{\dot{x}}_1 + x_2 \bar{\dot{x}}_2 + \dots + x_{2\mu} \bar{\dot{x}}_{2\mu}) - \frac{x}{y^3} (y_1 \bar{\dot{y}}_1 + y_2 \bar{\dot{y}}_2 + \dots + y_{2\mu} \bar{\dot{y}}_{2\mu}) = 0 \quad (6.71)$$

pošto je

$$\bar{\dot{x}}_1 = \bar{\dot{x}}_2 = \dots = \bar{\dot{x}}_{2\mu} = 0 \quad (6.72)$$

i

$$\bar{\dot{y}}_1 = \bar{\dot{y}}_2 = \dots = \bar{\dot{y}}_{2\mu} = 0 \quad (6.73)$$

Varijansa od  $\dot{z}$  je

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = \frac{1}{x^2 y^2} (x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2 \sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2) + \frac{x^2}{y^6} (y_1^2 \sigma_{\dot{y}_1}^2 + y_2^2 \sigma_{\dot{y}_2}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2) \quad (6.74)$$

gde je

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \sigma_{\dot{x}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{\mu} = f_1^2 \quad (6.75)$$

i

$$\sigma_{\dot{y}_1}^2 = \sigma_{\dot{y}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{\mu} = f_2^2 \quad (6.76)$$

Parametar  $\mu$  predstavlja broj klastera kroz koji se signal prostire,  $f_m$  je maksimalna Doplerova frekvencija, a  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$  su srednje snage signala.

Zamenom (6.75) i (6.76) u (6.74) dobija se

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= \frac{1}{x^2 y^2} f_1^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2\mu}^2) + \frac{x^2}{y^6} f_2^2 (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{2\mu}^2) = \\ &= \frac{1}{x^2 y^2} f_1^2 x^2 + \frac{x^2}{y^6} f_2^2 y^2 = \frac{f_1^2}{y^2} + \frac{x^2 f_2^2}{y^4} = \frac{1}{y^2} (f_1^2 + z^2 f_2^2) \end{aligned} \quad (6.77)$$

Združena gustina verovatnoće od  $z$ ,  $\dot{z}$  i  $y$  je

$$p_{zzy}(\dot{z}\dot{y}) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_{zy}(zy) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_y(y) p_z(z/y) \quad . \quad (6.78)$$

Uslovna gustina od  $z$  je

$$p_z(z/y) = \left| \frac{dx}{dz} \right| p_x(zy) \quad , \quad (6.79)$$

gde je

$$\frac{dx}{dz} = y \quad . \quad (6.80)$$

Zamenom (6.87) u (6.86) dobija se

$$p_z(z/y) = y \cdot p_x(zy) \quad , \quad (6.81)$$

odnosno, zamenom (6.88) u (6.85) dobijamo izraz za združena gustina verovatnoće od  $z$ ,  $\dot{z}$  i  $y$ :

$$p_{zzy}(\dot{z}\dot{y}) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_y(y) y \cdot p_x(zy) \quad , \quad (6.82)$$

i izraz za združenu gustinu verovatnoće  $z$  i  $\dot{z}$ :

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \int_0^{\infty} dy \cdot y \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_x(zy) p_y(y) \quad . \quad (6.83)$$

Srednji broj osnih preseka od  $z$  je

$$\begin{aligned} N_z &= \int_0^{\infty} d\dot{z} \cdot \dot{z} \int_0^{\infty} dy \cdot y \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_x(zy) p_y(y) = \\ &= \int_0^{\infty} dy \cdot y \cdot p_x(zy) p_y(y) \int_0^{\infty} d\dot{z} \cdot \dot{z} \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) = \\ &= \int_0^{\infty} dy \cdot y \cdot p_x(zy) p_y(y) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_z \end{aligned} \quad (6.84)$$

Gustina verovatnoće od  $x$  je

$$p_x(x) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} x^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)x^2}{x_0}} \quad . \quad (6.85)$$

Gustina verovatnoće od  $y$  je

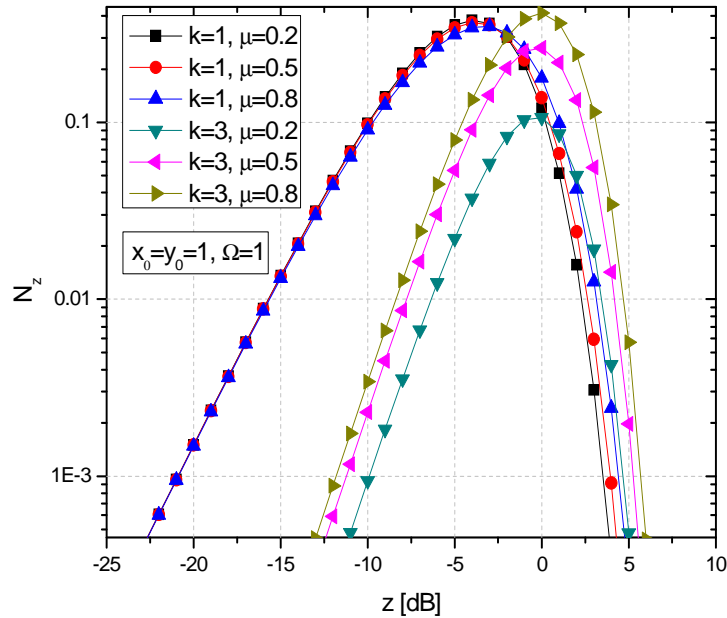
$$p_y(y) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} y^{2i_2+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y^2}{y_0}} \quad . \quad (6.86)$$

gde je  $k$  Rajsov faktor, a  $x_0$  i  $y_0$  srednje snage signala.

Zamenom (6.77), (6.85) i (6.86) u (6.84) dobija se srednji broj osnih preseka

$$\begin{aligned}
N_z &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} z^{2i_1+2\mu-1} \times \\
&\times \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \int_0^{\infty} dy \cdot y^{2i_1+2i_2+4\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)z^2 y^2}{x_0} - \frac{\mu(k+1)y^2}{y_0}} = \\
&= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} z^{2i_1+2\mu-1} \times \\
&\times \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \left( \frac{x_0 y_0}{\mu(k+1)(z^2 y_0 + x_0)} \right)^{i_1+i_2+2\mu}
\end{aligned} \tag{6.87}$$

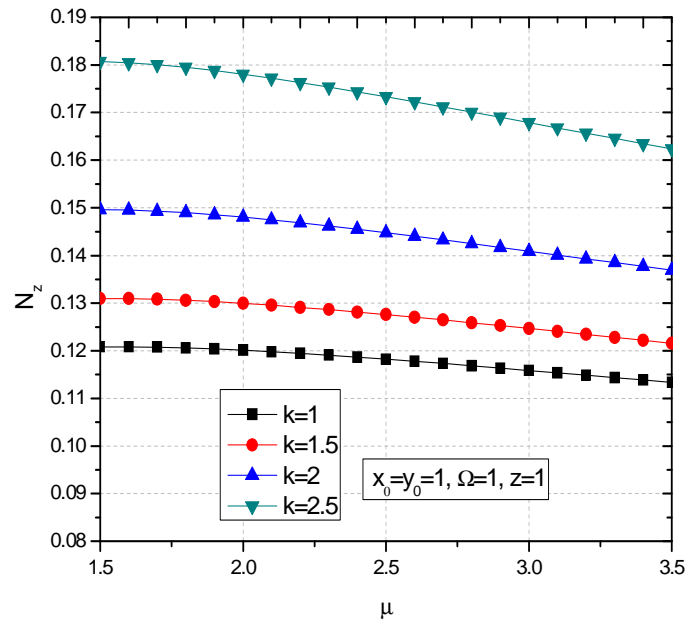
Koristeći se (6.87) mogu se grafički predstaviti srednji broj osnih preseka. Na Slici 6.6. prikazan je srednji broj osnih preseka signala za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rasjovog faktora  $k$  i broja klastera  $\mu$ . Srednji broj osnih preseka sporije raste a brže opada. Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora srednji broj osnih preseka brže raste i dostiže svoju ekstremnu vrednost. Sa povećanjem broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal takođe se ubrazava rast srednjeg broja osnih preseka, ali se tada smanjuju njihove ekstremne vrednosti.



Slika 6.6: Srednji broj osnih preseka za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.



Na Slici 6.7 prikazana je promena srednjeg broja osnih preseka za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ , a za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je  $z=1.5$ . Sa povećanjem broja klastera smanjuju se vrednosti srednjeg broja osnih preseka, s tim što je to smanjenje znatno izraženo pri višim vrednostima broja klastera i za više vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Za veće vrednosti Rajsovog  $k$  faktora dobijaju se veće vrednosti srednjeg broja osnih preseka.



Slika 6.7: Srednji broj osnih preseka za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .

Proizvod dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$z = xy \quad . \quad (6.88)$$

Prvi izvod proizvod  $z$  je

$$\dot{z} = \dot{x}y + x\dot{y} \quad . \quad (6.89)$$

Kvadrati  $x$  i  $y$   $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je dat sa (6.66) i (6.67), a prvi izvod  $x$  i  $y$   $k$ - $\mu$  slučajne promenljive sa (6.68) i (6.69), respektivno.

Varijansa od  $\dot{z}$  je

$$\sigma_z^2 = \frac{y^2}{x^2} \left( x_1^2 \sigma_{x_1}^2 + x_2^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \sigma_{x_{2\mu}}^2 \right) + \frac{x^2}{y^2} \left( y_1^2 \sigma_{y_1}^2 + y_2^2 \sigma_{y_2}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \sigma_{y_{2\mu}}^2 \right), \quad (6.90)$$

gde važi (6.75) i (6.76).

Zamenom (6.75) i (6.76) u (6.90) dobija se

$$\begin{aligned}\sigma_z^2 &= \frac{y^2}{x^2} f_m^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2\mu}^2) + \frac{x^2}{y^2} f_m^2 (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{2\mu}^2) = \\ &= f_m^2 (y^2 + x^2) = f_m^2 \left( y^2 + \frac{z^2}{y^2} \right) \quad . \quad (6.91)\end{aligned}$$

Srednja vrednost od  $\dot{z}$  je

$$\dot{z} = \bar{x}\bar{y} + x\bar{y} = 0 \quad , \quad (6.92)$$

pošto važi (6.72) i (6.73)

Združena gustina verovatnoće od  $z$ ,  $\dot{z}$  i  $y$  je

$$p_{z\dot{z}y}(z\dot{z}y) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_{zy}(zy) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_y(y) p_z(z/y) \quad . \quad (6.93)$$

Uslovna gustina od  $z$  je

$$p_z(z/y) = \left| \frac{dx}{dz} \right| p_x(z/y) \quad , \quad (6.94)$$

gde je

$$\frac{dx}{dz} = \frac{1}{y} \quad . \quad (6.95)$$

Zamenom (6.95) u (6.94) dobija se

$$p_z(z/y) = \frac{1}{y} \cdot p_x(z/y) \quad . \quad (6.96)$$

Združena gustina verovatnoće od  $z$ ,  $\dot{z}$  i  $y$  posle zamene (6.96) u (6.93) postaje

$$p_{z\dot{z}y}(z\dot{z}y) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_y(y) \frac{1}{y} \cdot p_x(z/y) \quad , \quad (6.97)$$

odnosno združena gustina verovatnoće od  $z$  i  $\dot{z}$  je

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \int_0^\infty dy \cdot \frac{1}{y} \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_x(z/y) p_y(y) \quad . \quad (6.98)$$

Srednji broj osnih preseka je jednak

$$\begin{aligned}N_z &= \int_0^\infty d\dot{z} \cdot \dot{z} \int_0^\infty dy \cdot \frac{1}{y} \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) p_x(z/y) p_y(y) = \\ &= \int_0^\infty dy \cdot \frac{1}{y} \cdot p_x(z/y) p_y(y) \int_0^\infty d\dot{z} \cdot \dot{z} \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) = \quad . \quad (6.99) \\ &= \int_0^\infty dy \cdot y \cdot p_x(z/y) p_y(y) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_z\end{aligned}$$

Zamenom (6.100), (6.92) i (6.93) u (6.99) dobija se srednji broj osnih preseka

$$N_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{z^{2i_1+2\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times$$

$$\times \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} y_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \int_0^{\infty} dy \cdot y^{-2i_2+2i_2-1} e^{-\frac{\mu(k+1)z^2}{y^2\Omega} - \frac{\mu(k+1)y^2}{\Omega}} \quad (6.100)$$

Uvode se smene

$$y^2 = t, \quad (6.101)$$

$$y = t^{\frac{1}{2}}, \quad (6.102)$$

$$dy = \frac{1}{2} t^{-\frac{1}{2}} dt. \quad (6.103)$$

Zamenom (6.101), (6.102) i (6.103) u (6.100) dobija se

$$N_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{z^{2i_1+2\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times$$

$$\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} dt \cdot t^{-i_2+i_2-1} e^{-\frac{\mu(k+1)z^2}{t\Omega} - \frac{\mu(k+1)t}{\Omega}} =$$

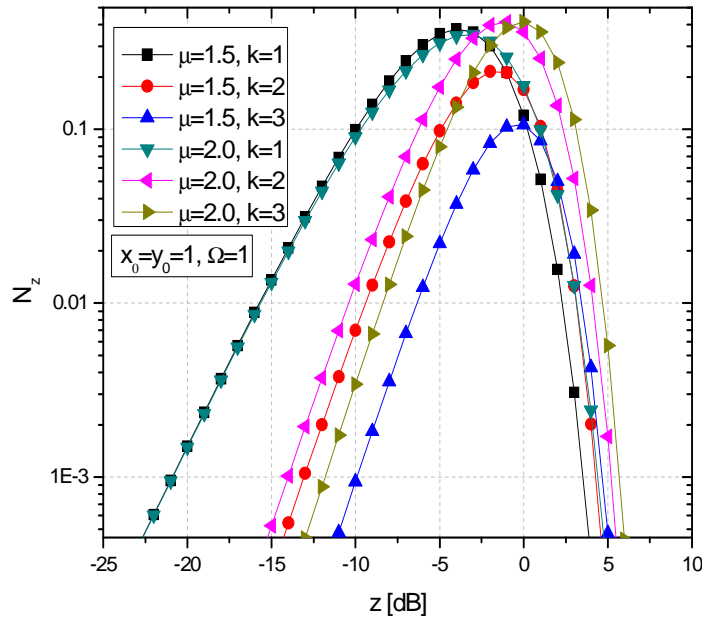
$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} x_0^{\frac{\mu+1}{2}}} \right)^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{x_0}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{z^{2i_1+2\mu-1}}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \times$$

$$\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{y_0}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} z^{-i_2+i_2-1} K_{-i_2+i_2} \left( 2 \frac{\mu(k+1)z}{\Omega} \right) \quad (6.104)$$

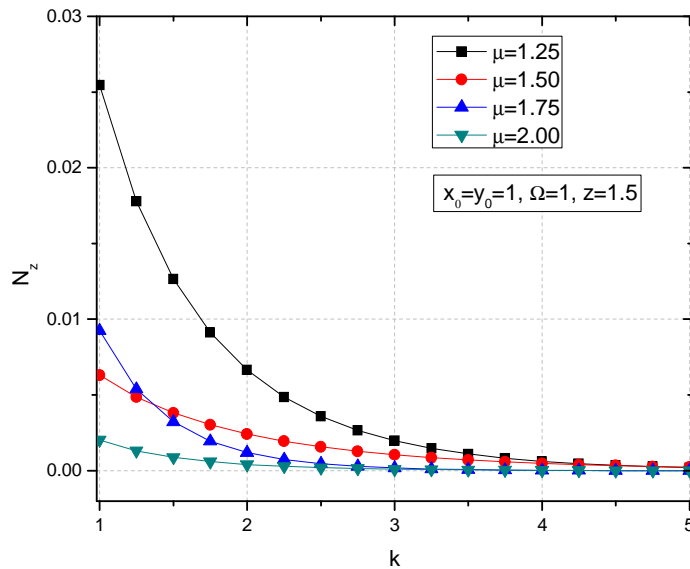
Na osnovu izraza (6.104) grafički su dobijene promene srednjeg broja osnih preseka. Na Slici 6.8 prikazana je promena srednjeg broja osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i Rajsovog  $k$  faktora. Sa povećanjem Rajsovog  $k$  faktora dolazi do bržeg rasta srednjeg broja osnih preseka ali i do smanjenja njihovog maksimuma. Sa povećanjem broja klastera dolazi do bržeg rasta srednjeg broja osnih preseka ali im maksimumi ostaju približno isti.

Na Slici 6.9 dat je grafički prikaz srednjeg broja osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ . Proizvod dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive je  $z=1.5$ . Srednji broj osnih preseka opada sa porastom Rajsovog  $k$  faktora i to izrazito pri njegovim nižim vrednostima, dok za više

vrednosti su srednji broj osnih preseka konstantan i približno jednak bez obzira na broj klastera. Srednji broj osnih preseka brže opada za niže vrednosti broja klastera.



Slika 6.8: Srednji broj osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.



Slika 6.9: Srednji broj osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

---

## 7. SREDNJI BROJ OSNIH PRESEKA MAKRODIVERZITI SISTEMA SA TRI SC KOMBINERA U PRISUSTVU $\alpha$ - $\mu$ BRZOG FEDINGA I SPOROG GAMA FEDINGA

U ovom poglavlju razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Sistem koji se razmatra prikazan je na Slici 3.10. Na ulazima je prisutan  $\alpha$ - $\mu$  feding.

Mikrodiverziti SC prijemnici imaju po dva ulaza. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti SC kombiner su označeni sa  $x_1$  i  $x_2$ , a signal na izlazu  $x$ . Signali na ulazima u drugi mikrodiverziti SC kombiner su  $y_1$  i  $y_2$ , a signal na izlazu  $y$ . Signali na ulazima u treći mikrodiverziti SC kombiner su  $z_1$  i  $z_2$ , a signal na izlazu je  $z$ . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC kombiner je označen sa  $w$ .

Gustina verovatnoće od  $x_i$ ,  $y_i$  i  $z_i$  su [93,97]:

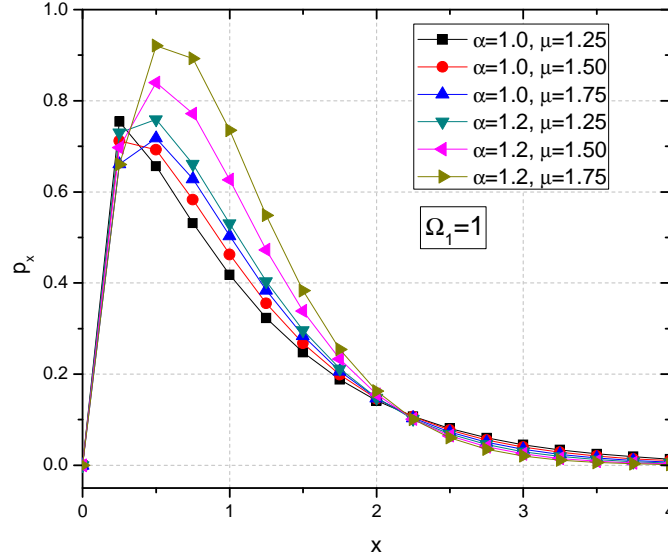
$$p_{x_i}(x_i) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega_1} \right)^{\alpha\mu} x_i^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} x_i^\alpha}, \quad x_i \geq 0, \quad i=1,2, \quad (7.1)$$

$$p_{y_i}(y_i) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega_2} \right)^{\alpha\mu} y_i^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2} y_i^\alpha}, \quad y_i \geq 0, \quad i=1,2, \quad (7.2)$$

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega_3} \right)^{\alpha\mu} z_i^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} z_i^\alpha}, \quad z_i \geq 0, \quad i=1,2. \quad (7.3)$$

gde je  $\alpha$  koeficijent nelinearnosti sredine,  $\mu$  broj klastera kroz koji se prostire signal,  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$  srednje snage signala na ulazima u prvi, drugi i treći mikrodiverziti SC kombiner, respektivno.

Na Slici 7.1 je prikazana raspodela gustine verovatnoće signala na ulazu u mikrodiverziti SC kombiner opsianog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom, za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$  i broja klastera  $\mu$ . Sa porastom koeficijenta nelinearnosti i broja klastera povećava se vrh gustine verovatnoće i njeno opadanje postaje sporije.



Slika 7.1: Gustina verovatnoće signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom.

Kumulativne verovatnoće od  $x_i$ ,  $y_i$  i  $z_i$  su [93]:

$$F_{x_i}(x_i) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1} x_i^\alpha\right), \quad x_i > 0, \quad i = 1, 2, \quad (7.4)$$

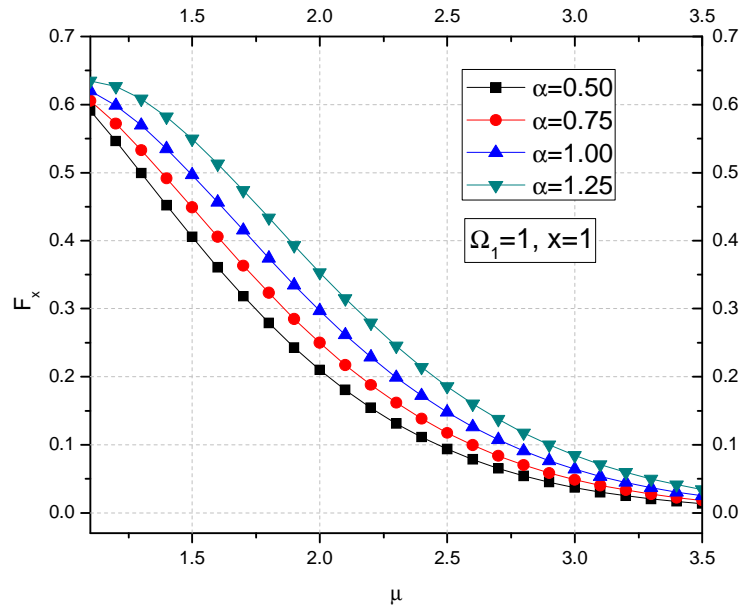
$$F_{y_i}(y_i) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} y_i^\alpha\right), \quad y_i > 0, \quad i = 1, 2, \quad (7.5)$$

$$F_{z_i}(z_i) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_3} z_i^\alpha\right), \quad z_i > 0, \quad i = 1, 2. \quad (7.6)$$

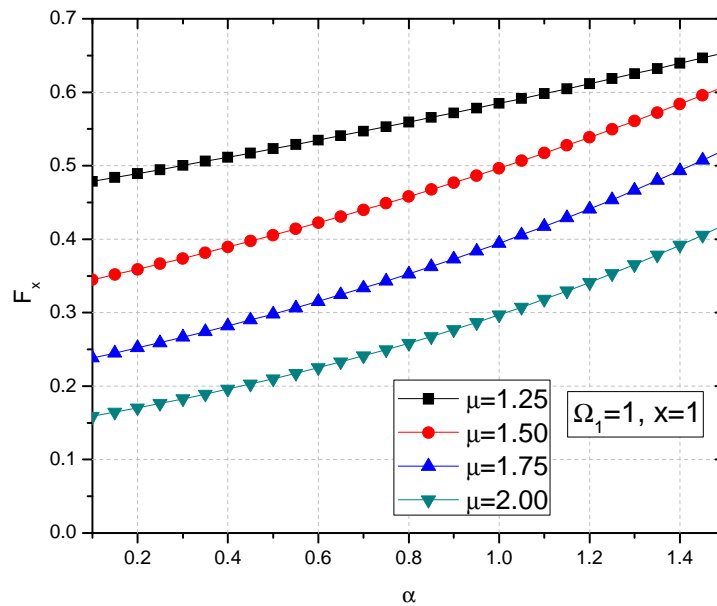
Na osnovu izraza za kumulativne verovatnoće definisani sa (7.4), (7.5) i (7.6) grafički je predstavljena njena promena. Na Slici 7.2 data je promena kumulativne verovatnoće signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom na ulazu u mikrodiverziti SC kombiner u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ . Kumulativna verovatnoća opada sa rastom broja klastera kroz koji se prostire signal. Opadanje je više izraženo za niže vrednosti broja klastera, dok za više vrednosti kumulativna verovatnoća teži nuli bez obzira na koeficijent nelinearnosti. Za više vrednosti koeficijenta nelinearnosti dobijaju se više vrednosti kumulativne verovatnoće signala.

Na Slici 7.3 prikazana je kumulativna verovatnoća signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom na ulazu u mikrodiverziti SC kombiner u zavisnosti od koeficijenta nelinearnosti sredine  $\alpha$ , a

za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ . Sa povećanjem parametra  $\alpha$  raste i kumulativna verovatnoća signala.



Slika 7.2: Kumulativna verovatnoća signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom u zavisnosti od broja klastera  $\mu$ .



Slika 7.3: Kumulativna verovatnoća signala opisanog  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom u zavisnosti od parametra nelinearnosti  $\alpha$ .

Srednji broj osnih preseka od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive se može odrediti na sledeći način:  $\alpha$ - $\mu$  slučajna promenljiva  $r_1$  je jednaka

$$r_1 = r^\alpha, \quad (7.7)$$

odnosno

$$r = r_1^{\frac{\alpha}{2}}, \quad (7.8)$$

gde je  $r$  Nakagami- $m$  slučajna promenljiva, a  $\alpha$  je parameter nelinearnosti. Kvadrat Nakagami- $m$  slučajne promenljive je jednak zbiru kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa srednjim vrednostima nula i sa varijansama  $\sigma^2$ :

$$r^2 = r_{11}^2 + r_{12}^2 + \dots + r_{12\mu}^2, \quad (7.9)$$

gde su  $r_{2i}$ ,  $i=1, 2, \dots, 2\mu$  Gausove slučajne promenljive.

$$p_{r_{i_i}}(r_{i_i}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{r_{i_i}^2}{2\sigma^2}}. \quad (7.10)$$

Prvi izvod od Nakagami- $m$  slučajne promenljive  $r_1$  je jednaka

$$\dot{r} = \frac{1}{r} (r_{11}\dot{r}_{11} + r_{12}\dot{r}_{12} + \dots + r_{12\mu}\dot{r}_{12\mu}). \quad (7.11)$$

Prvi izvod od Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva. Na osnovu ovoga su  $\dot{r}_{11}, \dot{r}_{12}, \dots, \dot{r}_{12\mu}$  Gausove slučajne promenljive. Linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva [105-107]. Na osnovu ovoga, prvi izvod od Nakagami- $m$  slučajne promenljive ima Gausovu gustinu verovatnoće. Srednja vrednost od prvog izvoda Nakagami- $m$  slučajne promenljive je

$$\dot{r} = \frac{1}{r} (r_{11}\overline{\dot{r}_{11}} + r_{12}\overline{\dot{r}_{12}} + \dots + r_{12\mu}\overline{\dot{r}_{12\mu}}) = 0, \quad (7.12)$$

pošto je

$$\overline{\dot{r}_{11}} = \overline{\dot{r}_{12}} = \dots = \overline{\dot{r}_{12\mu}} = 0. \quad (7.13)$$

Varijansa od prvog izvoda od Nakagami- $m$  slučajne promenljive je

$$\sigma_{\dot{r}}^2 = \overline{\dot{r}^2} - \overline{\dot{r}}^2 = \overline{\dot{r}^2} = \frac{1}{r^2} (r_{11}^2\sigma_{\dot{r}_{11}}^2 + r_{12}^2\sigma_{\dot{r}_{12}}^2 + \dots + r_{12\mu}^2\sigma_{\dot{r}_{12\mu}}^2), \quad (7.14)$$

pošto je

$$\sigma_{\dot{r}_{i_i}}^2 = \overline{\dot{r}_{i_i}^2} - \overline{\dot{r}_{i_i}}^2 = \overline{\dot{r}_{i_i}^2}. \quad (7.15)$$

Varijanse prvih izvoda od Gausovih slučajnih promenljivih su



$$\sigma_{\dot{r}_{11}}^2 = \sigma_{\dot{r}_{12}}^2 = \dots = \sigma_{\dot{r}_{12\mu}}^2 = 2\pi^2 f_m^2 \frac{\Omega}{\mu} \quad , \quad (7.16)$$

gde je  $\Omega$  snaga Nakagami- $m$  slučajne promenljive  $r$ , a  $\mu$  je oštrina Nakagami- $m$  fedinga  $r$ . Učestanost  $f_m$  je maksimalna Doplerova frekvencija.

Zamenom (7.16) u (7.14) dobija se

$$\sigma_{\dot{r}}^2 = \frac{1}{r^2} \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega}{\mu} (r_{11}^2 + r_{12}^2 + \dots + r_{12\mu}^2) = \frac{\pi^2 f_m^2 \Omega}{r^2 \mu} r^2 = \frac{\pi^2 f_m^2 \Omega}{\mu} \quad . \quad (7.17)$$

Gustna verovatnoće od prvog izvoda Nakagami- $m$  slučajne promenljive je

$$p_{\dot{r}}(\dot{r}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{r}}^2}} e^{-\frac{\dot{r}^2}{2\sigma_{\dot{r}}^2}} \quad . \quad (7.18)$$

Nakagami- $m$  slučajna promenljiva  $r$  i prvi izvod od Nakagami- $m$  slučajne promenljive  $\dot{r}$  su nezavisne slučajne promenljive [15]. Zbog ovoga je združena gustina verovatnoće od Nakagami- $m$  slučajne promenljive  $r$  i njenog prvog izvoda  $\dot{r}$  jednaka proizvodu Nakagami- $m$  gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće:

$$p_{r\dot{r}}(r\dot{r}) = p_r(r) p_{\dot{r}}(\dot{r}) \quad , \quad (7.19)$$

gde je

$$p_r(r) = \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^\mu r^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega}r^2} \quad . \quad (7.20)$$

Zamenom (7.20) u (7.19) dobija se

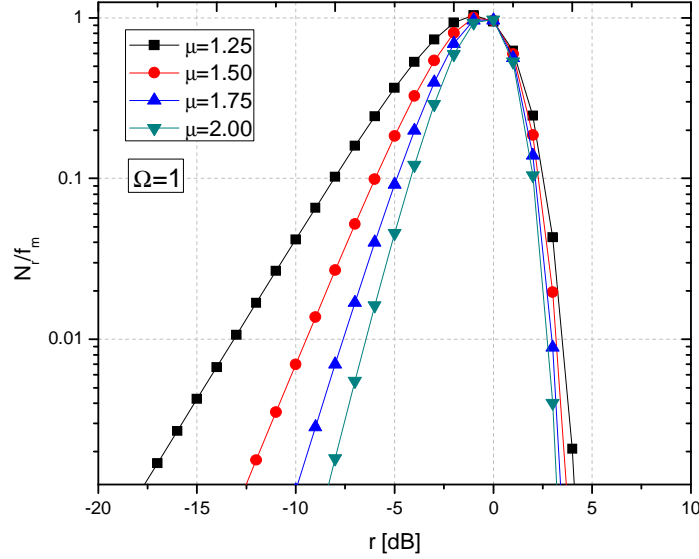
$$p_{r\dot{r}}(r\dot{r}) = \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^\mu r^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega}r^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{r}}^2}} e^{-\frac{\dot{r}^2}{2\sigma_{\dot{r}}^2}} \quad . \quad (7.21)$$

Srednji broj osnih preseka od Nakagami- $m$  slučajne promenljive može biti izračunat kao srednja vrednost od prvog izvoda od Nakagami- $m$  slučajne promenljive

$$\begin{aligned} N_r &= \int_0^\infty d\dot{r} p_{r\dot{r}}(r\dot{r}) = \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^\mu r^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega}r^2} \int_0^\infty d\dot{r} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{r}}^2}} e^{-\frac{\dot{r}^2}{2\sigma_{\dot{r}}^2}} = \\ &= \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^\mu r^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega}r^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \left(\frac{\Omega}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \frac{f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} r^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega}r^2} \end{aligned} \quad . \quad (7.22)$$

Na Slici 7.4 je upotrebom (7.22) dat grafički prikaz promene normalizovanog srednjeg broja osnih preseka Nakagami- $m$  slučajne promenljive za različiti broj klastera  $\mu$ .

Rast srednjeg broja osnih preseka je blaži dok je opadanje veoma brzo. Sa porastom broja klastera  $\mu$  srednji broj osnih preseka brže dostiže svoj maksimum.



Slika 7.4: Srednji broj osnih preseka Nakagami- $m$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ .

Prvi izvod od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive  $r_1$  je

$$\dot{r}_1 = \frac{2}{\alpha} r_1^{\alpha-1} \dot{r} \quad (7.23)$$

ili

$$\dot{r}_1 = \frac{2}{\alpha r_1^{\alpha-1}} \dot{r} = \frac{2}{\alpha r_1^{\alpha-1}} (r_{11} \dot{r}_{11} + r_{12} \dot{r}_{12} + \dots + r_{12\mu} \dot{r}_{12\mu}) \quad (7.24)$$

Srednja vrednost od  $\dot{r}_1$  je

$$\bar{\dot{r}}_1 = \frac{2}{\alpha r_1^{\alpha-1}} (r_{11} \dot{r}_{11} + r_{12} \dot{r}_{12} + \dots + r_{12\mu} \dot{r}_{12\mu}) = 0 \quad (7.25)$$

Varijansa od prvog izvoda od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$\sigma_{\dot{r}_1}^2 = \frac{4}{\alpha^2 r_1^{2\alpha-2}} (r_{11}^2 \sigma_{\dot{r}_{11}}^2 + r_{12}^2 \sigma_{\dot{r}_{12}}^2 + \dots + r_{12\mu}^2 \sigma_{\dot{r}_{12\mu}}^2) = \frac{4\pi^2 f_m^2}{\alpha^2 r_1^{2\alpha-2}} \frac{\Omega}{\mu} r_1^\alpha = \frac{4\pi^2 f_m^2}{\alpha^2 r_1^{\alpha-2}} \frac{\Omega}{\mu} \quad (7.26)$$

Združena gustina verovatnoće od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive i njenog prvog izvoda je

$$p_{r_1 \dot{r}_1}(r_1 \dot{r}_1) = p_{\dot{r}_1}(\dot{r}_1 / r_1) p_{r_1}(r_1) \quad (7.27)$$

gde je gustina verovatnoće od  $r_1$  jednaka

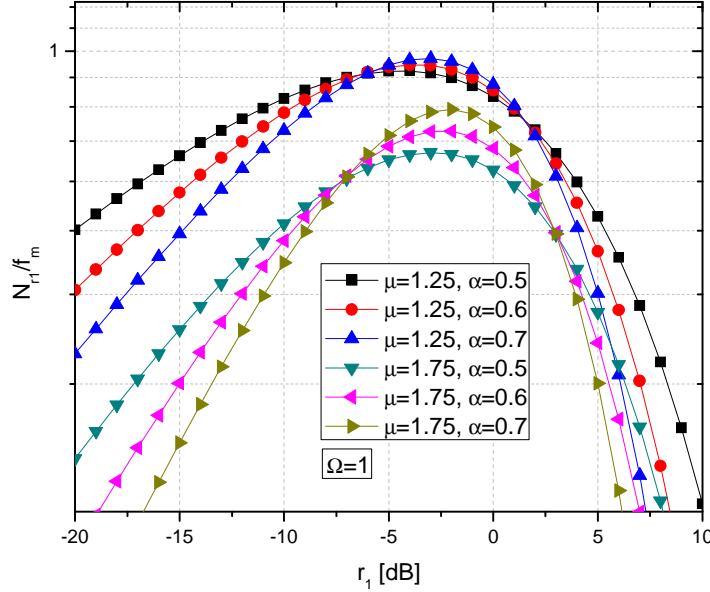
$$p_{r_1}(r_1) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^{\alpha\mu} r_1^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \quad (7.28)$$

Zamenom se dobija

$$p_{r_1 \dot{r}_1}(r_1 \dot{r}_1) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\alpha\mu} r_1^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{r}_1}}} e^{-\frac{\dot{r}_1^2}{2\sigma_{\dot{r}_1}^2}} \quad (7.29)$$

Srednji broj osnih preseka od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive je

$$\begin{aligned} N_{r_1} &= \int_0^\infty d\dot{r}_1 \dot{r}_1 p_{r_1 \dot{r}_1}(r_1 \dot{r}_1) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\alpha\mu} r_1^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \int_0^\infty d\dot{r}_1 \dot{r}_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{r}_1}}} e^{-\frac{\dot{r}_1^2}{2\sigma_{\dot{r}_1}^2}} = \\ &= \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\alpha\mu} r_1^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{r}_1} = \\ &= \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\alpha\mu} r_1^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\pi f_m}{\alpha^2 r_1^{\alpha-2}} \left(\frac{\Omega}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \frac{\sqrt{2\pi} f_m}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega}\right)^{\alpha\mu - \frac{1}{2}} r_1^{\alpha\mu - \frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \end{aligned} \quad (7.30)$$



Slika 7.5: Srednji broj osnih preseka  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .

Na Slici 7.5 je data promena normalizovanog srednjeg broja osnih preseka za  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ . Sa

povećanjem parametra nelinearnosti brže raste srednji broj osnih preseka. Isto se dežava i sa povećanjem broj klastera. Za više vrednosti broja klastera srednji broj osnih preseka ima mnji minimum.

Združena gustina verovatnoće  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive i njenog prvog izvoda može da se odredi i na sledeći način.  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive su date sa (7.7) i (7.8), a njen prvi izvod je jednak (7.23), odnosno

$$\dot{r} = \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{r}_1 \quad . \quad (7.31)$$

Združena gustina verovatnoće od  $\alpha$ - $\mu$  slučajne promenljive i njenog prvog izvoda je

$$p_{r_1 \dot{r}_1} (r_1 \dot{r}_1) = |J| p_{rr} (r \dot{r}) \quad , \quad (7.32)$$

gde je

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r}{\partial r_1} & \frac{\partial r}{\partial \dot{r}_1} \\ \frac{\partial \dot{r}}{\partial r_1} & \frac{\partial \dot{r}}{\partial \dot{r}_1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-1} \quad . \quad (7.33)$$

Zamenom (7.33) u (7.32) dobija se

$$\begin{aligned} p_{r_1 \dot{r}_1} (r_1 \dot{r}_1) &= \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-1} p_{rr} \left( r_1^{\frac{\alpha}{2}} \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{r}_1 \right) = \\ &= \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-1} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega} \right)^\mu r_1^{\alpha(2\mu-1)} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r}} e^{-\frac{1}{2\sigma_r^2} \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-2} \dot{r}_1^2} = \quad . \quad (7.34) \\ &= \frac{\alpha^2}{2\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega} \right)^\mu r_1^{\alpha\mu + \frac{\alpha}{2} - 2} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\pi f_m} \sqrt{\frac{\mu}{\Omega}} e^{-\frac{\alpha^2 \mu}{8 \Omega f_m^2 \pi^2} r_1^{\alpha-2} \dot{r}_1^2} \end{aligned}$$

Srednji broj osnih preseka se određuje po formuli

$$N_{r_1} = \int_0^\infty d\dot{r}_1 \dot{r}_1 p_{r_1 \dot{r}_1} (r_1 \dot{r}_1) \quad (7.35)$$

Zamenom (7.34) u (7.35) dobija se srednji broj osnih preseka

$$\begin{aligned} N_{r_1} &= \frac{\alpha^2}{2\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega} \right)^\mu r_1^{\alpha\mu + \frac{\alpha}{2} - 2} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\pi f_m} \sqrt{\frac{\mu}{\Omega}} \int_0^\infty d\dot{r}_1 \dot{r}_1 e^{-\frac{\alpha^2 \mu}{8 \Omega f_m^2 \pi^2} r_1^{\alpha-2} \dot{r}_1^2} = \\ &= \frac{\alpha^2}{2\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega} \right)^\mu r_1^{\alpha\mu + \frac{\alpha}{2} - 2} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\pi f_m} \sqrt{\frac{\mu}{\Omega}} \frac{4\Omega f_m^2 \pi^2}{\alpha^2 \mu r_1^{\alpha-2}} = \quad . \quad (7.36) \\ &= \frac{f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)} \left( \frac{\mu}{\Omega} \right)^{\mu - \frac{1}{2}} r_1^{\alpha\mu - \frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega} r_1^\alpha} \end{aligned}$$

Ovaj izraz je isti kao i prethodno dobijeni za srednji broj osnih preseka  $\alpha$ - $\mu$  slučajnog procesa.

Združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti sistema i njenog prvog izvoda je

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x) . \quad (7.37)$$

Pošto je na ulazima u selektivni kombiner  $\alpha$ - $\mu$  feding nezavisan, sada se prethodni izraz može napisati u obliku

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = 2p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x) . \quad (7.38)$$

Srednji broj osnih preseka od signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika je

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^{\infty} d\dot{x} x p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \int_0^{\infty} d\dot{x} x 2p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x) = \\ &= 2F_{x_2}(x) \int_0^{\infty} d\dot{x} x p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) = 2F_{x_2}(x)N_{x_1} \end{aligned} \quad (7.39)$$

Nakon zamene (7.4) i (7.36) u (7.39) dobija se srednji broj osnih preseka od signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika

$$\begin{aligned} N_x &= 2 \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1} x^\alpha\right) \frac{f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_1}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} x^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} x^\alpha} = \\ &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \left(\frac{\mu}{\Omega_1}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} x^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} x^\alpha} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1} x^\alpha\right) \end{aligned} \quad (7.40)$$

gde je  $\gamma(n,x)$  donja nepotpuna Gama funkcija definisana sa

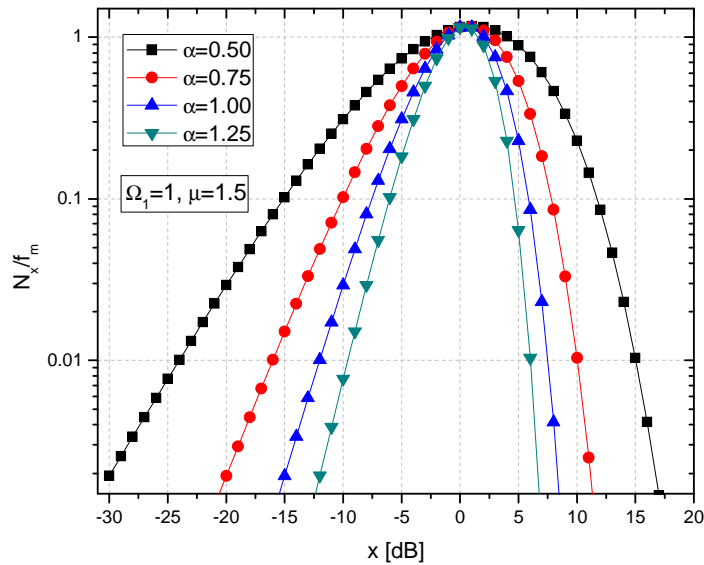
$$\gamma(n,x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} {}_1F_1(1, n+1, x) = \frac{1}{n} x^n e^{-x} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{n!}{(n+i)!} x^i . \quad (7.41)$$

Na sličan način se dobija izraz za srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika:

$$N_y = \int_0^{\infty} d\dot{y} y p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} y^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2} y^\alpha} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} y^\alpha\right) . \quad (7.42)$$

Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz trećeg mikrodiverziti SC prijemnika je:

$$N_z = \int_0^{\infty} d\dot{z} z p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} z^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} z^\alpha} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_3} z^\alpha\right) . \quad (7.43)$$



Slika 7.6: Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti SC kombinera za različite vrednosti parametra nelinearnosti  $\alpha$ .

Na Slici 7.6 prikazna je promena normalizovanog srednjeg broja osnih preseka na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC kombinera za različite vrednosti parametra nelinearnosti  $\alpha$ . Kako raste parameter nelinearnosti, srednji broj osnih preseka pre dostiže svoj maksimum. Takođe, sa povećanjem parametra nelinearnosti brže opada srednji broj osnih preseka.

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je srednjoj vrednosti osnih preseka signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti prijemnik veća od ukupne snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti SC prijemnika i na ulazima u treći mikrodiverziti SC prijemnik. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je srednjem broju osnih preseka na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika ako je ukupna snaga signala na ulazima u drugi mikrodiverziti SC prijemnik veća od ukupne snage signala na ulazima u prvi mikrodiverziti SC prijemnik i na ulazima u treći mikrodiverziti SC prijemnik. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka je srednjem broju osnih preseka na izlazu iz trećeg mikrodiverziti SC prijemnika ako je ukupna snaga signala na ulazima u treći mikrodiverziti SC prijemnik veća od ukupne snage signala na ulazima u prvi mikrodiverziti SC prijemnik i ukupne snage na

ulazima u drugi mikrodiverziti SC prijemnik [89,108]. Na osnovu ovoga je srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednaka:

$$\begin{aligned}
N_w &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 N_{x/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 N_{x/\Omega_3} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= I_1 + I_2 + I_3
\end{aligned} \tag{7.44}$$

gde je združena gustina verovatnoće od  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$  je data sa (3.46)

Integral  $I_1$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 \frac{2f_m\sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \left(\frac{\mu}{\Omega_1}\right)^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1}w^\alpha} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1}w^\alpha\right) \times \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \times \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \Omega_1^{i_1+c-1} \Omega_2^{i_1+i_2+c-1} \Omega_3^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_3+\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{7.45}$$

odnosno

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2f_m\sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)}\right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2!\Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{i_1+c-1} \Omega_1^{-\mu+\frac{1}{2}} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1}w^\alpha\right) e^{-\frac{\mu}{\Omega_1}w^\alpha} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \Omega_2^{i_1+i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 \Omega_3^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{7.46}$$

Nakon primene [79,109] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (7.46),  $I_1$  postaje

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{i_1+c-1} \Omega_1^{-\mu+\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} w^\alpha - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_1+i_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c} \times \\
&\times \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_1} w^\alpha\right) \times \gamma\left(i_1+i_2+c, \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1\right) \times \gamma\left(i_2+c, \frac{1}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1\right)
\end{aligned} \tag{7.47}$$

gde  $\gamma(n,x)$  predstavlja donju nepotpunu Gama funkciju definisana sa (7.41). Nakon razvoja Gama funkcije dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \left( \frac{\Omega_0(1-\rho)}{1+\rho} \right)^{i_1+i_2+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{i_1+c-\mu-\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} w^\alpha - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \times \\
&\times \frac{1}{\mu} \frac{\mu^\mu}{\Omega_1^\mu} w^{\mu\alpha} e^{-\frac{\mu}{\Omega_1} w^\alpha} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{\mu!}{(\mu+j_1)!} \frac{\mu^{j_1}}{\Omega_1^{j_1}} w^{\alpha j_1} \times \\
&\times \frac{1}{i_1+i_2+c} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1 \right)^{i_1+i_2+c} e^{-\frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+i_2+c)!}{(i_1+i_2+c+j_2)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_2} \Omega_1^{j_2} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \left( \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{i_2+c} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_3)!} \frac{\Omega_1^{j_3}}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}}
\end{aligned} \tag{7.48}$$

odnosno

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \frac{1}{\mu} \mu^\mu w^{\mu\alpha} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{\mu!}{(\mu+j_1)!} \mu^{j_1} w^{\alpha j_1} \frac{1}{i_1+i_2+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+i_2+c)!}{(i_1+i_2+c+j_2)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_2} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \int_0^{\infty} d\Omega_1 \Omega_1^{2i_1+3c-2\mu+2i_2-j_1+j_2+j_3-\frac{1}{2}} e^{-\frac{2\mu w^\alpha}{\Omega_1} - \frac{(2+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \Omega_1}
\end{aligned} \tag{7.49}$$



Primenom [79,109] dobija se

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\quad \times \mu^{\mu-1} w^{\mu\alpha} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{\mu!}{(\mu+j_1)!} \mu^{j_1} w^{\alpha j_1} \times \\
&\times \frac{1}{i_1+i_2+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+i_2+c)!}{(i_1+i_2+c+j_2)!} \left( \frac{(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{j_2} \frac{1}{i_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \\
&\times \left( \frac{2\mu w^\alpha \Omega_0(1-\rho)}{(2+\rho)} \right)^{i_1+\frac{3}{2}c-\mu+i_2-\frac{j_1}{2}+\frac{j_2}{2}+\frac{j_3}{2}+\frac{1}{2}} K_{2i_1+3c-2\mu+2i_2-j_1+j_2+j_3+1} \left( 2\sqrt{\frac{2\mu w^\alpha(2+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{7.50}$$

gde je  $K_n(x)$  modifikovana Beselovafunkcija druge vrste,  $n$ -tog reda i argumenta  $x$ .

Integral  $I_2$  je jednak

$$\begin{aligned}
I_2 &= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 N_{x/\Omega_2} P_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \left( \frac{\mu}{\Omega_2} \right)^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\mu w^\alpha}{\Omega_2}} \gamma\left(\mu, \frac{\mu w^\alpha}{\Omega_2}\right) \times \\
&\quad \times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \times \\
&\quad \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \Omega_1^{i_1+c-1} \Omega_2^{i_1+i_2+c-1} \Omega_3^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2(1+\rho)+\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{7.51}$$

odnosno

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\quad \times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{i_1+i_2+c-\mu-\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu w^\alpha}{\Omega_2}} e^{-\frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} w^\alpha\right) \times \\
&\quad \times \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \Omega_1^{i_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho)}} \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 \Omega_3^{i_2+c-1} e^{-\frac{\Omega_3}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{7.52}$$

Nakon primene [79,109] za rešavanje drugog i trećeg integrala u (7.52),  $I_2$  postaje

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{i_1+i_2+c-\mu-\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu w^\alpha}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(1+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} (\Omega_0(1-\rho))^{i_1+c} (\Omega_0(1-\rho))^{i_2+c} \times \\
&\times \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} w^\alpha\right) \gamma\left(i_1, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \gamma\left(i_2+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{7.53}$$

Nakon razvoja Gama funkcija prema (7.41) dobija se

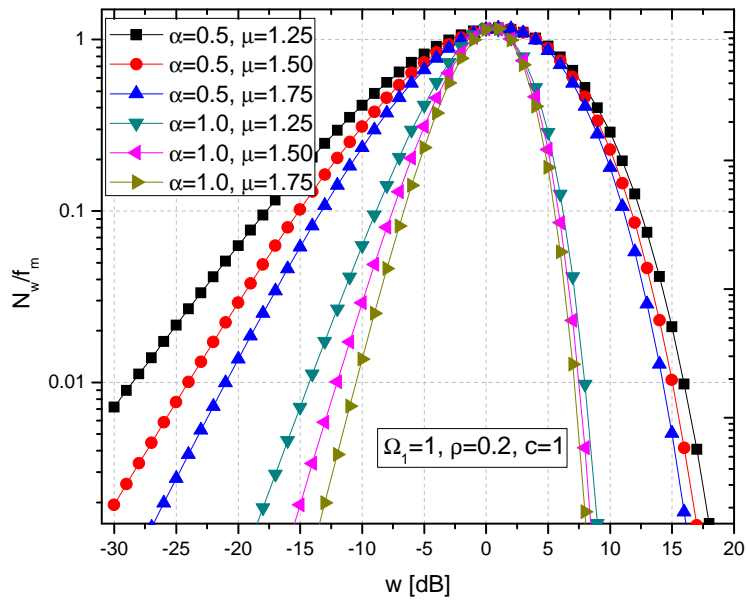
$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \frac{\mu^\mu w^{\mu\alpha}}{\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{\mu!}{(\mu+j_1)!} \mu^{j_1} w^{\alpha j_1} \times \frac{1}{i_1+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{2i_1+2i_2+3c-2\mu-j_1+j_2+j_3-\frac{1}{2}} e^{-\frac{2\mu w^\alpha}{\Omega_2} \frac{\Omega_2(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}}
\end{aligned} \tag{7.54}$$

Primenom [79,109] dobija se

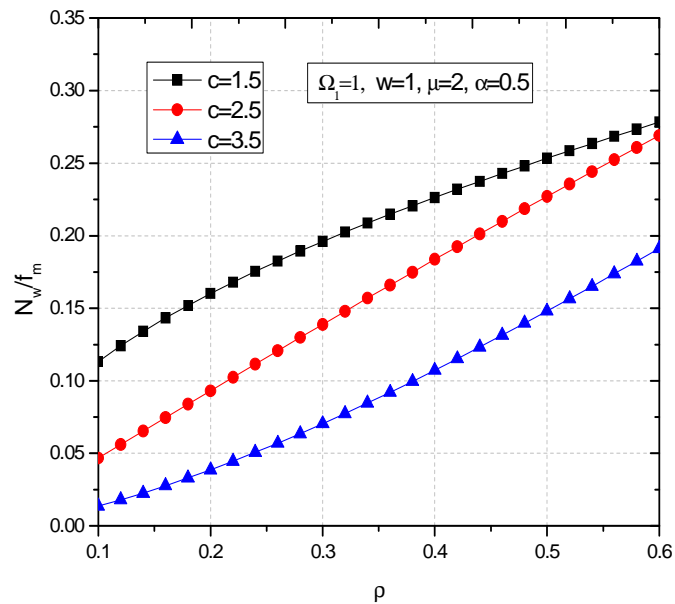
$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{2f_m \sqrt{2\pi}}{\Gamma(\mu)^2} \mu^{\mu-\frac{1}{2}} w^{\alpha\mu-\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+2}} \times \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\Omega_0(1-\rho)} \right)^{2i_2+c-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+c)} \times \\
&\times \frac{\mu^\mu w^{\mu\alpha}}{\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{\mu!}{(\mu+j_1)!} \mu^{j_1} w^{\alpha j_1} \times \frac{1}{i_1+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{(i_1+c)!}{(i_1+c+j_2)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_2}} \times \\
&\times \frac{1}{i_2+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{(i_2+c)!}{(i_2+c+j_3)!} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho))^{j_3}} \times \\
&\times \left( \frac{2\mu w^\alpha \Omega_0(1-\rho)}{3+\rho} \right)^{i_1+i_2+\frac{3}{2}c-\mu-\frac{j_1}{2}+\frac{j_2}{2}+\frac{j_3}{2}+\frac{1}{4}} K_{2i_1+2i_2+3c-2\mu-j_1+j_2+j_3+\frac{1}{2}} \left( 2\sqrt{\frac{2\mu w^\alpha(3+\rho)}{\Omega_0(1-\rho)}} \right)
\end{aligned} \tag{7.55}$$

Integral  $I_3$  je jednak integralu  $I_1$ .

Nakon zamene rešenih integrala u (7.44) mogu se grafički predstaviti srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema.



Slika 7.7: Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ .



Slika 7.8: Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz mikrodiverziti kombinera za različite vrednosti koeficijenta korelacije  $\rho$ .

---

Na Slici 7.7 je prikazan grafik promene normalizovanog srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od amplitude signala  $w$ , a za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$  i broja klastera  $\mu$ . Povećenje koeficijenta nelinearnosti i broja klastera kroz koji se prostire signal dovodi ubrzanog rasta srednjeg broja osnih preseka, kao i njihovog bržeg opadanja.

Na Slici 7.8 je dat grafik promene normalizovanog srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije  $\rho$ , a za različite vrednosti dubine osenčenosti kanala  $c$ . Parametar nelinearnosti je  $\alpha=0.5$ , broj klastera kroz koji se prostire signal  $\mu=2$ , a amplitude signala  $w=1$ . Sa povećanjem koeficijenta korelacije raste i srednji broj osnih preseka. Povećanje dubine osenčenosti kanala smanjuje vrednosti srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

---

## 8. ZAKLJUČAK

U doktorskoj disertaciji analitički su određene statističke karakteristike prvog i drugog reda mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu brzog  $k$ - $\mu$  fedinga i sporog Gama fedinga. Dobijeni rezultati su grafički predstavljeni kako bi se utvrdio uticaj osnovnih parametara sistema na kvalitet prenosa signala. Analizirane su sledeće statističke karakteristike: gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, srednji broj osnih preseka, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability). Razmatrano je nekoliko diverziti tehnika.

Analiziran je makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika na čijim ulazima je prisutan brzi  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Na osnovu analitičkih i grafičkih rezultata može se videti da sa porastom amplitude signala srednji broj osnih preseka raste, nakon čega se smanjuju. Rast srednjeg broja osnih preseka je blaži nego opadanje. Maksimum srednjeg broja osnih preseka se brže potiže za više vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ . Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora dolazi do povećanja vrednosti srednjeg broja osnih preseka. Na izalzu iz analiziranog makrodiverziti sistema srednji broj osnih preseka raste sa porastom dubine osenčenosti kanala. Pri nižim vrednostima dubine osenčenosti kanala srednji broj osnih preseka sporije raste. Rast je brži za niže vrednosti  $\mu$  i  $k$ . Sa porastom amplitude signala kumulativna verovatnoća teži 1. Kumulativna verovatnoća brže raste za više vrednosti Rajsovog  $k$  faktora. Takođe, sa porastom broja klastera  $\mu$  dolazi do bržeg porasta kumulativne verovatnoće. Na izalzu iz makrodiverziti sistema sa porastom vrednosti broja klastera, kumulativna verovatnoća opada i to znatno brže za niže vrednosti broja klastera nego za više. Opadanje kumulativne verovatnoće je takođe brže za niže vrednosti Rajsovog  $k$  faktora.

Takođe, razmatran je i makrodiverziti sistem sa makrodiverziti selektivnim prijemnikom SC i tri mikrodiverziti MRC prijemnika. Na ulazima u mikrodiverziti MRC

---

prijemnike prisutan je nezavisni  $k$ - $\mu$  fading i spori Gama fading. Na izlazu iz makrodiverziti sistema sa porastom Rajsovog  $k$  faktora dolazi do opadanja kumulativne verovatnoće signala. Kumulativna verovatnoća znatno brže opada za niže vrednosti broja klastera nego za više. Sa porastom koeficijenta korelacije smanjuje se vrednost kumulativne verovatnoće signala. Sa porastom parametra  $\mu$  rastu i vrednosti momenata. Rast momenata je naročito izražen pri višim vrednostima parametra  $\mu$ , dok je za niže vrednosti približno konstantan za sva tri reda. Momenti signala rastu sa porastom srednje snage signala. Momenti višeg reda rastu pri porastu srednje snage znatno brže nego moment nižeg reda. Prikazana je grafička promena srednja verovatnoća greške po bitu signala za koherentnu digitalnu faznu modulaciju (CPSK), koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (CFSK), difrencijalnu digitalnu faznu modulaciju (DPSK) i nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (NFSK). Srednja verovatnoća greške po bitu opada sa porastom amplitude signala  $x$ . Kod sva četiri modulaciona formata sa porastom broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal dolazi do bržeg opadanja srednje verovatnoće greške po bitu. Takođe, sa porastom Rajsovog  $k$  faktora i dubine osenčenosti kanala  $c$  dolazi do bržeg opadanja srednje verovatnoće greške po bitu. Najviše vrednosti srednja verovatnoće greške po bitu se dobijaju za NFSK modulaciju, a zatim za CFSK i DPSK. Najniže vrednosti se dobijaju za CPSK modulaciju. Za niže vrednosti amplitude signala DPSK modulacija daje više vrednosti u odnosu CFSK. Sa porastom amplitude srednje verovatnoće greške po bitu DPSK i CFSK modulacije su približno iste.

Određeni su i momenti makrodiverziti sistema sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti EGC prijemnikom kada je na ulazima prisutan nezavisni  $k$ - $\mu$  fading. Sa porastom koeficijenta korelacije dolazi do smanjenja momenata izlaznog signala. Smanjenje momenata izlaznog signala je blaže pri nižim vrednostima koeficijenta korelacije. Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora najviše raste treći moment, a zatim drugi moment koji pri nižim vrednostima parametra  $k$  raste da bi kasnije težio nekoj konstantnoj vrednosti. Prvi moment je uglavnom konstantan u zavisnosti od Rajsovog  $k$  faktora.

Razmatrane su statističke karakteristike mikrodiverziti SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interferencije. Na osnovu dobijenih analitičkih izraza grafički je prikazana promena kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz SC kombinera na čijem ulazu se nalazi korisni signal opisan  $\alpha$ - $\mu$  raspodelom i interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom. Kumulativna verovatnoća je data u zavisnosti od amplitude odnosa korisnog signala i signala interferencije, a za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti  $\alpha$ . Može se videti da sa

---

porastom koeficijenta nelinearnosti, kumulativna verovatnoća signala znatno brže raste u odnosu na manje vrednosti parametra  $\alpha$ . Prikazana je grafička promena kumulativna verovatnoće na izalzu iz SC kombinera kada je korisni signal na njegovom ulazu opisan  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  raspedlom, interferencija  $k$ - $\mu$  raspedlom. Kumulativna verovatnoća brže raste, tj. teži ka 1 kada koeficijent nelinearnosti i broj klastera rastu. Grafički je predstavljen srednji broj osnih preseka signala za količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog faktora  $k$  i broja klastera  $\mu$ . Sa porastom Rajsovog  $k$  faktora srednji broj osnih preseka brže raste i dostiže svoju ekstremnu vrednost. Sa povećanjem broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal takođe se ubrzava rast srednjeg broja osnih preseka, ali se tada smanjuju njihove ekstremne vrednosti. Data je promena srednjeg broja osnih preseka proizvoda dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti broja klastera  $\mu$  i Rajsovog  $k$  faktora. Sa povećanjem Rajsovog  $k$  faktora dolazi do bržeg rasta srednjeg broja osnih preseka ali i do smanjenja njihovog maksimuma. Sa povećanjem broja klastera dolazi do bržeg rasta srednjeg broja osnih preseka ali im maksimumi ostaju približno isti. Vrednosti srednjeg broja osnih preseka opada sa porastom Rajsovog  $k$  faktora i to izrazito pri njegovim nižim vrednostima, dok za više vrednosti su srednji broj osnih preseka konstantan i približno jednak bez obzira na broj klastera. Srednji broj osnih preseka brže opada za niže vrednosti broja klastera.

Određen je i srednji broj osnih preseka signala na izalzu iz makrodiverziti sistema sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika kada je na ulazima prisutan  $\alpha$ - $\mu$  fading. Povećenje koeficijenta nelinearnosti i broja klastera kroz koji se prostire signal dovodi ubrzanog rasta srednjeg broja osnih preseka, kao i njihovog bržeg opadanja. Sa povećanjem koeficijenta korelacije raste i srednji broj osnih preseka. Povećenje dubine osenčenosti kanala smanjuje vrednosti srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

---

## 9. LITERATURA

- [1] M. K. Simon, M. S. Alouini, *Digital Communications Over Fading Channels*, John Wiley & Sons Publishing group, 2nd ed., New York, USA, ISBN 978-047-17-1523-8, 2005.
- [2] J. Proakis, *Digital Communications*. 4nd ed, New York: McGraw-Hill, 2001.
- [3] S. Panić, M. Stefanović, J. Anastasov, P. Spalević, *Fading and Interference Mitigation in Wireless Communications*, Taylor & Francis Publishing group, CRC Press, New York, USA, ISBN 978-146-65-0841-5, December 17 2013.
- [4] P. Papoulis, S. U. Pillai, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, 4th ed., Edition McGraw-Hill, London, UK, Europe, ISBN-13: 978-007-12-2661-5, 2002.
- [5] *Mobile Communications Design Fundamentals*. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- [6] H. Hashemi, *The indoor radio propagation channel*, Proceedings of the IEEE, ISSN: 0018-9219, Vol. 81, Iss. 7, pp. 943–968, July 1993.
- [7] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd, 2nd edition, London, England, ISBN: 978-0-470-01575-9, February 2006.
- [8] M. Alouini and A. Goldsmith, Area Spectral Efficiency of Cellular Mobile Radio Systems, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 48, No. 4, pp. 1047-1065, 1999.
- [9] H. Holma, A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd, 5nd edition, London, England, ISBN: 978-047-06-8646-1, September 7, 2004.
- [10] C. Tellambura, V. K. Bhargava, *Unified error analysis of DQPSK in fading channels*, Electronic Letters, ISSN: 0013-5194, Vol. 30, No. 25, pp. 2110-2111, 1994.



- 
- [11] A. Goldsmith, *Wireless communications*, Cambridge University press, Cambridge, UK, ISBN: 978-052-18-3716-3, 2005.
- [12] G. Eftymoglou, V. Aalo, *Error Rates M-ary Signals with Multichannel Reception in Nakagami-m Fading Channels*, IEEE Communications Letters, ISSN: 0163-6804, Vol. 10, No. 2, pp. 100-102, February 2006.
- [13] Z. Popovic, S. Panic, J. Anastasov, P. Spalevic, M. Stefanovic, *Performance analysis of selection diversity over exponentially correlated alpha-mu fading environment*, International Journal of Communication Systems, ISSN: 1074-5351, Vol. 24, No. 7, pp. 925-937, 2011.
- [14] K. Witrisal, Y. H. Kim, R. Prasad, *A new method to measure parameters of frequency-selective radio channels using power measurements*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 49, pp. 1788–1800, October 2001.
- [15] D. Austin, L. Stuber, *In-service signal quality estimation for TDMA cellular systems*, Proceedings of Sixth IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communications, ISBN: 978-078-03-3002-3, PIMRC '95, Toronto, Ontario, Canada, pp. 836–40, 1995.
- [16] T. D. Carozzi, *Radio waves in ionosphere: Propagation, generation, and detection*, Ph.D. dissertation, Swedish Institute Space Physics, Uppsala Division, Uppsala, Sweden, August 2000.
- [17] Y. Akaiwa, *Introduction to Digital Mobile Communication*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [18] Cellular Communications, <http://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/611.pdf>
- [19] <http://shanhar.com/network-traffic-pattern/>
- [20] G. L. Stuber, *Mobile communication*. 2nd ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003.
- [21] Technical Specification: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD), 3GPP TS 25.104 version 6.17.0 Release 6.
- [22] Matthias Pätzold, *MOBILE FADING CHANNELS*, John Wiley & Sons, Ltd, 2002.
- [23] K. D. Kammeyer, K. Kroschel, *Digitale Signalverarbeitung*, Stuttgart: Teubner, 4th ed., 1998.
- [24] P. Jung, *Analyse und Entwurf digitaler Mobilfunksysteme*, Stuttgart: Teubner, 1997.

- 
- [25] S. Mukherjee, D. Avidor, *Effect of Microdiversity and Correlated Macrodiversity on Outages in a Cellular System*, IEEE Transactions on Wireless Technology, vol. 2, no. 1, pp. 50-59, 2003.
- [26] F. Babich, G. Lombardi, *Statistical analysis and characterization of the indoor propagation channel*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 48, pp. 455-464, March 2000.
- [27] L. Bernad et al., *Multi-Dimensional K-Factor Analysis for V2V Radio Channels in Open Sub-urban Street Crossings*, Proceedings of 21st IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, ISBN: 978-1-4244-8015-9, Istanbul, Turkey, pp. 58-63, September 2010.
- [28] P. M. Shankar, *Macrodiversity and Microdiversity in Correlated Shadowed Fading Channels*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 58, No. 2, pp. 727-732, February 2009.
- [29] H. Surawereea, R. Luie, Y. Li, G. Karagiannidis, B. Vučetić, *Two hop amplify-and-forward transmission in mixed Rayleigh and Rician fading channels*, IEEE Communications Letters, ISSN: 0163-6804, Vol. 13, Iss. 4, pp. 227-229, April 2009.
- [30] M. O. Hasna, M.-S. Alouini, *End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh-fading channels*, IEEE Transactions on Wireless Communications, ISSN: 1536-1276, Vol. 2, pp. 1126-1131, November 2003.
- [31] P. Spalević, M. Stefanović, S. R. Panić, S. Minić, Lj. Spalević, *Amplify-and-Forward Relay Transmission System over Mixed Rayleigh and Hoyt Fading Channels*, Electronics and Electrical Engineering, ISSN: 1392-1215, Vol. 120, No. 4, pp. 21-25, 2012.
- [32] J. Zhang, V. Aalo, *Effect of macrodiversity on average-error probabilities in a Rician fading channel with correlated lognormal shadowing*, IEEE Transactions on Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 49, No. 1, pp. 14-18, January 2001.
- [33] S. Panic, Dj. Bandjur, B. Jaksic, I. Dinic, S. Zdravkovic, D. Jaksic, *Level Crossing Rate of Macrodiversity System Operating over Gamma Shadowed Rician Fading Channel*, X International Symposium Industrial Electronics INDEL–2014, Banja Luka, November 6-8, 2014, pp. 257-261.
- [34] D. Stefanovic, S. R. Panic, P. Spalevic, *Second-order statistics of SC macrodiversity system operating over Gamma shadowed Nakagami-m fading channels*, AEU – International Journal of Electronics and Communications, ISSN: 1434-8411, Vol. 65, Iss. 5, pp. 413-418, 2011.
-

- 
- [35] J. Reig, Multivariate Nakagami- $m$  distribution with constant correlation model, AEU – International Journal of Electronics and Communications, ISSN: 1434-8411.
- [36] G. K. Karagiannidis, D. A. Zogas, S. A. Kotsopoulos, *On the multivariate Nakagami- $m$  distribution with exponential correlation*, IEEE Transactions on Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 51, pp. 1240–1244, 2003.
- [37] P. S. Bithas, P. T. Mathiopoulos, G. K. Karagiannidis, *Switched Diversity Receivers over Correlated Weibull Fading Channels*, Proceedings of the International Workshop on Satellite and Space Communications, ISBN: 978-142-44-0118-5, pp. 143-147, September 2006.
- [38] T. Tan, N. Bealieu, *Infinite series representation of the bivariate Rayleigh and Nakagami- $m$  distributions*, IEEE Transactions on Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 45, pp. 1159–1161, 1997.
- [39] M. Stefanovic, D. Krstic, B. Milosevic, J. Anastasov, S. Panic, *Channel Capacity of Maximal-Ratio Combining over Correlated Nakagami- $m$  Fading Channels*, Proceedings of 9th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services-TELSIKS 2009, ISBN: 978-1-4244-4381-9, Vol. 2, pp. 607-610, 2009.
- [40] B. Jaksic, H. Stefanovic, D. Milić, Lj. Spalević, Z. Trajčevski, M. Perić, *Relative measurement error analysis in the Weibull fading parameter estimation*, Technics Technologies Education Management - TTEM Journal, ISBN: 1840-1503, Vol. 7, No. 4, pp. 1462-1467, 2012.
- [41] N. Youssef, W. El Bahri, M. Patzold, S. El Asmi, *On the crossing statistics of phase processes and random FM noise in Nakagami- $q$  mobile fading channels*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 4, No.1, pp. 24–29, January 2005.
- [42] C. D. Iskander, P. T. Mathiopoulos, *Analytical Level Crossing Rate and Average Fade Duration in Nakagami fading channels*, IEEE Transactions on Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 50 No. 8, pp 1301-1309, 2002.
- [43] A. Cvetkovic, M. Stefanovic, N. Sekulovic, E. Mekic, D. Manic, *Dual-Hop System Analysis in Nakagami- $m$  Fading Enviroment*, Electronics and Electrical Engineering, ISSN: 1392-1215, Vol. 128, No. 2, pp. 47-50, February 2011.
- [44] C. Stefanovic, B. Jaksic, P. Spalevic, S. Panic, Z. Trajcevski, *Performance Analysis of Selection Combining Over Correlated Nakagami- $m$  Fading Channels with Constant Correlation Model for Desired Signal and Cochannel Interference*,
-

- 
- RADIOENGINEERING, ISSN 1805-9600 (Online), Vol. 22, No. 4, pp. 1176-1181, December, 2013.
- [45] C. W. Helstrom, *Probability and Stochastic Processes for Engineers*, Mac Millian Publishing House, 2nd ed., New York, ISBN: 0-02-353571-7, 1991.
- [46] P. Stavroulakis, *Interference analysis and reduction for wireless systems*, Artech House Publishers, London, ISBN 1-58053-316-7, September 2003.
- [47] M. O. Hasna, M. S. Alouini, *A performance study of dual-hop transmissions with fixed gain relays*, IEEE Transactions on Wireless Communications, ISSN: 1536-1276, Vol. 3, pp. 1963-1968, November 2004.
- [48] M. Stefanović, S. Minić, S. Nikolić, S. Panić, M. Perić, D. Radenković, M. Gligorijević, *The CCI Effect on System Performance in kappa-mu fading channels*, TTEM Journal, ISSN: 1840-1503, Volume 7, No. 1, pp. 88-92, 2012.
- [49] S. Ikki, M. H. Ahmed, *Performance analysis of dual-hop relaying communications over generalized Gamma fading channels*, Proceedings of IEEE Global Communications Conference – Globecom 2007, Washington, DC, USA, ISBN 978-1-4673-0920-2, pp. 3888-3893, November 2007.
- [50] P. C. Sofotasios, S. Freear, *The  $\kappa$ - $\mu$ /gamma Extreme Composite Distribution: A Physical Composite Fading Model*, Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference – WCNC '11, Cancun, Mexico, ISBN: 978-1-61284-255-4, pp. 1398-1401, March 2011.
- [51] M. Bandjur, N. Sekulovic, M. Stefanovic, A. Golubovic, P. Spalevic, D. Milic, *Second-Order Statistics of System with Microdiversity and Macrodiversity Reception in Gamma-Shadowed Rician Fading Channels*, ETRI Journal, ISSN: 1225-6463, Vol. 35, No. 4, pp. 722-725, 2013.
- [52] P. Spalević, M. Strefanović, S. Panić, B. Jakšić, A. Mosić, *Selection macrodiversity combining over Gama shadowed Rayleigh fading channels*, 19th International Electrotechnical and Computer Science Conference, ERK 2010, Portorož, Slovenija, 20-23 September 2010.
- [53] B. Nikolic, M. Stefanovic, S. Panić, J. Anastasov, B. Milosevic, *Selection combining system over correlated Generalized-K (KG) fading channels in the presence of co-channel interference*, ETRI Journal, ISSN: 1225-6463, Vol.33, No.3, pp.320-325. June 2011.
-

- 
- [54] M. D. Yacoub, *The  $\kappa$ - $\mu$  distribution and the  $\eta$ - $\mu$  distribution*, IEEE Antennas Propagation Magazine, ISSN: 1045-924, Vol. 49, pp. 68-81, February 2007.
- [55] E. Mekic, M. Stefanović, P. Spalević, N. Sekulović, A. Stanković, *Statistical analysis of ratio of random variables and its application in performance analysis of multi-hop wireless transmissions*, Mathematical Problems in Engineering, ISSN 1563- 5147, Article ID 841092, 2012.
- [56] M. I. Delibasic et al, *Impact of random K factor on Ricean fading wireless system performance*, Proceedings of 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), ISBN: 978-146-73-0783-3, Tunisia, pp. 233–236, March 2012.
- [57] L. J. Greenstein, S. Ghassemzadeh, V. Erceg, D. G. Michelson, *Ricean K-factors in narrow-band fixed wireless channels: Theory, experiments, and statistical models*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 58, No. 8, pp. 4000-4012, October 2009.
- [58] S. R. Panić, D. Stefanovic, I. Petrović, M. Stefanović, J. Anastasov, D. Krstic, *Second order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed  $k$ - $\mu$  fading channels*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, ISSN: 1687-1499, Volume 2011, ID 151, pp 1-7, 2011.
- [59] S. Choi, M. S. Alouini, K. Qaraqe, H.C. Yang, *Finger assignment schemes for rake receivers with multiple-way soft handover*, IEEE Transactions on Wireless Communications, ISSN: 1536-1276, Vol. 7, No. 2, pp. 495–499, 2008.
- [60] M. D. Yacoub, *The  $\alpha$ - $\mu$  Distribution: A Physical Fading Model for the Stacy Distribution*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 56, No. 1, pp. 27–34, January 2007.
- [61] G. Fraidenraich, M. D. Yacoub, *The  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  and  $\alpha$ - $\kappa$ - $\mu$  fading distributions*, Proceedings of IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, ISBN: 978-078-03-9779-8, Manaus – Amazon, Brazil, pp. 16-20, August 2006.
- [62] K. S. Butterworth, K. W. Sowerby, A. G. Williamson, *Base station placement for in-building mobile communication systems to yield high capacity and efficiency*, IEEE Transactions on Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 48, No. 4, pp. 658- 669, April 2000.

- 
- [63] N. Ermolova, O. Tirkkonen, *Multivariate  $\eta$ - $\mu$  Fading Distribution with Constant Correlation Model*, *Electronic Letters*, ISSN: 0013-5194, Vol. 16, No. 4, pp. 454-457, 1980.
- [64] P. C. Sofotasios, S. Freear, *The  $\eta$ - $\mu$ /gamma Composite Fading Model*, *Proceedings of IEEE International Conference in Wireless Information Technology and Systems – ICWITS'10*, Honolulu, HI, USA, ISBN: 978-9954-9083-0-3, Vol. 2, pp. 872-877, August/September 2010.
- [65] D. B. da Costa, M. D. Yacoub, *The  $\eta$ - $\mu$  joint phase-envelope distribution*, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, ISSN: 1536-122, Vol. 6, pp. 195-198, 2007.
- [66] G. Messier, J. Hartwel, *An Empirical Model for Nonstationary Ricean Fading*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, ISSN: 0018-9545, Vol. 58, No. 1, pp. 14-20, January 2009.
- [67] A. Abdi, W. C. Lau, M. S. Alouini, M. Kaveh, *A new simple model for land mobile satellite channels: first- and second-order statistics*, *IEEE Transaction Communications*, ISSN: 0090-6778, Vol. 2, pp. 519-528, May 2003.
- [68] G. Fraidenraich, J. Filho, M. Yacoub, *Second-order statistics of maximal-ratio and equal-gain combining in Hoyt fading*, *IEEE Communications Letters*, ISSN: 0163-6804, Vol. 9, No. 1, pp. 19-21, 2005.
- [69] S. R. Panić, P. Spalević, B. Jakšić, B. Radovanović, I. Petrović, S. Jovković, *Analiza bežičnog prenosa u Rajsovom feding kanalu u prisustvu višestrukih ko-kanalnih interferencija*, XI međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2012, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 21-23 mart 2012, Vol. 11, pp. 245-248, ISBN: 978-99938-624-8-2.
- [70] I. Petrovic, M. Stefanovic, P. Spalevic, S. Panic, D. Stefanovic, *Outage analysis of selection diversity over Rayleigh fading channels with multiple co-channel interferers*, *Telecommunication Systems*, ISSN 1018-4864, Vol. 52, No.1, pp 39-50, 2013.
- [71] A. Brandao, L. Lopez, C. Mc Leron, *Co-channel interference estimation for M-ary PSK modulated signals*, *Wireless Personnel Communication*, ISSN: 0929-6212, Vol. 1, No. 1, pp.23–32, 1994.
- [72] G. G. Messier, J. A. Hartwell, *An Empirical Model for Nonstationary Ricean Fading*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, ISSN: 0018-9545, Vol. 58, No. 1, pp. 14–20, January 2009.
- [73] D. G. Brennan, *Linear diversity combining techniques*, *Proceedings of the IEEE*, ISSN: 0018-9219, vol.91, Iss. 2, pp. 331-356, February 2003.
-

- 
- [74] A. Neasmith, N. C. Beaulieu, *New Results in selection diversity*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 46, pp. 695–704, 1998.
- [75] S. Okui, *Effects of SIR selection diversity with two correlated branches in the m-fading channel*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 48, pp. 1631–1633, 2000.
- [76] A. A. Abu-Dayya, N. C. Beaulieu, *Analysis of switched diversity systems on generalized-fading channels*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. COM-42, pp. 2959–2966, November 1994.
- [77] Y. C. Ko, M. S. Alouini, M. K. Simon, *Analysis and optimization of switched diversity systems*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 49, No. 5, pp. 1813–1831, September 2000.
- [78] C. R. C. M. da Silvaa, M. D. Yacoub, *A generalized solution for diversity combining techniques in fading channels*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, ISSN: 0018-9480, Vol. 50, No. 1, pp. 46–50, Jan. 2002.
- [79] I. Gradshteyn, I. Ryzhik, *Table of Integrals, Series and Products*, Academic Press, 7th ed., San Diego, USA, ISBN-13: 978-012-37-3637-6, March 9 2007.
- [80] T. Eng, N. Kong, L. B. Milstein, *Comparison of diversity combining techniques for Rayleigh-fading channels*, IEEE Transaction Communications, ISSN: 0090-6778, Vol. 44, No. 9, pp. 1117–1129, September 1996.
- [81] M. Stefanovic, B. Jaksic, C. Stefanovic, A. Markovic, M. Smilic, I. Dinic, *Level Crossing Rate of Macrodiversity System with Three Microdiversity SC Receivers Operating over Gamma Shadowed Multipath Fading Channel*, International Scientific Conference “UNITECH 2014”, Gabrovo, Bulgaria, pp. II174-II179, 21-22, November 2014.
- [82] R. F. Pawula, *A new formula for MDPSK symbol error probability*, IEEE Communications Letters, ISSN: 0163-6804, Vol. 2, pp. 271-272, 1998.
- [83] X. Dong, N. C. Beaulieu, P. H. Wittke, *Two dimensional signal constellations for fading channels*, IEEE Globecom, Communication Theory Mini-Conference, Sydney, Australia, ISBN: 978-078-03-4984-1, pp. 22 -27, 1998.
- [84] Y. Chen, C. Tellambura, *Performance analysis of three-branch selection combining over arbitrarily correlated Rayleigh-fading channels*, IEEE Transactions on Wireless Communications, ISSN: 1536-1276, Vol. 4, No. 3, pp. 861-865, 2005.

- 
- [85] P. Spalevic, M. Stefanovic, S. Panic, B. Jaksic, M. Petrovic, *Performance Analysis of Selecting Maximal Ratio Combining Hybrid Diversity System over Ricean Fading Channels*, AUTOMATIKA Journal, Croatia, ISSN 0005-1144, Vol.55 No.3 January 2015, pp. 299-305.
- [86] P. Spalević, M. Stefanović, S. Panić, B. Milošević, Z. Trajčevski, *The co-channel interference effect on average error rates in Hoyt fading channels*, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Series Electrotechnique et Energetique, ISSN: 0035-4066, Vol. 56, No. 3, pp. 305-313, 2011.
- [87] The Wolfram Functions Site – Online, Available: <http://functions.wolfram.com>
- [88] The Wolfram Functions Site – Online, Available: <http://mathworld.wolfram.com/MeijerG-Function.html>
- [89] B. Milosevic, P. Spalevic, M. Petrovic, D. Vuckovic, S. Milosavljevic, *Statistics of Macro SC Diversity System with Two Micro EGC Diversity Systems and Fast Fading*, Electronics and Electrical Engineering, ISSN: 1392-1215, Vol. 96, No. 8, pp. 55-58, 2009.
- [90] H. Stefanović, I. Petrović, M. Stefanovic, S. Panić, P. Spalević, *Multiple co-channel interferers influence on the selection diversity system over Rayleigh fading channels*, Electrical Review, ISSN: 0013-4384, Vol. 88, No. 1, pp. 222-225, January 2012.
- [91] B. Jaksic, M. Stefanovic, D. Djosic, I. Dinic, S. Zdravkovic, S. Maricic, *Macrodiversity with Two Microdiversity EGC Receivers over Gamma Shadowed Rayleigh Multipath Fading Channel*, International Scientific Conference “UNITECH 2014”, Gabrovo, Bulgaria, pp. II169-II173, 21-22, November 2014.
- [92] N. Sekulovic, M. Stefanović, *Performance Analysis of System with Micro- and Macrodiversity Reception in Correlated Gamma Shadowed Rician Fading Channels*, Wireless Personal Communications, vol. 65, no. 1, pp. 143-156, 2012.
- [93] P. Spalević, S. Panić, Č. Dolićanin M. Stefanović, A. Mosić, *SSC Diversity Receiver over Correlated  $\alpha$ - $\mu$  Fading Channels in the Presence of co-channel interference*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, ISSN: 1687-1499, Volume 2010, Article ID142392, 7 pages, 2010.
- [94] I. Petrovic, Z. Nikolic, M. Stefanovic, S. Panic, P. Spalevic, D. Stefanovic, *Selection Diversity Receiver Over Correlated Rayleigh Fading Channels in the Presence of Multiple Interferers*, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Series Electrotechnique et Energetique, ISSN: 0035-4066, Vol. 57, No. 1, pp. 61-69, 2012.
-



- 
- [95] A. Safak, R. Prasad, *Effects of correlated shadowing signals on channel reuse in mobile radio systems*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 4, No. 4, pp. 708-713, November 1991.
- [96] S. Jovkovic, S. R. Panic, M. Stefanovic, P. Spalevic, D. Krstic, *Performance Analysis of SSC Diversity Receiver over Correlated Ricean Fading Channels in the Presence of Co-channel Interference*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, ISSN: 1687-1499, Vol 2010, ID 583093, 2010.
- [97] A. Cvetković, M. Stefanović, D. Milić, J. Anastasov, *The Analysis of the Probability of Interruption Neregenerativnog Cooperative Link in the Presence of  $\alpha$ - $\mu$  Fading*, Proceedings of 16st Telecommunication Forum - TELFOR 2008, Beograd, Srbija, ISBN: 878-86-7466-337-0, pp. 336-339, November 25-27 2008.
- [98] J. Atanasov, S. Panic, P. Spalevic, C. Dolicanin, *Channel Capacity Analysis Under Various Adaptation Policies and Diversity Techniques over Fading Channels*, Book ed. Ali Eksim, Wireless Communications & Networks-Recent Advances, InTech Publishing Group, ISBN 978-953-51-0189-5, Ch. 10, 2012.
- [99] M. Milisic, M. Hamza, M. Hadzalic, *BEP/SEP and Outage Performance Analysis of L-Branch Maximal-Ratio Combiner for  $\kappa$ - $\mu$  Fading*, International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, vol. 2009, Article ID 573404, pp. 1-8, 2009.
- [100] P. M. Shankar, *Outage analysis in wireless channels with multiple interferers subject to shadowing and fading using a compound pdf model*, International Journal of Electronics and Communications (AEUE), vol. 61, issue 4, pp. 255-261, 2007.
- [101] G. Malmgren, *On the performance of single frequency networks in correlated shadow fading*, IEEE Transactions on Broadcasting ISSN: 0018-9316, Vol. 43, No. 2, pp. 155-165, June 1997.
- [102] A. A. Abu-Dayya, N. C. Beaulieu, *Diversity MPSK receivers in co-channel interference*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, ISSN: 0018-9545, Vol. 48, pp. 959-1965, 1999.
- [103] S. Panić, P. Spalević, B. Jakšić, J. Anastasov, V. Milentijević, *Kooperativni MRC diverziti prijem u prisustvu Nakagami- $q$  (Hojtovog) fedinga*, Zbornik radova 54. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN, Donji Milanovac, Srbija, 7-11 jun 2010., TE3.6-1-4, ISBN: 978-86-80509-67-9.

- 
- [104] E. Mekic, N. Sekulovic, M. Bandjur, M. Stefanovic, P. Spalevic, *The distribution of ratio of random variable and product of two random variables and its application in performance analysis of multi-hop relaying communications over fading channels*, Przeglad Elektrotechniczny, vol. 88, no. 7A, pp. 133-137, 2012.
- [105] P. M. Shankar, *Analysis of microdiversity and dual channel macrodiversity in shadowed fading channels using a compound fading model*, International Journal of Electronics
- [106] S. Panić, M. Stefanović, A. Mosić, *Performance analysis of selection combining diversity receiver over  $\alpha$ - $\mu$  fading channels in the presence of CCI*, IET Communications, Vol. 3, Iss. 11, pp. 1769-1777, November 2009.
- [107] R. K. Mallik, *On multivariate Rayleigh and exponential distributions*, IEEE Trans Inf. Theory, vol. 49, pp. 1499–1515, 2003..
- [108] D. B. Drajić, *Introducing statistical theory of telecommunications*, Academic Thought, Belgrade, 2003.
- [109] A. P. Prudnikov, Y. A. Brychkov, O. I. Marichev, *Integrals and Series Volume 3: More Special Functions*, 1st ed., New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

---

## BIOGRAFIJA

Branimir Jakšić je rođen 03.03.1984. godine u Kosovskoj Mitrovici. Osnovnu školu i Gimnaziju završio je u Zubinom Potoku sa odličnim uspehom. Godine 2003. upisao je Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, odsek elektrotehnika, smer elektronika i telekomunikacije, gde je i diplomirao 19.03.2009. godine sa prosečnom ocenom 9,00 u toku studija i ocenom 10 (deset) na diplomskom radu.

Školske 2009/10. godine upisao je prvu godinu doktorskih studija na Elektronskom fakultetu u Nišu, studijski program elektrotehnika i računarstvo, smer telekomunikacije, na teret budžeta. Položio je sve ispite predviđene nastavnim planom sa prosečnom ocenom 10,00.

Od strane Izbornog veća Fakulteta tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici 2010. godine izabran je u zvanje asistenta za užu naučnu oblast Telekomunikacije i informacioni sistemi. Od školske 2010/11. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, na studijskom programu Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo izvodi vežbe na predmetima iz uže naučne oblasti Telekomunikacije: Telekomunikacije 1, Telekomunikacije 2, Optičke telekomunikacije, Elektroakustika, Televizija, Multimedijalni sistemi, Softver u telekomunikacijama, Mikrotalasna tehnika i Protokoli u telekomunikacijama.

Autor i koautor je 35 naučnih radova iz telekomunikacija objavljenih u međunarodnim i domaćim časopisima, kao i u Zbornicima međunarodnih i domaćih naučnih konferencija.

## **IZJAVE AUTORA**



## IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija, pod naslovom  
Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu  
opštih oblika smetnji

- rezultat sopstvenog istraživanja
- da predložena disertacija, ni u celini, ni u delovima, nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome, prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava, niti zloupotrebio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

U Nišu, \_\_\_\_\_

Autor disertacije

Branimir Jakšić

Potpis doktoranda:

\_\_\_\_\_



**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE  
DOKTORSKE DISERTACIJE**

Ime i prezime autora:           Branimir Jakšić          

Srudijski program:           Elektrotehnika i računarstvo          

Naslov rada:           Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom  
sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji          

Mentor:           dr. Mihajlo Stefanović, redovni profesor          

Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije istovetna elektronskoj verziji, koju sam predao/la za unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada, i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

U Nišu, \_\_\_\_\_

Autor disertacije

          Branimir Jakšić          

Potpis doktoranda:

\_\_\_\_\_



## IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla” da, u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom: Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji \_\_\_\_\_ koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

U Nišu, \_\_\_\_\_

Autor disertacije

\_\_\_\_\_ Branimir Jakšić \_\_\_\_\_

Potpis doktoranda:

\_\_\_\_\_