



UNIVERZITET U NIŠU
ELEKTRONSKI FAKULTET



Danijel B. Došić

**PERFORMANSE I INFORMACIONI KAPACITET
MOBILNIH TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA
SA TEHNIKOM DIVERZITA U RAZLIČITIM
PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Tekst ove doktorske disertacije stavlja se na uvid javnosti,
u skladu sa članom 30., stav 8. Zakona o visokom obrazovanju
("Sl. glasnik RS", br. 76/2005, 100/2007 – autentično tumačenje, 97/2008, 44/2010,
93/2012, 89/2013 i 99/2014)

NAPOMENA O AUTORSKIM PRAVIMA:

Ovaj tekst smatra se rukopisom i samo se saopštava javnosti (član 7. Zakona o
autorskim i srodnim pravima, "Sl. glasnik RS", br. 104/2009, 99/2011 i 119/2012).

**Nijedan deo ove doktorske disertacije ne sme se koristiti ni u kakve svrhe,
osim za upoznavanje sa njenim sadržajem pre odbrane disertacije.**

Niš, 2018.



UNIVERZITET U NIŠU
ELEKTRONSKI FAKULTET



Danijel B. Došić

**PERFORMANSE I INFORMACIONI KAPACITET
MOBILNIH TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA
SA TEHNIKOM DIVERZITA U RAZLIČITIM
PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Niš, 2018.



UNIVERSITY OF NIŠ



FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Danijel B. Došić

**PERFORMANCE AND INFORMATION
CAPACITY OF MOBILE
TELECOMMUNICATION SYSTEMS EMPLOYING
DIVERSITY TECHNIQUE IN VARIOUS
PROPAGATION ENVIRONMENTS**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2018.

PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Mentor:

dr Dejan N. Milić, Redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet.

Naslov:

Performanse i informacioni kapacitet mobilnih telekomunikacionih sistema sa tehnikom diverzita u različitim propagacionim okruženjima

Rezime:

U doktorskoj disertaciji su razmatrane diverziti tehnike koje se koriste za smanjenje uticaja fedinga na performanse sistema u različitim propagacionim okruženjima.

U drugoj glavi razmatran je selektivni kombiner (selective combining SC) i maksimalni odnos kombinovanja (maximal ratio combining MRC) sa dva i tri ulaza. Razmatran je SC i MRC prijemnik sa dva ulaza kada je na prvom ulazu prisutan Nakagami- m feding, a na drugom ulazu prisutan je α - μ feding. Zatim je razmatran SC prijemnik sa tri ulaza kada je na njima prisutan Nakagami- m , Rajsov i Relijev feding. Kao specijalni slučaj razmatran je SC i MRC prijemnik sa tri ulaza kada je na njima prisutan Rajsov, Nakagami- m i α - μ feding. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza su razmatrane za slučaj kada je na jednom ulazu prisutan Nakagami- m feding i Nakagami- m interferencija, a na drugom ulazu Rajsov feding i Rajsova interferencija, kao i slučaj kada je na ulazu prisutan korisni Rajsov signal i Nakagami- m interferencija. Za ovakve modele izračunata je gustina verovatnoće (probability density function PDF), kumulativna verovatnoća (cumulative density function CDF), momenti, srednji broj osnih preseka (level crossing rate LCR) i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz SC i MRC prijemnika, grafički su pokazani numerički rezultati i potvrđeni simulacijom.

U trećoj glavi značajni doprinos doktorske disertacije je formiranje izlomljene Nakagami- m raspodele i analiza izlomljenog Nakagami- m fedinga. Razmatran je SC prijemnik sa dva i tri ulaza na kojima je prisutan izlomljen Nakagami- m feding. U disertaciji je takođe razmatran slučaj SC prijemnika sa dva ulaza na kojima je prisutan izlomljen Rajs/ Nakagami- m feding. Za ovakve slučajeve izvedeni su izrazi za PDF, CDF i LCR.

U četvrtoj glavi analiziran je makrodiverziti sistem. Razmatran je makrodiverziti SC prijemnik sa dva mikridiverziti SC prijemnika,

kada je na ulazima prisutan α - μ feding i korelisana Gama senka, kao i slučaj kada se na ulazima prisutan Relijev i Nakagami- m feding i korelisana Gama senka. Razmatran je i slučaj makrodiverziti SC prijemnika sa tri mikrodiverziti SC prijemnika kada su prisutni Rajsov, Nakagami- m i κ - μ feding i korelisana Gama senka. Za ovakve modele izračunat je PDF, CDF, LCR i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika, grafički su pokaznai numerički rezultati.

Naučna
oblast:
Naučna
disciplina:

Elektrotehnika i Računarstvo

Telekomunikacije

Ključne reči:

Nakagami- m feding, α - μ feding, Rajsov feding, Relijev feding, Selektivni kombiner SC, Maksimalni odnos kombinovanja MRC, Makrodiverziti, Kumulativna verovatnoća, Srednji broj osnih preseka, Kapacitet kanala.

UDK:

CERIF
klasifikacija:

T 180

Tip licence
Kreativne
zajednice:

CC BY-NC-ND

DATA ON DOCTORAL DISSERTATION

Doctoral
Supervisor:

PhD Dejan N. Milić, Full professor, University of Niš, Faculty of Electrical Engineering.

Title:

Performance and information capacity of mobile telecommunication systems employing diversity technique in various propagation environments

Abstract:

In this doctoral dissertation, the diversity techniques are considered in order to reduce the influence of fading on the system performances in different propagation environments.

The second chapter considers the selective combining (SC) and the maximal ratio combining (MRC) with two and three inputs. SC and MRC receivers with two inputs are considered when Nakagami- m fading is at the first input while α - μ fading is at the second input. Then, an SC receiver with three inputs is considered when Nakagami- m , Rice and Rayleigh fading are presented. As a special case, SC and MRC receivers with three inputs with Rice, Nakagami- m and α - μ fading are considered. The SC performance of the two-input receivers is considered in the case of the Nakagami- m fading and Nakagami- m interference at one input, while at the second input are the Rice fading and Rice interference, as well as the case when a desired Rice signal and Nakagami- m interference are presented. For these models the probability density function (PDF), cumulative density function (CDF), moments, level crossing rate (LCR) and the information capacity of the channel at the output from the SC and MRC receivers are calculated, the numerical results are graphically presented and confirmed by simulations.

In the third chapter, the significant contribution of the doctoral dissertation is the formation of the broken Nakagami- m distribution and the analysis of the broken Nakagami- m fading. An SC receiver with two and three inputs with broken Nakagami- m fading is examined. The dissertation also examines the case of the SC two-way receivers where there is a broken Rice/Nakagami- m fading. For such cases, expressions for PDF, CDF and LCR are derived.

In the fourth chapter, the macrodiversity system is analyzed. The macrodiversity SC receiver with two micro-diversity SC receivers, when α - μ fading is present at the inputs and the correlated Gamma

shadowing, as well as the case when Rayleigh, Nakagami- m fading and the correlated Gamma shadowing are at the inputs are examined. The case of macrodiversity SC receivers with three microdiversity SC receivers is further considered when Rice, Nakagami- m , κ - μ fading and correlated Gamma shadowing are presented at inputs. For these models, the PDF, CDF, LCR and the information capacity of the channels at the macro-diversity SC receiver output are calculated and numerical results are graphically presented.

Scientific Field: Electrical Engineering and Computer Science
Scientific Discipline: Telecommunications

Key Words: Nakagami- m fading, α - μ fading, Rician fading, Rayleigh fading, Selective combining (SC), Maximal ratio combining (MRC), Makroviversity, Cumulative distribution function (CDF), Level crossing rate (LCR), Kapacity channel.

UDC:

CERIF Classification: T 180

Creative Commons License Type: **CC BY-NC-ND**

PREGLED SLIKA

Slika 2.1. Primer razvojnog sistema jednog komercijalnog SC kombinera.	24
Slika 2.2. SC prijemnik sa dva ulaza.	25
Slika 2.3. Grafički prikaz numerečkih i simulacijom dobijenih rezultata za PDF na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2	30
Slika 2.4. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za CDF signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i sa različitim srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2	31
Slika 2.5. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m	32
Slika 2.6. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od broja klastera μ	33
Slika 2.7. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_1	34
Slika 2.8. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_1	34
Slika 2.9. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_2	35
Slika 2.10. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra koeficijenta nelinearnosti α i parametra broja klastera μ	38
Slika 2.11. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i koeficijenta nelinearnosti α	38
Slika 2.12. SC prijemnik sa tri ulaza.	39
Slika 2.13. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za gustinu verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, sa različitim vrednostima parametra broja klastera μ i sa različitim vrednostima parametrima oštine fedinga m	47

Slika 2.14. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra broja klastera μ , sa različitim koeficijentima nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra Rajsovog κ faktora.	48
Slika 2.15. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za kumulativnu verovatnoću signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ i parametra oštine fedinga m	49
Slika 2.16. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m	50
Slika 2.17. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ faktora.	51
Slika 2.18. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od koeficijenta nelinearnosti α	52
Slika 2.19. Momenti signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m	53
Slika 2.20. Momenti signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ	53
Slika 2.21. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza za različite vrednosti parametra broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α	55
Slika 2.22. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i Rajsovog faktora κ	55
Slika 2.23. SC prijemnik sa tri ulaza.	56
Slika 2.24. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra m i κ	60
Slika 2.25. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra Ω_1 , Ω_2 i Ω_3	61
Slika 2.26. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra m i κ	62
Slika 2.27. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra Ω_1 , Ω_2 i Ω_3	62
Slika 2.28. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i sa različitim vrednostima Rajsovog κ faktora.	64
Slika 2.29. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra srednje snage signala Ω_1 , Ω_2 i Ω_3	65

Slika 2.30. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m , a za različite vrednosti Rajsovog κ faktora.	66
Slika 2.31. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ faktora, a za različite vrednosti parametra oštine fedinga m	66
Slika 2.32. SC prijemnik sa dva ulaza.	67
Slika 2.33. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2	74
Slika 2.34. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti Rajsovog faktora κ_1 i κ_2	75
Slika 2.35. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala u prisustvu korsing signala i interference, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 , i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.	76
Slika 2.36. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra m_1 , za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_2 i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.	77
Slika 2.37. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_1 , za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_2 faktora.	77
Slika 2.38. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 , i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.	79
Slika 2.39. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_1	80
Slika 2.40. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_2	81
Slika 2.41. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ_1 faktora.	81
Slika 2.42. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_2	82
Slika 2.43. Normalizovan LCR u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre za n i m , za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	87
Slika 2.44. Normalizovan LCR u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	88
Slika 2.45. Normalizovan AFD u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	89

Slika 2.46. Normalizovan AFD u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	89
Slika 2.47. Verovatnoća otkaza u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	90
Slika 2.48. Verovatnoća otkaza u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2	91
Slika 2.49. MRC prijemnik sa dva ulaza.	91
Slika 2.50. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ i sa različitim koeficijentima nelinearnosti parametra α . ..	93
Slika 2.51. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i za različite srednje snage Ω_1 i Ω_2	94
Slika 2.52. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti α i sa različitim srednjim snagama Ω_1 i Ω_2	95
Slika 2.53. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika za različite vrednosti broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α	98
Slika 2.54. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza za različite vrednosti parametra oštine fedinga m , broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α	98
Slika 2.55. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza za različite vrednosti srednjih snaga Ω_1 i Ω_2	99
Slika 2.56. Kapacitet kanala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m	100
Slika 2.57. MRC prijemnik sa tri ulaza.	101
Slika 3.1. SC prijemnik sa dva ulaza.	105
Slika 3.2. Model sistema prenosa na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u vremenski razlomljenom Nakagami- m frding okruženju.	109
Slika 3.3. SC prijemnik sa tri ulaza.	113
Slika 3.4. Model sistema prenosa na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u okruženju vremenski razlomljenom Nakagami- m raspodelom fedinga.	115
Slika 4.1. Model makarodverziti sistem.	123

Slika 4.2. Normalizovan srednji broj osnih preseka SC izlaznog signal za različite vrednosti parametra c i ρ	128
Slika 4.3. Normalizovan srednji broj osnih preseka SC izlaznog signal za različite vrednosti parametra α i μ	128
Silka 4.4. Model makrodiverziti sistema.	130
Silka 4.5. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i ρ	136
Silka 4.6. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i m	136
Silka 4.7. Kumulativna verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra Ω_0 i m	138
Silka 4.8. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i ρ	139
Silka 4.9. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra Ω_0 i m	140
Silka 4.10. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od srednje snage signala Ω_0 , a za različite vrednosti parametra c i ρ	140
Silka 4.11. Kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od srednje snage signala Ω_0 , a za različite vrednosti parametra c i ρ	141
Silka 4.12. Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera.	142
Silka 4.13. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala w , a za različite vrednosti parametra c , m , μ , κ_1 i κ_2	153
Silka 4.14. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavinsosti od anvelope signala w , a za različite vrednosti parametra ρ	153

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PERFORMSE SC I MRC PRIJEMNIK U RAZLIČITIM PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA	23
2.1. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu Nakagami- m i α - μ fedin	25
2.2. Performanse SC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Rajsovog, Nakagami- m i α - μ fedinga	39
2.3. Performanse SC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Nakagami- m , Rajsovog i Relijevog fedinga	56
2.4. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interference	67
2.5. Performansi SC prijemnika u prisustvu Rajsovog fedinga i Nakagami- m interference	83
2.6. Performansi MRC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu Nakagami- m i α - μ fedinga	91
2.7. Performansi MRC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Nakagami- m , Rajsovog i α - μ fedinga	101
3. PERFORMANSE SC PRIJEMNIKA U PRISUSTVU NEZAVISANIH, NEKORELISANIH, VREMENSKI PROMENLJIVIH FEDINGA NA PRIJEMNIM GRANAMA (VREMESNKI RAZLOMLJENE RASPODELE)	104
3.1. Slučaj prostiranja u Rajs/Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju	104
3.2. Slučaj prostiranja u Nakagami- m /Nakagami- m /Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju	108

3.3. Prostiranje u Nakagami- m /Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju slučaj prijema pomoću SC prijemnika sa tri ulaza	113
4. MAKRODIVERZITI SISTEM SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI SC KOMBINERA	121
4.1. Makrodivrziti sistem sa dva mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu korelisane Gama senke i α - μ fedinga	122
4.2. Makrodivrziti sistem sa dva mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu Relijevo Nakagami- m fedinga i korelisane Gama senke	130
4.3. Makrodivrziti sistem sa tri mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu Rajsovo Nakagami- m , κ - m fedinga i korelisane Gama senke	142
5. ZAKLJUČAK	154
6. LITERATURA.....	157

1. UVOD

Zbog prostiranja signala po više različitih putanja između predajnika i prijemnika nastaje efekat koji u telekomunikacijama obično nazivamo fedingom. Signal se prostire po više putanja zbog fizičkih efekata koji izazivaju odbijanja talasa, prelamanja talasa, savijanja talasa i rasipanje talasa [32], [55], [63], [65]. Polje rasipanja (rasejanja ili sketeringa) može da bude homogeno i nehomogeno. Kada je rasipanje homogeno onda se u svakoj tački kanala pojavljuju vektori elektromagnetnog polja u svim pravcima sa približno istim amplitudama. Zbog ovoga je signal na mestu prijema jednak zbiru više ovakvih uskopojasnih signala. Amplitude ovih uskopojasnih signala se menjaju kada se predajnik ili prijemnik kreću ili kada se menjaju uslovi prenosa. Zbog svega ovoga dolazi do varijacije amplitude signala, odnosno dolazi do pojave fedinga. Promena amplitude signala, odnosno feding, može se posmatrati kao slučajni process [24], [30], [33], [71], [75]. Amplituda signala u kanalu sa fedingom može da se opše odgovarajućom raspodelom, odgovarajućom kumulativnom verovatnoćom, karakterističnim funkcijama ili momentima. Od momenata su najznačajniji prvi moment ili srednja vrednost, drugi moment ili srednje kvadratna vrednost, treći moment ili srednja kubna vrednost, kao i drugi centralni moment ili varijansa. Navešćemo nekoliko važnih karakteristika fedinga. Jedna od karakteristika određena je postojanjem mogućnosti da se u kanalu formira dominantna komponenta [72], [96]. Dominantna komponenta ima amplitudu koja je znatno veća od amplitude sketering komponenata. Dominantna komponenta se uvek pojavljuje kada postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Mogu se formirati uslovi prenosa da se pojavi dominantna komponenta i kada ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Svaki od uskopojanih sketering signala može da se rastavi na zbir komponenti u fazi i komponenti u kvadraturi. Ekvivalentna komponenta u fazi jednaka je zbiru svih komponenti u fazi od svake sketering komponente i ekvivalentna komponenta u kvadraturi jednaka je zbiru komponenata u kvadraturi od svake uskopojasne sketering komponente. Ako je broj uskopojasnih sketering komponentata sa približno istim amplitudama veliki, onda se može primeniti centralna granična teorema tako da može da se

smatra da su ekvivalenti komponente u fazi i kvadraturi Gausove nezavisne slučajne promenljive sa srednjim vrednostima nula i koje imaju varijanse koje su najčešće jednake. Kada je broj uskopojasnih sketering komponenti dovoljno velik onda se približno može smatrati da je bežični kanal linearan, a kada je ovaj broj nedovoljno velik onda je kanal nelinearan. Kada je kanal linearan onda važi centralna granična teorema za zbir komponenata u fazi i kvadraturi, a kada je kanal nelinearan onda zbir komponenti u fazi i kvadraturi nema Gausovu raspodelu [55], [63], [72]. Bežični kanal može biti u mogućnosti da dozvoljava formiranje jednog ili više klastera. Klasteri su grupe talasa koje su vremenski razdvojeni i za koje kanal može da bude linearan ili nelinearan. Snage amplituda ekvivalentnih talasa mogu da budu konstantne, a mogu da budu i proizvoljne. Snage amplituda su promenljive kada između predajnika i prijemnika postoje velike prepreke. Ova pojava se naziva sporim fadingom i nastaje zbog efekta senke [13], [64], [69]. Bežični kanal može omogućavati pojavu promene snage anvelope, a može ovu pojavu i neomogućiti. Snage komponenti u fazi i kvadraturi mogu da budu iste ili različite. Snage komponenti u fazi i kvadraturi su različite u kanalima u kojima signal ne slabi podjednako u dva normalna pravca. Takođe, u nekim kanalima su komponente u fazi i komponente u kvadraturi korelisane. Ovo se dešava u kanalima u kojima su površine prelamanja i odbijanja u pojedinim pravcima orjentisane [24], [32], [59], [96].

Veoma često se amplitude signala u bežičnim kanalima mogu opisati Relijevom raspodelom. U ovom slučaju se fading naziva Rejljev fading. Uskopojasni signal čija amplituda ima Relijevu raspodelu ima dve nezavisne Gausove kvadratne komponente, koje imaju srednju vrednost nula i imaju iste varijanse. Broj sketering komponenta je dovoljno velik i približno imaju iste amplitude, tako da važi centralna granična teorema [42], [69]. Kvadrat Relijeve slučajne promenljive jednak je zbiru kvadrata dve Gausove slučajne promenljive. Na ovaj način može da se formira slučajni Relijev vektor proizvoljne dužine. Prvo se formiraju dva Gausova slučajna vektora proizvoljne dužine. Zatim se svaki od ovih vektora pomnoži konstantom koja je srazmerna varijansi. Vektor se množi konstantom na taj način što se formira novi vektor čiji je svaki član jednak proizvodu konstante i odgovarajućeg člana aktuelnog vektora. Zatim se Gausovi vektori kvadriraju. Vektori se kvadriraju na taj način što se formira novi vektor čiji je svaki član jednak kvadratu odgovarajućeg člana aktuelnog vektora. Kvadrirani Gausovi vektori se sabiraju. Dva vektora se sabiraju na taj način što se formira novi vektor čiji je svaki član jednak zbiru odgovarajućih članova vektora sabiraka. Od ovako dobijenog vektora odredi se

kvadratni koren. Vektor se modeluje na taj način što se formira novi vektor čiji je svaki član jednak kvadratnom korenu odgovarajućeg člana aktuelnog vektora. Dobijeni vektor je Relijev slučajni vektor. Članovi ovog vektora su uzorci Relijeveog slučajnog procesa. Histogram se formira na taj način što se na apcisi nanese vrednosti anvelope, a na ordinate su brojevi uzoraka u svakoj vrednosti anvelope [11]. Pomoću izraza za gustinu Relijeve raspodele može da se izračuna kumulativna verovatnoća Relijeve slučajne promenljive, karakteristične funkcije Relijeve slučajne promenljive, kapacitet knala i moment Relijeve slučajne promenljive [42]. Kumulativna verovatnoća Relijeve slučajne promenljive je definisana kao verovatnoća, a slučajna promenljiva uzima vrednosti od $-\infty$ do tekuća koordinate. Iz ove definicije sledi da se kumulativna verovatnoća može izračunati kao integral gustine verovatnoće od $-\infty$ do tekuće koordinate, a gustina verovatnoće se dobija kao prvi izvod od gustine verovatnoće. Pomoću kumulativne verovatnoće može se izračunati verovatnoća da se slučajna promenljiva nalazi u određenom intervalu. Karakteristična funkcija od slučajne promenljive jednaka je srednjoj vrednosti od eksponencijalne funkcije. Karakteristična funkcija i gustina verovatnoće slučajne promenljive su Furijev transformacioni par. Pomoću ove definicije i gustine verovatnoće može da se odredi karakteristična funkcija, a takođe i gustina verovatnoće iz karakteristične funkcije. Često se koristi teorema da je karakteristična funkcija zbira jednaka proizvodu karakterističnih funkcija pojedinih sabiraka. Moment može da se odredi pomoću karakteristične funkcije. Moment n -og reda jednak je n -tom izvodu karakteristične funkcije za vrednost tekuće promenljive nule. Gustina verovatnoće može da se izračuna pomoću momenata koristeći specijalne funkcije kao što su: Hermitovi polinomi, Lagerove funkcije i Čebiševljeve funkcije. U ovom slučaju gustina verovatnoće se može predstaviti polinomom čiji su koeficijenti dati u zavisnosti od momenata. Prvi izvod Relijeve slučajne promenljive ima Gausovu gustinu verovatnoće. Ovo može da se pokaže na sledeći način. Koristi se pravilo da je kvadrat Relijeve anvelope jednak zbiru kvadrata dve Gausove slučajne promenljive. Pomoću ovoga se može odrediti prvi izvod Relijeve anvelope. Dobija se da prvi izvod Relijeve anvelope linearna transformacija izvoda Gausove slučajne promenljive. Prvi izvod Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva. Varijansa ovog prvog izvoda Gausove slučajne promenljive je srazmerna kvadratu maksimalne Doplerove frekvence i srednje snage Relijeve anvelope. Linearna transformacija Gasovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva. Na osnovu ovoga se dobija da je prvi izvod Gausovih slučajnih promenljivih Gausova slučajna

promenljiva. Relijeva slučajna promenljiva i njen prvi izvod su međusobno nezavisni. Na osnovu ovoga je združena gustina verovatnoće Relijeve slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda jednaka proizvodu Relijeve slučajne promenljive i Gausove slučajne promenljive. Pomoću ove slučajne promenljive može da se izračuna srednji broj osnih preseka Relijevog slučajnog procesa. Srednji broj osnih preseka Relijevog slučajnog procesa se dobija kao srednja vrednost prvog izvoda Relijevog slučajnog procesa. Srednji broj osnih preseka slučajnog procesa je važna statistička karakteristika sistema. pomoću nje može da se izračuna srednje vreme trajanja otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu sa Relijevim fadingom. Srednje vreme trajanja otkaza jednako je količniku verovatnoće otkaza i srednjem broju osnih preseka. Verovatnoća otkaza jednaka je verovatnoći da je fading rezultujućeg signala manji od praga prijema. Verovatnoća otkaza je prvog reda mera performanse, a srednji broj osnih preseka i srednje vreme trajanja otkaza su drugog reda mere performanse bežičnog telekomunikacionog sistema [17], [31], [46], [47].

Rajsova raspodela može da se upotrebi da opše anvelopu signala u bežičnom kanalu gde može da se formira dominantna komponenta, odnosno u kanalima gde postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika[32], [62]. Takođe, u ovom kanalu može da se formira jedan klaster i kanal je linaran, odnos polje rasipanja je homogeno i postoji veći broj sketering komponenti sa približno istim amplitudama sa uniformno raspodeljenim fazama. Snaga anvelope je konstantna i iste su snage komponentni u fazi i kvadraturi uskopojanog signala na ulazu u prijemnik. Uskopojansi signal na ulazu u prijemnik može da se napiše kao zbir tri signala. Dominantna komponenta može da se predstavi kao signal u fazi. Postoje dve Gausove komponente, jedna u fazi, a druga u kvadraturi. Ove Gausove komponente su međusobno nezavisne, imaju srednje vrednosti nula i imaju iste varijanse. Transformacionom metodom može da se izračuna gustina verovatnoće anvelope ovih slučajnih procesa. Ove anvelope imaju Rajsovu gustinu verovatnoće. Fading sa ovim osobinama se zove Rajsov fading [63], [72]. Pomoću Rajsove gustine verovatnoće može da se odredi kumulativna verovatnoća, karakteristične funkcije i moment Rajsove anvelope. Srednja vrednost, srednja kvadratna vrednost i varijansa su važne statističke karakteristike Rajsove anvelope. Može da se formira Rajsov vektor određene dužine. Slučani Rajsov vektor može da se formira simulacijom, a može se formirati pomoću eksperimentalno merenih vrednosti Rajsovog signal u fading kanalima [11]. Rajsov vektor dobijen simulacijom formira se na sledeći način. Pri ovoj simulaciji koristi se

pravilno da je kvadrat Rajsove anvelope jednak zbiru kvadrata dve nezavisne Gausove slučajne promenljive sa istim varijansama od kojih bar jedna ima srednju vrednost različitu od nule. Prvo se formiraju dva nezavisna Gausova vektora. Formirana dva Gausova vektora se pomnože konstantom koja je srednja varijansa odnosa snaga Rajsove anvelope. Jednom od Gausovih vektora se doda konstanta koja je srazmerna srednjoj vrednosti. Vektoru se doda konstanta i tako se formira novi vektor čiji je svaki član jednak zbiru konstante i odgovarajućeg člana ostatka vektora. Zatim se dobijeni Gausovi vektori kvadriraju i sabiraju. Od ovako dobijenog vektora se odredi kvadratni koren. Dobijeni vektor je slučajni Rajsov vektor. Od ovog vektora može da se odredi histogram. Kada se histogram normalizuje tako što se sve vrednosti na ordinate podele sa dužinom vektora sledi da dobijeni dijagram aproksimira Rajsovoj gustini verovatnoće. Tačnost dobijene aproksimacije je veća kada se povećava dužina vektora. Može se formirati dijagram gde su na apscisi vrednosti anvelope, a na ordinate su brojevi uzoraka koji su manji od vrednosti na apscisi. Dobijeni dijagram je srazmeran kumulativnoj verovatnoći. Aproksimacija je tačnija kada se dužina vektora povećava. Dobijeni dijagram aproksimira verovatnoći otkaza bežičnog sistema koji radi u fading kanalu. Pomoću Rajsovog vektora mogu se aproksimativno odrediti i momenti Rajsove anvelope. Prvi moment ili srednja vrednost je jednak zbiru članova Rajsovog vektora podeljen sa dužinom vektora. Drugi moment, srednja kvadratna vrednost ili snaga signala se dobija kada se članovi Rajsovog vektora kvadriraju, zatim sabiraju i dobijeni zbir se podeli sa dužinom vektora. Moment n -og reda se određuje na taj način što se članovi Rajsovog vektora dignu na n -ti stepen, zatim se sabiraju i dobijeni zbir se podeli sa dužinom vektora. Rajsova varijansa je jednako srazmerna srednjoj kvadratnoj vrednosti i kvadratu srednje vrednosti. Iz ove relacije se može odrediti Rajsova varijansa pomoću prvog i drugog momenta. Može se pokazati da prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive ima Gausovu gustinu verovatnoće. Koristi se pravilo da je kvadrat Rajsove slučajne promenljive jednak kvadratu zbira dve Gausove slučajne promenljive. Pomoću ove relacije se može odrediti prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive. Dobija se da je prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih. Zbog ovoga je prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive Gausova slučajna promenljiva. Rajsova slučajna promenljiva i njen prvi izvod su međusobno nezavisni. Združena gustina verovatnoće Rajsove slučajne promenljive i prvog izvoda Rajsove slučajne promenljive jednaki su proizvodu Rajsove slučajne promenljive i Gausove slučajne promenljive. Pomoću ove zdržene raspodele može da se odredi srednji broj osnih preseka Rajsovog slučajnog

procesa. Ovo su rezultati srednje vrednosti prvog izvoda Rajsovog slučajnog procesa. Ovaj izraz može da se upotrebi za izračunavanje srednjeg vremena trajanja otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu sa Rajsovim fadingom. Pomoću Rajsove gustine verovatnoće može da se odredi verovatnoća otkaza, kapacitet kanala i iznos fadinga bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalima sa Rajsovim fadingom [28], [33]. Za neke primene važno je odrediti združenu gustinu verovatnoće dve korelisane Rajsove slučajne promenljive. Ova združena raspodela se koristi za analizu performansi selektivnog diverziteti prijemnika sa dve antene. Ako su antene dovoljno udaljene onda signali na antenama nisu nezavisni. Ovo je povoljan slučaj. Kada je prijemnik konstantan onda su antene blizu i anvelope signala su korelisane. Što su antene bliže, signal je više korelisan i diverziteti dobit je manji. Koeficijent korelacije se kreće od nula do jedan. Kada je koeficijent korelacije blizu jedan, onda je najmanji signal i događa se ispad na obe antene i prijemnik radi kao da nema diverziteti tehnike. Zbog ovoga je potrebno odrediti združenu gustinu verovatnoće za dve Rajsove slučajne promenljive u zavisnosti od korelacionog koeficijenta. Formiraju se dva uskopojasna slučajna signala sa istom dominantnom komponentom. Signali u fazi u oba uskopojasna procesa su korelisana, a takđe i Gausovi signali su u kvadraturi za oba uskopojasna procesa. Svaki od ova dva uskopojasna procesa imaju ekvivalentnu anvelopu i ekvivalentnu fazu. Transformacionom metodom može da se odredi združena gustina verovatnoće dve Rajsove anvelope. Ova združena gustina verovatnoće je složena i sadrži proizvod modifikovanih Beselovih funkcija. Pomoću ove združene gustine verovatnoće mogu da se izračunaju: združena kumulativna verovatnoće, združena karakteristična funkcija i združeni produktni moment dve Rajsove slučajne promenljive. Može da se odredi prvi produktivni moment, drugi produktivni moment i viši produktni momenti. Prvi produktni moment je autokorelaciona funkcija. Autokorelaciona funkcija i spektralna gustina snage su Furijev transformacioni par. Ovo znači da se pomoću autokorelacione funkcije može odrediti spektralna gustina snage Rajsovog slučajnog procesa. Takođe, pomoću spektralne gustine snage Furijevom transformacijom može se odrediti autokorelaciona funkcija. Mogu se odrediti i centralni produktni moment [2], [4], [8], [10], [23], [51].

Nakagami- m raspodela može se primeniti da opiše anvelopu signala u kanalima u kojima je prisutan fading i gde ne postoje uslovi za formiranje dominantne komponente, odnosno ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Ukoliko postoje uslovi za formiranje

više klastera i sredina je homogena tako da postoji više sketering komponenata približno iste amplitude sa uniformno raspodeljenim fazama, snaga anvelope je konstantna. Srednje snage komponente u fazi i komponente u kvadraturi uskopojasnog procesa na ulazu u prijemnike su iste [53]. Pomocu Nakagami- m raspodele može da se odredi: kumulativna verovatnoća anvelope signala u Nakagami- m feding kanalu, karakteristične funkcije anvelope signala u Nakagami- m feding kanalu, momenti i centralni moment anvelope signala u Nakagami- m feding kanalu [33]. Takođe, može da se izračuna srednja vrednost anvelope signala, srednja kvadratna vrednost anvelope signala, varijansa anvelope signala i iznos fedinga anvelope signala u Nakagami- m feding kanalu. Momenti mogu da se izračunaju pomoću gustine verovatnoće, karakteristične funkcije i pomoću kumulativne verovatnoće [98]. Karakteristična funkcija može da se odredi Furijevom transformacijom gustine verovatnoće. Kvadrat Nakagami- m slučajne promenljive može da se napiše kao zbir $2m$ kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih čija je srednja vrednost nula i imaju iste varijanse. Pomoću ove relacije može da se odredi izvod Nakagami- m slučajne promenljive kao linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih. Na osnovu ovoga zaključuje se da prvi izvod Nakagami- m slučajne promenljive ima Gausovu gustinu verovatnoće i prvi izvod od Nakagami- m slučajne promenljive je nezavisan od Nakagami- m slučajne promenljive. Združena gustina verovatnoće Nakagami- m slučajne promenljive i prvog izvoda Nakagami- m slučajne promenljive jednaka je proizvodu gustine verovatnoće Nakagami- m slučajne promenljive i Gausove gustine verovatnoće. Varijanse prvog izvoda Nakagami- m raspodele srazmerna je kvadratu maksimalne Doplerove frekvencije, srednjoj snazi Nakagami- m anvelope, a obrnuto srazmerna parametru m [3]. Kao i u predhodnim slučajevima pomoću ove raspodele može da se odredi srednji broj osnih preseka Nakagami- m slučajnog procesa kao srednja vrednost od prvog izvoda Nakagami- m slučajnog procesa [38], [53], [58]. Nakagami- m slučajna promenljiva ima dva parametra, jedan parametar je m koji određuje oštrinu fedinga, a drugi parametar je srednja snaga Ω . Oštrina fedinga je manja kada parametar m raste. Kada parametar m ide ka beskonačnosti onda Nakagami- m kanal postaje kanal bez prisustva fedinga. Nakagami- m raspodela je generalna raspodela. Kada parametar m uzima vrednosti jedan onda Nakagami- m raspodela postaje Relijeva raspodela, a kada parametar m ima vrednost 0.5 onda se iz Nakagami- m raspodle izvodi jednostruka Gausova raspodela [65], [69]. Postoji metoda za procenu parametra m u Nakagami- m feding kanalu. Na osnovu ovih metoda formiraju se estimatori za procenu parametra koji se koriste u adaptivnim kolima za

povećanje kapaciteta kanala. Postoji metod momenata za procenu parametra m , postoji metod osnih preseka za procenu parametra m i metod maksimalne verodostojnosti za procenu parametra m [43],[98]. Kao i u predhodnim slučajevima mogu se formirati slučajni Nakagami- m vektor. Koristi se pravilo da kvadrat Nakagami- m slučajne promenljive jednak zbiru $2m$ kvadrata Gausvih nezavisnih slučajnih promenljivih sa srednjim vrednostima nula i sa istim varijansama. Prvo se formiraju $2m$ Gausvih vektora proizvoljne dužine (ako je m ceo broj). Zatim se ovi vektori kvadriraju, a nakon toga se kvadrirani Gausovi vektori sabere. Od dobijenog zbira se odredi kvadratni koren. Ovako dobijeni vektor ima članove koji su uzorci Nakagami- m slučajnog procesa. Za Nakagami- m slučajni proces može da se odredi histogram, kumulativna verovatnoća, kapacitet kanala i momenti. Pomoću slučajnog Nakagami- m vektora može da se odredi srednji broj osnih preseka Nakagami- m slučajnog procesa. Srednji broj osnih preseka se određuje na sledeći način. Srednji broj osnih preseka se određuje za dati nivo. Formira se novi vektor koji je jednak razlici amplitude vektora i datog nivoa. Zatim se formira novi vektor čije je svaki član jednak proizvodu dva susedna člana dobijenog vektora. Broj negativnih vrednosti u dobijenom vektoru jednak je srednjem broju osnih preseka Nakagami- m slučajnog procesa [21]. Statističke karakteristike dve korelisane Nakagami- m slučajne promenljive se određuju na sledeći način. Formiraju se kvadrati dve Nakagami- m slučajne promenljive koje su jednake zbiru $2m$ kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih. Svake dve Gausove slučajne promenljive su korelisane i poznata je njihova združena gustina verovatnoće. Zatim se formira združena karakteristična funkcija za dve korelisane Gausove slučajne promenljive. Na osnovu osobina karakteristične funkcije dobija se karakteristična funkcija dve Nakagami- m slučajne promenljive. Inverzna transformacijom se dobija združena gustina verovatnoće dve korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine može da se odredi združena karakteristična funkcija, združena kumulativna verovatnoća i združeni produktni moment dve Nakagami- m korelisane slučajne promenljive. Dobijeni rezultati imaju primenu za određivanje verovatnoće otkaza i verovatnoće greške bežičnog komunikacionog digitalnog sistema koji koristi selektivnu diverziti tehniku sa dva ulaza, da se smanji uticaj Nakagami- m fedinga na performanse sistema [54], [60], [76], [80], [103]. Na isti način može se odrediti statističke karakteristike tri korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Kvadrat svake od njih se predstavlja kao suma $2m$ kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih. Na osnovu korelacione matrice može da se odredi združena gustina verovatnoće za zavisne Gausove slučajne promenljive, združena karakteristična funkcija

može da se odredi pomoću združene gustine verovatnoće. Združena karakteristična funkcija tri korelisane Nakagami- m slučajne promenljive se dobija stepenovanjem sa $2m$ združene karakteristične funkcije kvadrata tri Gausove slučajne promenljive. Inverznom transformacijom se dobija združena gustina verovatnoće tri korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Odgovarajućom transformacijom se dobija združena gustina verovatnoće tri korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi združena karakteristična funkcija, združena kumulativna verovatnoća, kapacitet kanala, moment i centralni moment od tri korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Dobijeni rezultati mogu da se upotrebe za analizu performansi bežičnog kanala koji koristi selektivni prijemnik sa tri ulaza za smanjenje uticaja Nakagami- m fedinga na verovatnoću greške i verovatnoću otkaza. Posebno može se analizirati kvadrat Nakagami- m slučajne promenljive. Kvadrat Nakagami- m slučajne promenljive je snaga Nakagami- m slučajne promenljive. Transvornacionom metodom se dobija gustina verovatnoće trenutne snage Nakagami- m anvelope. Pomoću ove gustine verovatnoće dobija karakteristična funkcija trenutne snage, kumulativna verovatnoća trenutne snaga i momenti trenutne snage. Od momenta mogu da se odrede prvi moment, drugi moment i varijansa trenutne snage. Transformacionom metodom može da se odredi združena gustina verovatnoće trenutne snage i prvog izvoda trenutne snage. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka slučajnog procesa snage Nakagami- m anvelope. Transformacionom metodom može da se odredi združena gustina verovatnoće dve trenutne snage Nakagami- m anvelope, a takođe i združena gustina verovatnoće tri trenutne snage Nakagami- m anvelope. Takođe, može da se odredi združena gustina verovatnoće n korelisanih Nakagami- m slučajnih promenljivih sa proizvoljnom eksponencijalnom i linearnom korelacionom matricom. Svaki element korelacione matrice jednak je srednjoj vrednosti proizvoda dve korelisane Nakagami- m slučajne promenljive. Može takođe da se odredi združena gustina verovatnoće kvadrata Nakagami- m slučajnih promenljivih koji se dobijaju stepenovanjem Nakagami- m slučajne promenljive sa proizvoljnim stepenom sa $2/\alpha$. Za ovu slučajnu promenljivu može da se izračuna gustina verovatnoće, karakteristične funkcije i momenti. Takođe, može da se odredi združena gustina verovatnoće stepenovane Nakagami- m slučajne promenljive i njenog prvog izvoda. Može da se odredi i srednji broj osnih preseka od stepenovane Nakagami- m slučajne promenljive. Može se odrediti združena gustina verovatnoće dve stepenovane Nakagami- m slučajne promenljive [20], [28], [38], [53], [60], . U literature je

formirana slučajna promenljiva Nakagami- m *Nakagami- m . Ova slučajna promenljiva se može dobiti kao proizvod dve Nakagami- m slučajne promenljive. Ova raspodela ima dva parametra m_1 i m_2 . Za $m_1=1$, Nakagami- m *Nakagami- m raspodela redukuje ka Rejljeva*Nakagami- m raspodela, a za $m_1=1$ i $m_2=1$ od Nakagami- m *Nakagami- m raspodele se izvodi Rejljeva*Rejljeva raspodela. Kada m_1 ide ka beskonačnosti onda Nakagami- m *Nakagami- m feding kanal postaje Nakagami- m kanal, a kada m_1 i m_2 idu ka beskonačnosti onda Nakagami- m *Nakagami- m feding kanal postaje kanal bez prisustva fedinga. Nakagami- m *Nakagami- m raspodela opisuje anvelopu signala u $M2M$ feding kanalima u $M2M$ kanalima sa dve sekcije. Uslučaju da je u obe sekcije prisutan Nakagami- m feding onda je signal na ulazu jednak proizvodu dve Nakagami- m slučajne promenljive. Može se formirati slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu tri Nakagami- m slučajne promenljive. Ova raspodela je označena sa Nakagami- m *Nakagami- m *Nakagami- m . Ova raspodela ima primenu u $M2M$ kanale sa relejem [9].

Nakagami- q raspodela može da se primeni da opiše anvelopu signala u feding kanalima gde nema dominantne komponente i kada nepostoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Polje rasipanja je homogeno i postoji veliki broj sketering komponenti. Kanal omogućava formiranje jednog klastera i važi centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i kvadraturi. Nema promene srednje snage odnosno nije prisutan efekat senke. Snage komponenti u fazi i komponenti u kvadraturi su različite odnosno signal ne slabi podjednako na sve komponente u kvadraturi [55]. Histogram Nakagami- q slučajnog procesa ima dve Gasove slučajne promenljive sa srednjim snagama nula i sa različitim varijansama. Za ovako definsiani uskopojansi slučajni proces može da se odredi gustina verovatnoće anvelope. Ova gustina verovatnoće je Nakagami- q raspodela. Pomoću ove gustine verovatnoće može da se odredi karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća, kapacitet kanala i moment Nakagami- q slučajne promenljive. Može da se odredi prvi moment, drugi moment i varijansa Nakagami- q slučajne promenljive. Takođe, moguće je odrediti iznos fedinga koji je definisan kao količnik varijanse i kvadrata srednje vrednosti. Nakagami- q slučajni vektor se formira na sledeći način. Formiraju se dva nezavisna Gausova vektora. Ovi vektori se množe sa dve različite konstante. Zatim se ovako dobijeni vektori kvadriraju i sabiraju a dobijeni zbir se korenuje. Članovi ovako dobijenog vektora su uzorci Nakagami- q slučajnog procesa. Može da se odredi histogram i kumulativna verovatnoća Nakagami- q slučajnog procesa. Može da se aproksimativno odredi i

momenti i srednji broj osnih preseka. Tačnost ove aproksimacije se povećava sa povećanjem dužine vektora. Transformacionom metodom može da se izračuna združena gustina verovatnoće Nakagami- q slučajne anvelope i njegovog prvog izvoda. Koristi se pravilo da je kvadrat Nakagami- q slučajne promenljive jednak zbiru dve nezavisne Gausove slučajne promenljive sa srednjim vrednostima nula i sa različitim varijansama. Takođe, transformacionom metodom određuje se združena gustina verovatnoće dve korelisane Nakagami- q slučajne promenljive i tri korelisane Nakagami- q slučajne promenljive. Mogu se razmatrati i statističke karakteristike za n nezavisnih Nakagami- q slučajnih promenljivih [5], [71].

Vejbulova slučajna promenljiva opisuje anvelopu signala u kanalima gde postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. U kanalima se formira samo jedan klaster. Polje rasipanja je nehomogeno i postoji mali broj sketering komponenti tako da se ne može primeniti centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i zbir komponenti u kvadraturi [49], [55]. Vejbulova slučajna promenljiva se dobija stepenovanjem Relijeve slučajne promenljive i Vejbulov slučajni proces se dobija stepenovanjem Relijevoeg slučajnog procesa. Pomoću ove definicije dobija se Vejbulova gustina verovatnoće. Transformacionom metodom se dobija Vejbulova karakteristična funkcija, Vejbulova kumulativna verovatnoća i Vejbulovi momenti. Takođe, mogu da se odrede verovatnoća otkaza, verovatnoća greške i kapacitet kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu sa Vejbulovim fadingom. Takođe, transformacionom metodom određuje se združena gustina verovatnoće Vejbulove slučajne promenljive i prvog izvoda Vejbulove slučajne promenljive. Pomoću ove gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka Vejbulovog slučajnog procesa [62], [73], [101]. Vejbulov slučajni vektor formira se na sledeći način. Prvo se formiraju dva Gausova nezavisna vektora sa srednjim vrednostima nula i sa jednkim varijansama. Oba vektora se pomnože sa istom konstantom koja je srazmerna varijansi. Vektori se kvadriraju i sabiraju. Od dobijenog vektora se odredi kvadratni koren. Ovako je dobijen Relijev vektor. Vejbulov vektor se dobija stepenovanjem Relijevoeg vektora. Za ovaj vektor se može odrediti histogram, kumulativna verovatnoća, moment i srednji broj osnih preseka Vejbulovog slučajnog procesa. Vejbulova slučajna promenljiva ima parametar α koji je u relaciji sa nelinearnošću kanala. Za $\alpha=2$ Vejbulov fading kanal prelazi u Relijev kanal, a kada α ide ka beskonačnosti Vejbulov fading kanal postaje kanal bez prisustva fadinga.

α - μ slučajna promenljiva može da se primeni da opiše amplitude signala u kanalima sa fadingom gde nepostoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika, a polje dozvoljava prostirnje signala sa više klastera. Smatra se da je polje nehomogeno tako da nevaži centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i zbir komponenti u kvadraturi. Snaga signal je konstantna, a snaga komponenti u fazi i kvadraturi su iste [55], [100]. α - μ slučajna promenljiva se dobija stepenovanjem Nakagami- m slučajne promenljive i α - μ slučajni proces se dobija stepenovanjem Nakagami- m slučajnog procesa. Pomoću ove definicije se dobija α - μ gustina verovatnoće, α - μ karakteristična funkcija, α - μ kumulativna verovatnoća i α - μ momenti. Na ovaj način mogu da se odrede prvi moment, drugi moment i varijansa α - μ slučajnog procesa. Transformacionom metodom može da se odredi združena gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive. Kao i u predhodnim slučajevima pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka α - μ slučajnog procesa [5], [16], [48], [100]. α - μ slučajni vektor se formira na sledeći način. Prvo se formiraju $2m$ nezavisnih Gausovih vektora sa srednjim snagama nula i sa istim varijansama. Ovaj vektor se pomoži sa konstantom, zatim se kvadriraju i saberu se. Iz dobijenog vektora se nađe kvadratni koren. α - μ slučajni vektor se dobije stepenovanjem sa $2/\alpha$ Nakagami- m slučajnog vektora. Na ovaj način se dobija α - μ slučajni vektor. Može da se odredi histogram ovog vektora, karakteristična funkcija ovog vektora i momenti ovog vektora. Transformacionom metodom može da se odredi združena gustina verovatnoće dve korelisane α - μ slučajne promenljive. Pomoću ove dve slučajne promenljive može da se odredi združena karakteristična funkcija dve α - μ slučajne promenljive i združena kumulativna verovatnoća dve α - μ korelisane slučajne promenljive. Takođe, može da se odredi združena gustina verovatnoće tri korelisane α - μ slučajne promenljive. α - μ raspodela ima dva parametra. Parametar α je u relaciji sa nelinearnošću sistema, a μ je u relaciji sa brojem klastera. α - μ je generalna raspodela i iz nje se mogu dobiti Relijeva raspodela, Vejbulova raspodela i Nakagami- m raspodela kao specijalni slučajevi. Za $\alpha=2$ iz α - μ raspodele se dobija Nakagami- m raspodela, a za $\mu=1$ iz α - μ raspodele nastaje Vejbulova raspodela. Za $\alpha=2$ i $\mu=1$, α - μ raspodela se svodi se na Relijevu raspodelu [16], [18], [40], [41], [82], [84], [100].

Log-normalna raspodela se koristi da opiše srednju snagu anvelope signal u fading kanalu kada postoji efekat senke. Log-normalna slučajna promenljiva se dobija nelinearnom transformacijom Gausove slučajne promenljive. Iz ove definicije može da se odredi gustina

verovatnoće, združene gustine verovatnoće i prvog izvoda, kao i združene gustine verovatnoće dve Log-normalne slučajne promenljive. Takođe, može da se odredi i združena gustina verovatnoće n Log-normalnih slučajnih promenljivih koje su korelisane. Pomoću gustine verovatnoće Log-normalne slučajne promenljive određuje se karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća i momenti Log-normalne slučajne promenljive. Na osnovu združene gustine verovatnoće Log-normalne slučajne promenljive i prvog izvoda Log-normalne slučajne promenljive može da se odredi srednji broj osnih preseka Log-normalne slučajne promenljive. Pomoću združene gustine verovatnoće dve Log-normalne slučajne promenljive može da se odredi združena karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća i produktni moment za dve Log-normalne slučajne promenljive. Log-normalni slučajni vektor može da se formira na sledeći način. Prvo se formiraju Gausovi vektori sa srednjim vrednostima nula i sa jednakim varijansama. Gausovi vektori se pomnože sa odgovarajućom konstantom i svakom članu vektora se takođe doda konstanta. Zatim se formiraju novi vektori čiji je svaki član jednak eksponentu odgovarajućeg člana Gausovog vektora. Na ovaj način se dobija vektor čiji su članovi uzorci Log-normalnog slučajnog procesa [24], [42], [69].

Gama raspodela primenjuje se da opiše snaga anvelope signala u kanalima gde je prisutan efekat senke. Snaga anvelope je slična u kanalima gde se prisustvo efekta senke opisuje i Log-normalnom raspodelom. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je tačnije da se snaga anvelope opiše Log-normalnom raspodelom. Za verovatnoću greške i verovatnoću otkaza složenije se snaga anvelope opisuje Log-normalnom raspodelom. Kada se snaga anvelope opisuje Gama raspodelom izrazi za verovatnoću otkaza i verovatnoću greške se dobijaju u zatvorenom obliku. Pomoću Gama gustine verovatnoće može da se odredi karakterična funkcija, kumulativna verovatnoća i momenti Gama slučajne promenljive. Uzorci Gama slučajnog procesa mogu se dobiti kvadriranjem uzoraka Nakagami- m slučajnog procesa. Pomoću ove definicije može da se odredi združena gustina verovatnoće dve korelisane Gama slučajne promenljive i združena gustina verovatnoće dve Gama slučajne promenljive i prvog izvoda Gama slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka Gama slučajnog procesa. Gama slučajni vektor formira se na sledeći način. Prvo se formiraju $2m$ Gausovih vektora sa srednjim vrednostima nula i sa jednakim varijansama. Ovi vektori se pomnože sa konstantom. Zatim se vektori kvadriraju i sabiraju. Ovako dobijeni vektor je Gama slučajni vektor. Može da se odredi histogram ovog vektora, kumulativna verovatnoća Gama

slučajnog vektora i da se aproksimativno izračunaju momenti i srednji broj osnih preseka Gama slučajnog procesa. Tačnost ove aproksimacije se povećava sa povećanjem dužine vektora. Može da se formiraju slučajne promenljive kada je jednak proizvod dve Gama slučajne promenljive. Ova slučajna promenljiva se označava sa $\text{Gama} * \text{Gama}$. Može da se odredi gustina verovatnoće ove slučajne promenljive. Ova slučajna promenljiva se koristi da opiše anvelopu optičkog signala kada se za pronos koristi slobodan prostor. Određuje se karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća i moment $\text{Gama} * \text{Gama}$ slučajne promenljive. Takođe, može da se odredi združena gustina verovatnoće $\text{Gama} * \text{Gama}$ slučajne promenljive i prvog izvoda $\text{Gama} * \text{Gama}$ slučajne promenljive [34], [39], [55], [68], [74], [90], [94].

κ - μ slučajna promenljiva opisuje anvelopu signala u kanalima gde mogu da se formiraju jedna ili više dominantnih komponenata, a signal može da se prostire po više klastera. U svakom klasteru može ali i ne mora da bude dominantna komponenta. Polje rasipanja je homogeno i postoji dovoljno veliki broj sketerinig komponenti tako da se može primeniti centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i zbir komponenti u kvadraturi. Stoga κ - μ slučajna anvelopa je konstantna i snage komponenti u fazi i kvadraturi su jednake. κ - μ raspodela ima dva parametra. Parametar κ je Rajsov faktor. Rajsov faktor je definisan kao odnos snage dominantne komponente i snage sketering komponente. Parametar μ je u relaciji sa brojem klastera u propagacionom kanalu. κ - μ raspodela je generalna raspodela i iz nje se mogu izvesti Relijeva raspodela i Nakagami- m raspodela. Za $\mu=1$, κ - μ raspodela prelazi u Relijevu raspodelu, a za $\kappa=0$, κ - μ raspodela prelazi u Nakagami- m raspodelu. Za $\kappa=0$ i $\mu=1$, Relijeva raspodela može biti izvedena iz κ - μ raspodele. Kada κ ide ka beskonačnosti, κ - μ feding kanal prelazi u kanal bez prisustva fedinga, a takođe i kada μ ide ka beskonačnosti, κ - μ feding kanal prelazi u kanal bez prisustva fedinga. Kada Rajsov faktor raste oštrina fedinga opada odnosno oštrina fedinga opada kada raste snaga dominantne komponente i kada opada snaga sketering komponente [14], [55], [72]. Kvadrat κ - μ slučajne promenljive može da se napiše kao zbir 2μ kvadriranih nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa jendakim varijansama. Pomoću ove definicije može da se izračuna gustina verovatnoće, karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća, kapacitet kanala i momenti κ - μ slučajne promenljive. Može da se odredi prvi moment ili srednja vrednost κ - μ slučajne promenljive, drugi moment ili srednja kvadratna vrednost κ - μ slučajne promenljive, treći moment ili srednja kubna vrednost κ - μ slučajne promenljive i drugi centralni moment ili varijansa κ - μ slučajne promenljive. Može da se pokaže da prvi izvod κ - μ slučajne promenljive

ima Guasovu gutschinu verovatnoće. Takođe, može da se pokaže da κ - μ slučajne promenljive i prvi izvod od κ - μ slučajne promenljive su međusobno nezavisni. Na osnovu ovoga je združena gustina κ - μ slučajne promenljive i prvog izvoda κ - μ slučajne promenljive jednaka proizvodu gustina verovatnoća κ - μ slučajne promenljive i Gausove gustine verovatnoće. Varijansa Gausove raspodele je srazmerna sa maksimalnom Doplerovom frekvencijom i srednjom snagom κ - μ anvelope, a obrnuto srazmerna sa Rajsovim faktorom i parametrom μ . Pomoću ove gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka κ - μ slučajnog procesa. Pomoću srednjeg broja osnih preseka može da se izračuna srednje vreme trajanja otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu sa κ - μ fadingom. Srednje vreme trajanja otkaza se računa kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka. Verovatnoća otkaza se računa kao verovatnoća da je signal ispod određenog praga [5], [6], [7]. U interferencijom ograničenoj okolini je snaga međukanalne interferencije znatno veća od snage šuma tako da se uticaj Gausovog šuma na verovatnoću greške i verovatnoću otkaza može zanemariti. Kod ovih sistema je odnos anvelope signala i međukanalne interferencije važna mera performansi sistema. Kod ćeliskih sistema koji se koriste za povećanje kapaciteta kanala, sa povećanjem broja ćelija raste kapacitet kanala ali raste i međukanalna interferencija [26], [27]. Zbog ovoga su ove mreže interferencijom ograničene. Mogu da se formiraju dve κ - μ slučajne promenljive. Svake od ove dve nezavisne κ - μ slučajne promenljive može se predstaviti kao zbir 2μ kvadriranih Gausovih slučajnih promenljivih. Može se izračunati združena karakteristična funkcija za dve korelisane kvadrirane Gausove slučajne promenljive. Združena karakteristična funkcija dve kvadrirane κ - μ slučajne promenljive se dobija stepenovanjem sa 2μ predhodno dobijene združene karakteristične funkcije. Inverznom Furijevom transformacijom može se dobiti združena gustina verovatnoće dve korelisane κ - μ slučajne promenljive, a transformacijom metodom može se dobiti združena gustina verovatnoće dve κ - μ slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se izračunati združena karakteristična funkcija, združena kumulativna verovatnoća i združeni momenti dve korelisane κ - μ slučajne promenljive. Svaka od ovih kvadriranih κ - μ slučajnih promenljivih može da se napiše kao zbir 2μ kvadriranih Gausovih slučajnih promenljivih [6], [14], [50], [81], [85]. Svake tri Gausove promenljive u vertikali su korelisane i imaju odgovarajuću korelacionu matricu. Korelaciona matrica može da bude promenljiva, a često se koristi eksponencijalna korelaciona matrica i relaciona korelaciona matrica. Pomoću korelacione matrice može se odrediti združena gustina verovatnoće tri Gausove

slučajne promenljive. Transvornacionom metodom može se odrediti združena gustina verovatnoće tri korelisane κ - μ slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti združena karakteristična funkcija, združena kumulativna verovanoća i produktni momenti tri korelisane κ - μ slučajne promenljive. Ovakve statističke karakteristike se koriste za analizu perfomasi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste selektivne diverziti tehniku sa tri antene za smanjenje uticaja κ - μ fedinga na performanse sistema. Važno je odrediti gustinu verovatnoće zbira dve κ - μ slučajne promenljive. Ovo se dobija rešavanjem konvolucionog integrala. Pomoću ove gustine verovatnoće može da se odrediti karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća, momenti i centralni momenti zbira dve κ - μ slučajne promenljive. Pošto se odredi prvi moment, drugi moment i varijansa zbira dve κ - μ slučajne promenljive. Može se razmatrati i prizvod dve κ - μ slučajne promenljive. Ova se raspodela označava kao $(\kappa-\mu)*(\kappa-\mu)$. Može se odredi gustina verovatnoće, karakteristična funkcija i moment $(\kappa-\mu)*(\kappa-\mu)$ slučajne promenljive. Raspodela $(\kappa_1-\mu_1)*(\kappa_2-\mu_2)$ ima četiri parametra. Za razne verdnosti parametra $\kappa_1, \mu_1, \kappa_2$ i μ_2 mogu se dobiti razne slučajne promenljive, a neke od njih su: Nakagami- m *Nakagami- m , Rajs*Rajs i Rejli*Rejli. Slučajni κ - μ vektor se formira na sledeći način. Koristi se pravilo da je kvadrat κ - μ slučajne promenljive jednak zbiru kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa istim varijansama. Formiraju se 2μ Gausovih vektora, proizvoljne dužine sa srednjom verednostima nula i sa jediničnom varijansom. Svi ovi vektori se pomnože sa konstantom koja je srazmerna sa varijansom. U klasteru gde postoji dominantna komponenta se dodaje srednja vrednost. Zatim se svi gausovi vektori kvadriraju, a nakon toga se formira novi vektor koji je jednak zbiru kvadriranih Gausovih vektora. Od ovako dobijenog vektora se odredi kvadratni koren. Članovi ovog vektor su uzorci κ - μ slučajnog procesa. Od ovakvog vektora može da se odredi histogram. Normalizovan histogram je srazmeran sa κ - μ gustinom verovatnoće. Takođe, može da se odredi kumulativna verovatnoća κ - μ slučajnog procesa i mogu da se odrede aproksimativno prvi moment, drugi moment i varijansa. Aproksimativno može da se odredi i srednji broj osnih preseka κ - μ slučajnog procesa. Kao i u predhodnim primerima tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine vektora [50], [61], [70], [79], [81].

η - μ slučajna promenljiva opisuje envelopu signala u kanalima u kojima se ne može formirati dominantna komponenta, a signal se prostire preko više klastera. Polje je homogeno jer postoji veliki broj sketering komponenti, tako da važi centralna granična teorema za zbir

komponenti u fazi i za zbir komponenti u kvadraturi. Snaga anvelope signala je konstantna i efekat senke se može zanemariti. Snage komponente u fazi i kvadraturi su različite [55], [72]. Kvadrat η - μ slučajne promenljive može se napisati kao zbir kvadrata 2μ kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa srednjim vrednostima nula. Prvih μ Gausovih slučajnih promenljivih imaju varijansu σ_1^2 , a drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih ima varijansu σ_2^2 . Na osnovu ove relacije može se odrediti gustina verovatnoće, karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća i momenti η - μ slučajne promenljive. Može se odrediti prvi izvod od η - μ slučajne promenljive i odrediti združena gustina verovatnoće od η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda od η - μ slučajne promenljive. Moguće je odrediti srednji broj osnih preseka od η - μ slučajnog procesa. Može se razmatrati bežični digitalni telekomunikacioni sistem koji radi sa η - μ fadingom, za ovaj sistem može se odrediti verovatnoća otkaza, verovatnoća greške i kapacitet kanala. Verovatnoća greške se može odrediti za koherentne i nekoherentne modulacione šeme. Može se odrediti srednje vreme trajanja otkaza kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka [19], [75], [78], [97]. Može se odrediti η - μ slučajni vektor, η - μ - q slučajni vektor, α - η - μ slučajni vektor i α - η - μ - q slučajni vektor. Na osnovu η - μ raspodele formirane su η - μ - q raspodela, α - η - μ raspodela i α - η - μ - q raspodela. η - μ - q raspodela opisuje anvelopu signala kada nema dominantne komponente, dozvoljava prostiranje signala preko više klastera, srednja snaga anvelope je proizvoljna i ima Gama raspodelu, sredina je linearna, a snage komponenti u fazi i kvadraturi su različite. α - η - μ raspodela opisuje anvelopu signala u kanalu gde postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika, sredina je nelinearna odnosno broj sketering komponenti je mali tako da se ne može primeniti centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i zbir komponenti u kvadraturi, kanal dozvoljava prostiranje signala sa više klastera i snaga komponenti u fazi i kvadraturi su različite, a srednja snaga signala je konstantna [24], [75]. α - η - μ - q raspodela opisuje anvelopu signala u kanalima gde nema optičke vidljivosti, signal se prostire sa više klastera, okolina je nelinearna, polje rasipanja je nehomogeno i postoji nedovoljan broj komponenti tako da se ne može primeniti centralna granična teorema za zbir komponenti u fazi i za zbir komponenti u kvadraturi, srednja snaga anvelope je promenljiva i ima Gausovu raspodelu i snage komponenti u fazi i kvadraturi su različite. η - μ slučajni vektor se formira na sledeći način. Formiraju se 2μ nezavisnih Gausovih slučajnih vektora proizvoljne dužine sa srednjim vrednostima nula i sa jednakim varijansama. Prvih μ Gausovih se pomnoži sa konstantom k_1 , a drugi μ Gausovih se pomnoži sa konstantom k_2 . Ovako dobijeni vektori se kvadriraju, a zatim se

sabiraju i odredi kvadratni koren. Članovi ovako dobijenog vektora su uzorci $\eta-\mu$ slučajnog procesa. $\eta-\mu-q$ slučajni vektor se određuje na sledeći način. Prvo se formira Gama vektor. Gama vektor je kvadrat Nakagami- m vektora. Formiraju se 2μ Gausovih vektora, pomnože se sa konstantom, zatim se kvadriraju i sabiraju. Dobijeni vektor je kvadrat Nakagami- m vektora odnosno Gama vektor. Zatim se na pokazani način formira $\eta-\mu$ svektor. $\eta-\mu-q$ vektor se dobija na taj način što se $\eta-\mu$ vektor kvadrira, pomoži sa Gama vektor i na ovako dobijni vektor se odredi kvadratni koren. $\alpha-\eta-\mu-q$ vektor se određuje na sledeći način. Na opsiani način se formira $\eta-\mu-q$ vektor. Zatim se formira novi vektor čije se svaki član dobija stepenovanjem odgovarajućeg člana $\eta-\mu-q$ vektora sa $2/\alpha$. Članovi ovako dobijenog vektora su uzorci $\alpha-\eta-\mu-q$ slučajnog procesa [28], [35], [59], [78], .

U kanalima je često prisutan spori i brzi feding. KG raspodela opisuje anvelopu signala kada je prisutan Nakagami- m feding, a prisutan je i spori feding tako da je srednja snaga promenljiva i ima Gama raspodelu. Odgovarajućim usrednjavanjem dobija se gustina verovatnoće KG slučajne promenljive. Može se odrediti kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti KG slučajne promenljive. Može se izračunati gustina verovatnoće zbira dve KG slučajne promenljive, proizvoda dve KG slučajne promenljive, količnika dve KG slučajne promenljive, maksimuma dve KG slučajne promenljive i minimum dve KG slučajne promenljive. U KG feding kanalu ne može se formirati dominantna komponenta jer ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Kada postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i kada je prisutan i brzi i spori feding onda se anvelopa signala opisuje sa Rajsovom raspodelom, kada je promenljiva snaga sketering komponenti ili snaga dominantne komponente promenljiva je totalna snaga. U ovom slučaju snaga dominantne komponente ili sketering komponenta imaju Gama raspodelu. KG raspodela opisuje anvelopu signala kada je prisutn Rajsov feding, a srednja snaga je promenljiva i ima Gama raspodelu. Dobijeni rezultati performanse sistema su dobijeni u zatvorenom obliku kada se koristi KG raspodela ali statistički rezultati pokazuju tačnost rezultata kada je anvelopa signala opisana sa slučajnom raspodelom [86], [96].

Koriste se prostorne diverziti tehnike za smanjenje uticaja brzog i sporog fedinga na performanse sistema. Najveću primenu ima prostorna diverziti tehnika sa više antena na ulazu u prijemnik. Signali sa antena se kombinuju na različite načine. Tehnike kombinovanja koje se koriste za smanjenje uticaja na performanse sistema su MRC (maximum ratio combining), EGC

(equal gain combining), SC (selection combining) i SSC (switch and stay combining) [55], [72]. MRC daju najveći diverziti dobit ali su ovi kombineri veoma skupi za praktičnu realizaciju. MRC prijemnici mogu da imaju dva, tri ili više ulaza. Ako je snaga šuma ista na svim ulazima, onda je kvadrat signala na izlazu jednak zbiru kvadrata signala na ulazima. Raspodelu koju signal ima na ulazu u MRC prijemnik, takođe ima i na izlazu iz MRC prijmnika, srednje snage se uvećavaju srazmerno brojem ulaza. Pomoću ove definicije može da se odredi gustina verovatnoće, karakteristična funkcija, kumulativna verovatnoća i moment signala na izlazu iz MRC kombinera. Takođe, može da se odredi združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika i srednjeg broja osnih preseka slučajnog procesa signala na izlazu iz MRC prijemnika. Slučajni vektor signala na izlazu iz MRC dobija se na sledeći način. Neka MRC prijemnik ima dva ulaza. Na primer na svakom od ulaza neka je prisutan Nakagami- m feding. Na već opisani način se formiraju dva Nakagami- m vektora. Članovi vektora su uzorci slučajnog procesa signala na izlazu iz MRC prijemnik sa dva ulaza na kojima se pojavljuje nezavisan Nakagami- m feding. Za ovako dobijeni vektor se može odrediti histogram, kumulativna verovatnoća, srednji broj osnih preseka i informacioni kapacitet kanala. Moge se izračunati statističke karakteristike signala na izlazu iz EGC prijemnika. Signal na izlazu EGC prijemnika jednak je zbiru anvelope signala na njegovim ulazima. EGC prijemnici ne daju tako dobre rezultate kao MRC prejemnici ali je jednostavniji za praktičnu realizaciju. Vektor signala na izlazu iz EGC kombiner se dobija kao zbir vektora signala na njegovim ulazima. SC prijemnik se koristi da se smanji uticaj fedinga na performanse sistema. Signal na izlazu iz SC prijemnik jednak je maskimumu signala na njegovim ulazima. SC prijemnik može da ima dva, tri ili više ulaza. SC prijemnik je jednostavnije za praktičnu realizaciju od MRC i EGC prijemnika i zbog toga ima veliku primenu. SC prijemnik nema tako dobar diverziti dobitak kao MRC prijemnik i EGC prijemnik. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnik jednak je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na njegovim ulazima. Na osnovu ovog pravila može da se odredi gustina verovatnoće, karakteristična funkcija i kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika. Takođe, može da se odredi prvi moment, drugi moment i varijansa signala na izlazu iz SC prijemnika. U interfrencom ograničenom kanalu na ulazu u SC prijemnik se pojavljuje korisni signal i međukanalna interferenca. Postoje tri algoritma rada. Prema prvom algoritmu SC prijemnik prosleđuje na izlazu onaj signal na ulazu na kojem je maksimalna anvelope korisnog signala. Prema drugom algoritmu SC prijemnik prosleđuje onaj signal na

ulazu na kome je maksimalna totalna snaga. Prema trećem algoritmu SC prijemnik prosleđuje onaj signal na ulazu na kome je odnos snaga korisnog signala i interference najveći. Najbolje rezultate daje kada se primenjuje prvi algoritam. Na ulazima u SC prijemnik moguća je prisutnost Relijevog, Rajsovog ili nekog drugog fedinga. Verovatnoća otkaza SC prijemnika, verovatnoća greške i informacioni kapacitet kanala mogu se izračunati. Slučajni vektor signala na ulazu u SC prijemnik se dobija kao maksimum vektora signala na njegovim ulazima. Takođe, može da se odredi srednje vreme trajanja otkaza SC prijemnika kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka. Signali na ulazu mogu da budu korelisani ili nekorelisani. Verovatnoća otkaza i verovatnoća greške su najmanje kada su signali na ulazima nekorelisani. Koeficijent korelacije zavisi od rastojanja između antena. Mogu se koristiti i kombinacije MRC i SC prijemnika, kao i SC i EGC prijemnika. Iz ove kombinacije je moguće odrediti gustinu verovatnoću, kumulativnu verovatnoću, kapacitet kanala, karakteristična funkciju i momente. SSC je najjednostavniji za praktičnu implementaciju ali daje manji diverziteti dobitak od prethodno navedenih tehnika. Analiza performansi sistema primenom diverziteti tehnike u prisustvu fedinga sa ili bez interferencije su razmatrane i publikovane u radovima [4]-[8], [12], [15], [18], [19], [21], [23], [25], [35], [36], [45], [46], [51], [54], [56], [62], [76], [78], [83], [87], [88], [95].

Makrodiverziteti tehnika se koristi da se istovremeno smanji uticaj brzog i sporog fedinga na performanse sistema. Makrodiverziteti sistem ima makrodiverziteti prijemnik i dva, tri ili više mikrodiverziteti prijemnika. Njačešće se koristi makrodiverziteti SC prijemnik, a mikrodiverziteti prijemnici može da bude SSC, SC, EGC ili MRC. Makrodiverziteti SC prijemnik izdvaja mikrodiverziteti prijemnik sa najvećom snagom envelope na ulazima da omogući servis prema korisniku. Na ovaj način se redukuje uticaj sporog fedinga na performanse sistema. Mikrodiverziteti SC prijemnik izdvaja granu sa najvećim korisnim signalom da obzbedi servis mobilnom pretplatniku. Na ovaj način se redukuje uticaj brzog fedinga na performanse sistema [55], [68]. Analiza performansi makrodiverziteti sistema u prisustvu fedinga sa ili bez interferencije i efekta senke su razmatrane i publikovani u radovima [1], [16], [22], [34], [38], [39], [44], [52], [57], [66], [67], [70], [73], [77], [79], [85], [89], [90]-[94], [101].

U doktorskoj disertaciji proučavane i analizirane su performanse bežičnog prenosa signala u promenljivom propagacionom okruženju, kao i mogućnost unapređenja nekih od mera performansi prenosa u posmatranom okruženju primenom diverziteti tehnika. U izvesnim

scenarijima bežičnog prenosa na granama diverziti prijemnika se pojavljuje feding koji nije iste prirode, kada se npr. vozovi velikih brzina kreću se u planinskim predelima, podvožnjacima, tunelima itd. U takvim slučajevima je potrebno razmatrati diverziti prijemnik, gde se na jednoj anteni pojavljuje signal izložen dejstvu fedinga sa dominantnom komponentom, a na drugoj anteni signal izložen dejstvu fedinga koji nema dominantnu komponentu.

Istraživanje predstavljeno u ovoj disertaciji biće izvedeno na osnovu naučnih metoda koje uključuju analitičke metode, metode modelovanja i simulacije, kao i statističke metode. Analitičke metode se odnose na funkcionalnu analizu sistema, kao i njegovih kritičnih delova. Pod kritičnim delovima mobilnog telekomunikacion sistema se na prvom mestu podrazumevaju diverziti kombineri, a način njihovog funkcionisanja se može analitički opisati. S' obzirom da funkcije koje opisuju signale na ulazu ne mogu u svim slučajevima biti predstavljene analitičkim izrazima potrebno je pristupiti metodama numeričke simulacije i modelovanja ulaznih signala analitičkim funkcijama. U skladu sa metodologijom statističke teorije telekomunikacija neophodna je primena statističkih metoda u kontekstu predhodno pomenutih problema izučavanja sistema. Statističke metode daju odgovor na pitanja o statističkim karakteristikama signala koji se pojavljuju u odgovarajućem propagacionom okruženju. Statističke karakteristike možemo podeliti u statističke karakteristike prvog i drugog reda, a obadve grupe karakteristika biće detaljno razmotrene za različite uslove prostiranja obrađene u ovoj doktorskoj disertaciji.

U drugoj glavi razmatrani su SC i MRC diverziti prijemnici sa dva i tri ulaza kada se na njihovim ulazima pojavljuje feding različite prirode. Razmatran je SC prijemnik sa dva ulaza kada je na prvom ulazu prisutan Nakagami- m feding, a na drugom ulazu prisutan je α - μ feding. Zatim je razmatran SC prijemnik sa tri ulaza kada je na prvom ulazu prisutan Nakagami- m feding, na drugom ulazu je prisutan Rajsov feding i na trećem ulazu je prisutan Relijev feding. Kao specijalni slučaj razmatran je SC prijemnik sa tri ulaza kada je na prvom ulazu prisutan Rajsov feding, a na drugom ulazu je prisutan Nakagami- m i na trećem ulazu je prisutan α - μ feding. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza su razmatrane i za slučaj kada je na prvom ulazu prisutan Nakagami- m feding i Nakagami- m interferenca, a na drugom ulazu Rajsov feding i Rajsova interferenca, kao i slučaj kada je na ulazu prisutan korisni Rajsov signal i Nakagami- m interferenca. U doktorskoj disertaciji je zatim razmatran MRC prijemnik sa dva ulaza. Na jednom ulazu je prisutan Nakagami- m feding, a na drugom ulazu je prisutan α - μ feding. Zatim je

razmatran MRC prijemnik sa tri ulaza, kada je na prvom ulazu prisutan Nakagami- m feding, na drugom ulazu je prisutan α - μ feding, a na trećem ulazu je prisutan Rjasov feding.

U trećoj glavi formirane su vremenski razlomljive raspodele i dat je opis statističkih karakteristika mobilnih telekomunikacionih sistema. Prvo je razmatran slučaj SC prijemnika sa dva ulaza, kada je na prisutan vremenski razlomljen Rajs/Nakagami- m feding. Nakon toga je razmatran slučaj razlomljene Nakagami- m raspodele i analiza razlomljenog Nakagami- m fedinga. Razmatrane su performanse SC prijemnik sa dva i tri ulaza na kojima je prisutan razlomljena Nakagami- m raspodela u dva i tri trenutka vremena.

U četvrtoj glavi doktorske disertacije razmatran je model makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika. U prvom slučaju razmatran je makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika koji radi u kanalu u kojem je prisutna korelisana Gama senka i brzi α - μ feding na oba mikrodiverziti SC prijemnika. U drugom razmatranom slučaju u kanalu je prisutna korelisana Gama senka dok je na prvom mikrodiverziti SC prijemniku prisutan nezavistan Nakagami- m feding, a na drugom mikrodiverziti SC prijemniku prisutan nezavistan Relijev feding. U trećem slučaju razmatran je makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika. U kanalu je prisutna korelisana Gama senka, dok je na prvom mikrodiverziti SC prijemniku prisutan nezavistan Rjasov feding, na drugom mikrodiverziti SC prijemniku prisutan nezavisatn Nakagami- m feding, a na trećem mikrodiverziti SC prijemniku prisutan nezavistan κ - μ feding. Određene su performanse predloženog sistema, a numerički rezultati su grafički predstavljani i analizirani za različite parametre sistema.

U doktorskoj disertaciji izvršiće se analizu performansi i odrediti informacioni kapacitet bežičnih sistema sa prijemnim diverziti tehnikama u različitim propagacionim okruženjima. Određiće se zavisnost posmatranih standardnih meri performansi mobilnih telekomunikacionih sistema u promenljivim propagacionim okruženjima, od karakterističnih parametara prenosa za posmatrana feding okruženja. Na taj način bi se omogućilo određivanje optimalnih vrednosti parametara sistema kako bi se u posmatranim promenljivim propagacionim okruženjima za date vrednosti nivoa snaga korisnog signala i signala smetnje, dobile veće vrednosti informacionog kapaciteta sistema.

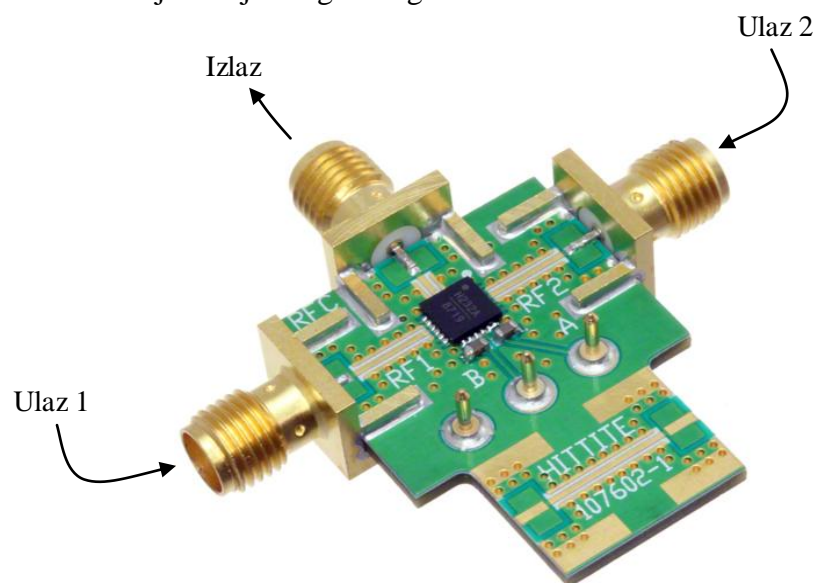
2. PERFORMSE SC I MRC PRIJEMNIK U RAZLIČITIM PROPAGCIONIM OKRUŽENJIMA

Brzi fading ima veliki uticaj na verovatnoću greške bežičnog telekomunikacionog sistema, a takođe i na informacioni kapacitet kanala. Koja će raspodela biti upotrebljena da opiše kanal u prisustvu fadinga zavisi od toga da li postoji dominantna komponenta, da li važi centralna granična teorema ili ima više klastera. Najčešće se upotrebljavaju Relijeva raspodela, Rajsova raspodela, Nakagami- m raspodela, η - μ raspodela, α - μ raspodela i k - μ raspodela [53], [55], [72], [96]. Koriste se razne tehnike kombinovanja da se smanji uticaj brzog fadinga na performanse sistema. Diverziteti tehnike, zbog svojih mogućnosti minimizacije efekata fadinga, s obzirom da je istovremeno slabljenje u istom vremenskom intervalu na dve ili više putanje retka pojava, predstavljaju jedan od najadekvatnijih načina za poboljšanje pouzdanosti prenosa bez povećanja snage prenosa i širine propusnog opsega. S obzirom da je verovatnoća da imamo dva velika slabljenja signala, od dva nekorelisana signala, u bilo kom trenutku mala, efekat fadinga može biti smanjen kombinovanjem signala. Postoje, više tipova kombinovanja, čija se podela u opštem slučaju može izvršiti prema zavisnosti od ograničenja u pogledu kompleksnosti komunikacionog sistema i količine informacije stanja kanala dostupne na prijemniku [55], [72], [96].

Selektivni prijemnik (SC) je najjednostavniji od svih diverziteti prijemnika za praktičnu realizaciju [9], [45], [51], [55]. SC prijemnik može da ima dva, tri ili više ulaza. Za slučaj kada SC prijemnik ima dva ulaza, signal na ulazu jednak je signalu na onom ulazu koji je veći. Gustina verovatnoće signala na izlazu ima dva člana Prvi član jednak je proizvodu gustine verovatnoće signala na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na drugom ulazu. Drugi sabirak jednak je proizvodu gustine verovatnoće signala na drugom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na prvom ulazu. Prvi, drugi i treći moment signala na izlazu iz SC prijemnik mogu se izračunati koristeći gustinu verovatnoće na izlazu iz SC prijemnik. Združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnik i prvog izvoda takođe ima dva člana. Prvi član jednak je proizvodu združene gustine verovatnoće signala na prvom ulazu i njegovog prvog

izvoda i kumulativne verovatnoće signala na drugom ulazu. Drugi član jednak je proizvodu združene gustine verovatnoće signala na drugom ulazu i njegovog prvog izvoda i kumulativne verovatnoće signala na prvom ulazu. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnik jednak je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na njegovim ulazima. Može i pomoću ovako dobijene kumulativne verovatnoće da se odredi gustina verovatnoće signala na izlazima iz SC prijemnik sa dva ulaza zbog toga što su kumulativne verovatnoće i gustine verovatnoće Furijev transformacioni par. Na sličan način može da se razmatra i SC prijemnik sa tri ulaza. Na Slici 2.1. prikazano je jedno hardversko rešenje komercijalnog SC kombinera sa dva ulaza.

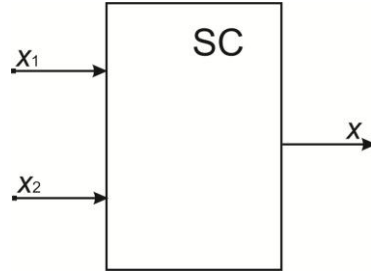
U ovom delu doktorske disertacije razmatra se i MRC prijemnik sa dva i tri ulaza. MRC prijemnik daje najbolje rezultate ali je najkompleksniji za praktičnu realizaciju [6], [7], [18], [19], [21], [96]. Ovo je zbog toga što je potrebno da MRC prijemnik proceni amplitudu i fazu dobijenog signala, a za ovo je potrebno proveriti implusa na svakoj grani kombinera. 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. Dobijeni rezultati u doktorskoj disertaciji mogu se primeniti pri projektovanju i analizi performansi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste SC i MRC diverziti tehniku da se smanji uticaj brzog fedinga.



Slika 2.1. Primer razvojnog sistema jednog komercijalnog SC kombinera.

2.1. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu Nakagami- m i α - μ fedinga

Razmatra se SC prijemnik sa dva ulaza. Na jednom ulazu prisutan je Nakagami- m feding, a na drugom ulazu je prisutan α - μ feding. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 2.2.



Slika 2.2. SC prijemnik sa dva ulaza.

Signali na ulazima su označeni sa x_1 i x_2 . Signal na izlazu je označen sa x . Nakagami- m raspodela opisuje anvelopu signala u linearnim sredinama, a α - μ raspodela opisuje anvelopu signala u sredinama u kojima polje rasipanja nije homogeno. Gustina verovatnoće Nakagami- m slučajne promenljive x_1 je [53], [55]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 \geq 0. \quad (2.1)$$

gde je m_1 parametar oštine fedinga, Ω_1 je srednja snaga anvelope. Kumulativna verovatnoća od x_1 se dobija integracijom Nakagami- m gustine verovatnoće [72]:

$$F_{x_1}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2 \right), \quad x_1 \geq 0. \quad (2.2)$$

Moment n -tog reda od x_1 ili srednja n -ta vrednost je jednaka [98]:

$$m_{nx_1} = \overline{x_1^n} = \int_0^\infty dx_1 x_1^n p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \int_0^\infty dx_1 x_1^{2m_1-1+n} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2} = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{\Omega_1}{m_1} \right)^{n/2} \Gamma \left(m_1 + \frac{n}{2} \right). \quad (2.3)$$

Prvi i drugi moment od Nakagami- m slučajne promenljive su:

$$m_1 = \overline{x_1} = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{\Omega_1}{m_1} \right)^{1/2} \Gamma \left(m_1 + \frac{1}{2} \right). \quad (2.4)$$

$$m_2 = \overline{x_1^2} = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \frac{\Omega_1}{m_1} \Gamma(m_1 + 1) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \frac{\Omega_1}{m_1} m_1 \Gamma(m_1) = \Omega_1. \quad (2.5)$$

gde je Ω_1 po definiciji srednja kvadratna vrednost. Prvi moment je srednja vrednost, a drugi moment je srednja kvadratna vrednost. Moment trećeg reda jednak je:

$$m_3 = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{\Omega_1}{m_1} \right)^{3/2} \Gamma\left(m_1 + \frac{3}{2}\right). \quad (2.6)$$

Mogu se formirati relacije između običnih momenata i centralnih momenata.

Varijansa je jednaka razlici srednje kvadratne vrednosti i srednje vrednosti na kvadrat.

Varijansa od x_1 je:

$$\sigma_{x_1}^2 = \overline{x_1^2} - \overline{x_1}^2. \quad (2.7)$$

Združena gustina verovatnoće od Nakagami- m slučajnog procesa i njegovog prvog izvoda se dobija na sledeći način. Kvadrat od Nakagami- m slučajnog procesa jednak je zbiru $2m$ kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih sa srednjim vrednostima nula i sa istim varijansama. Promenljiva x^2 ima χ^2 raspodelu [42]. Na osnovu ovoga x ima Nakagami- m raspodelu:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2m}^2. \quad (2.8)$$

Prvi izvod od x je:

$$\dot{x} = \frac{1}{x} (x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 + \dots + x_{2m} \dot{x}_{2m}). \quad (2.9)$$

Prvi izvod od Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva. Linearna kombinacija Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva. Na osnovu ovog \dot{x} ima Gausovu raspodelu [6]. Srednja vrednost od \dot{x} je [42]:

$$\overline{\dot{x}} = \frac{1}{x} (x_1 \overline{\dot{x}_1} + x_2 \overline{\dot{x}_2} + \dots + x_{2m} \overline{\dot{x}_{2m}}) = 0. \quad (2.10)$$

Srednje vrednosti od Gausovih prvih izvoda su nula: $\overline{\dot{x}_1} = \overline{\dot{x}_2} = \dots = \overline{\dot{x}_{2m}} = 0$.

Varijansa od \dot{x} se dobija kao varijansa svakog sabirka. Varijansa od proizvoda jednaka je proizvodu kvadrata od konstante i varijanse od slučajnog činioca. Na osnovu ovoga je:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} (x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2 \sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + x_{2m}^2 \sigma_{\dot{x}_{2m}}^2). \quad (2.11)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \sigma_{\dot{x}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{x}_{2m}}^2 = 2\pi^2 f_m^2 \sigma^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m_1}$.

Varijansa od izvoda jednaka je proizvodu od $\pi^2 f_m^2$ i standardne divijacije σ^2 , standardna divijacija jednaka je količniku $\frac{\Omega_1}{m_1}$. Zamenom se dobija:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} 2\pi^2 f_m^2 \sigma^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{2m}^2) = \frac{1}{x^2} 2\pi^2 f_m^2 \sigma^2 x^2 = 2\pi^2 f_m^2 \sigma^2. \quad (2.12)$$

Gustina verovatnoće od \dot{x} je Gausova, pošto je \dot{x} linearna kombinacija Gausovih slučajnih promenljivih, gustina verovatnoće od \dot{x} je [42]:

$$p_{\dot{x}}(\dot{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}}^2}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{\sigma_{\dot{x}}^2}}. \quad (2.13)$$

gde je $\sigma_{\dot{x}}^2$ varijansa od Gausove \dot{x} distribucije.

Slučajne promenljive x i \dot{x} su međusobno nezavisne. Ovo se može dokazati numerički. Zbog ovog združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} jednake su proizvodu Nakagami- m slučajne promenljive i Gausove slučajne promenljive.

$$p_{x_1\dot{x}_1}(x_1\dot{x}_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1 x_1^2}{\Omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}^2}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}}. \quad (2.14)$$

Da bi se odredio srednji broj osnih preseka slučajnog procesa treba se odrediti združena gustina verovatnoće od slučajne promenljive i prvog izvoda slučajne promenljive. Srednji broj osnih preseka od x_1 se može izračunati kao srednja vrednost od slučajnog procesa [28]:

$$N_{x_1} = \int_0^\infty d\dot{x}_1 \dot{x}_1 p_{x_1\dot{x}_1}(x_1\dot{x}_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1 x_1^2}{\Omega_1}} \frac{\sigma_{\dot{x}_1}}{\sqrt{2\pi}}. \quad (2.15)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m_1}$.

Slučajna promenljiva x_2 ima α - μ raspodelu, ova raspodela opisuje signal u nelinearnoj i nehomogenoj sredini [48], [55], [100]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} x_2^{\alpha m_2 - 1} e^{-\frac{m_2 x_2^\alpha}{\Omega_2}}, \quad x_2 \geq 0. \quad (2.16)$$

Relacija između x_1 i x_2 je:

$$x_2 = x_1^{2/\alpha}, \quad x_1 = x_2^{2/\alpha}. \quad (2.17)$$

U ovom slučaju x_1 ima Nakagami- m raspodelu, a x_2 ima α - μ raspodelu. Ovo je relacija između Nakagami- m i α - μ raspodelu pri čemu je $m=\mu$. Kumulativna verovatnoća od x_2 se dobija integracijom Nakagami- m raspodele [96]:

$$F_{x_2}(x_2) = \int_0^{x_2} dt p_{x_2}(t) = \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \int_0^{x_2} dt t^{\alpha m_2 - 1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} t^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x_2^\alpha \right), \quad x_2 \geq 0. \quad (2.18)$$

Moment n -tog reda od x_2 je [100]:

$$\begin{aligned} m_{nx_2} = \overline{x_2^n} &= \int_0^\infty dx_2 x_2^n p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \int_0^\infty dx_2 x_2^{\alpha m_2 - 1 + n} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x_2^\alpha} = \\ &= \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{\Omega_2}{m_2} \right)^{m_2 + n/\alpha} \Gamma \left(m_2 + \frac{n}{\alpha} \right). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Srednja vrednost za α - μ slučajnu promenljivu se dobija za $n=1$:

$$m_{x_21} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\Omega_2}{m_2} \right)^{m_2 + 1/2} \Gamma \left(m_2 + \frac{1}{\alpha} \right). \quad (2.20)$$

Srednja kvadratna vrednost od slučajne promenljive x_2 je:

$$m_{22} = \frac{1}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{\Omega_2}{m_2} \right)^{m_2 + \frac{2}{\alpha}} \Gamma \left(m_2 + \frac{2}{\alpha} \right). \quad (2.21)$$

Zdužena gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive se dobija transformacijom [100]:

$$x_2 = x_1^{2/\alpha}, \quad x_1 = x_2^{\alpha/2}, \quad \dot{x}_2 = \frac{2}{\alpha} x_1^{2/\alpha - 1} \dot{x}_1, \quad \dot{x}_1 = \frac{\alpha}{2} x_2^{\alpha/2 - 1} \dot{x}_2. \quad (2.22)$$

Zdužena gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive se može upotrebiti za izračunavanje srednjeg broja osnih preseka α - μ slučajnog procesa. Zdužena gustina verovatnoće od x_2 i \dot{x}_2 je:

$$p_{x_2 \dot{x}_2}(x_2 \dot{x}_2) = |J| p_{x_1 \dot{x}_1} \left(x_2^{\alpha/2}, \frac{\alpha}{2} x_2^{\alpha/2 - 1} \dot{x}_2 \right). \quad (2.23)$$

gde je J Jakobijan transformacije. Jakobijan transformacije je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial x_2} & \frac{\partial x_1}{\partial \dot{x}_2} \\ \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_2} & \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial \dot{x}_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} x_2^{\alpha/2 - 1} & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} x_2^{\alpha/2 - 1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^2}{4} x_2^{\alpha - 2}. \quad (2.24)$$

Zemenom se dobija združena gustina verovatnoće od α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda od α - μ slučajne promenljive:

$$p_{x_2 \dot{x}_2}(x_2 \dot{x}_2) = \frac{\alpha^2}{4} x_2^{\alpha-2} p_{x_1 \dot{x}_1} \left(x_2^{\alpha/2}, \frac{\alpha}{2} x_2^{\alpha/2-1} \dot{x}_2 \right) = \frac{\alpha^2}{4} x_2^{\alpha-2} \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_2^{\frac{\alpha}{2}(2m_1-1)} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_2^\alpha} \quad (2.25)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{1}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2} \frac{\alpha^2}{4} x_2^{\alpha-2} \dot{x}_2^2} = \frac{\alpha^2}{2\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_2^{\alpha m_1 + \frac{\alpha}{2} + 2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_2^\alpha} e^{-\frac{\alpha^2}{4\sigma_{\dot{x}_1}^2} x_2^{\alpha-2} \dot{x}_2^2}.$$

Srednji broj osnih preseka od x_2 se dobija kao srednja vrednost od prvog izvoda od α - μ slučajne promenljive x_2 . Srednji broj osnih preseka od signala na drugom ulazu SC prijemnika je [29]:

$$N_{x_2} = \int_0^\infty d\dot{x}_2 \dot{x}_2 p_{x_2 \dot{x}_2}(x_2 \dot{x}_2) = \frac{\alpha^2}{2\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_2^{\alpha m_1 + \frac{\alpha}{2} + 2} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_2^\alpha} \int_0^\infty d\dot{x}_2 \dot{x}_2 e^{-\frac{\alpha^2}{4\sigma_{\dot{x}_1}^2} x_2^{\alpha-2} \dot{x}_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} = \quad (2.26)$$

$$= \frac{1}{2\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}} \Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_2^{\alpha m_1 + \frac{\alpha}{2} + 2} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_2^\alpha} \frac{1}{2} \frac{4\sigma_{\dot{x}_1}^2}{x_2^{\alpha-2}}.$$

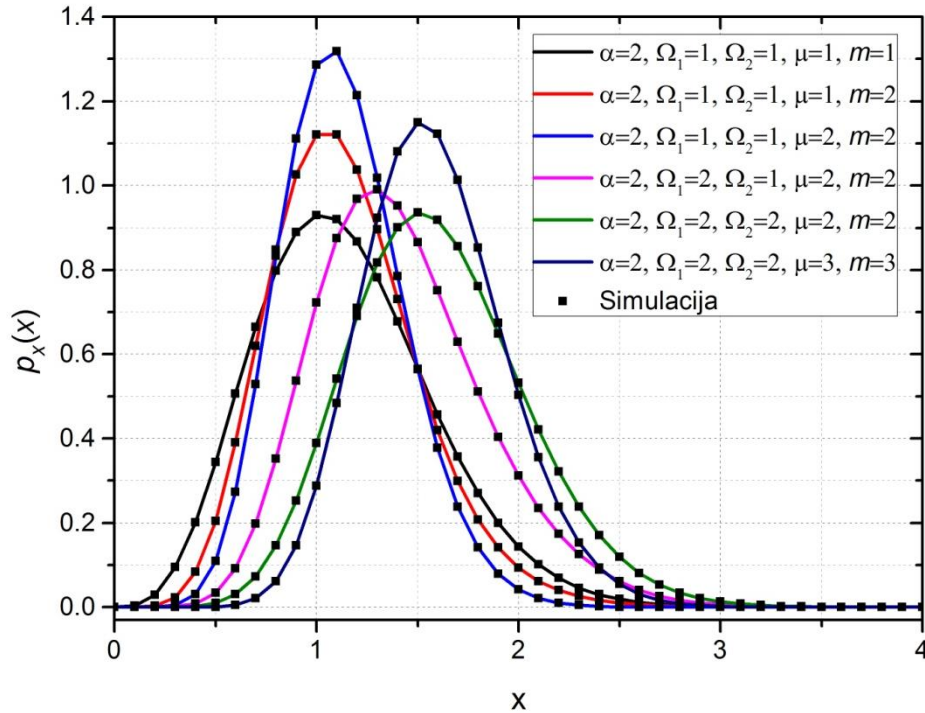
Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika se dobija na sledeći način. Signal na izlazu iz SC prijemnika se dobija kao signal sa prvog ulaza kada je ovaj signal veći od signala na drugom ulazu ili kao signal sa drugog ulaza kada je signal na drugom ulazu veći od signala na prvom ulazu. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika se računa pomoću formule:

$$p_x(x) = p_{x_1}(x) F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x) F_{x_1}(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x^2} \quad (2.27)$$

$$\times \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha \right) + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{\alpha m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right).$$

Numerički i simulacijom dobijeni rezultati a na osnovu izraza (2.27) grafički su prikazani na Slici 2.3. Gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala prikazana je sa jednakim koeficijentom nelinearnosti parametra α , a za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2 . Porast vrednosti parametra oštine fedinga m i broja klastera μ ima za posledicu sužavanje opsega funkcije gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i povećanje vrednosti maksimuma koji se dostiže za veće vrednosti nivoa primljenog signala što potvrđuju i simulacijom dobijeni rezultati. Povećanje vrednosti parametra srednjih snaga signala Ω_1 i Ω_2 ima za posledicu širenje opsega funkcije

gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i umanjenje vrednosti maksimuma što takođe potvrđuje simulacija.



Slika 2.3. Grafički prikaz numerečkih i simulacijom dobijenih rezultata za PDF na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2 .

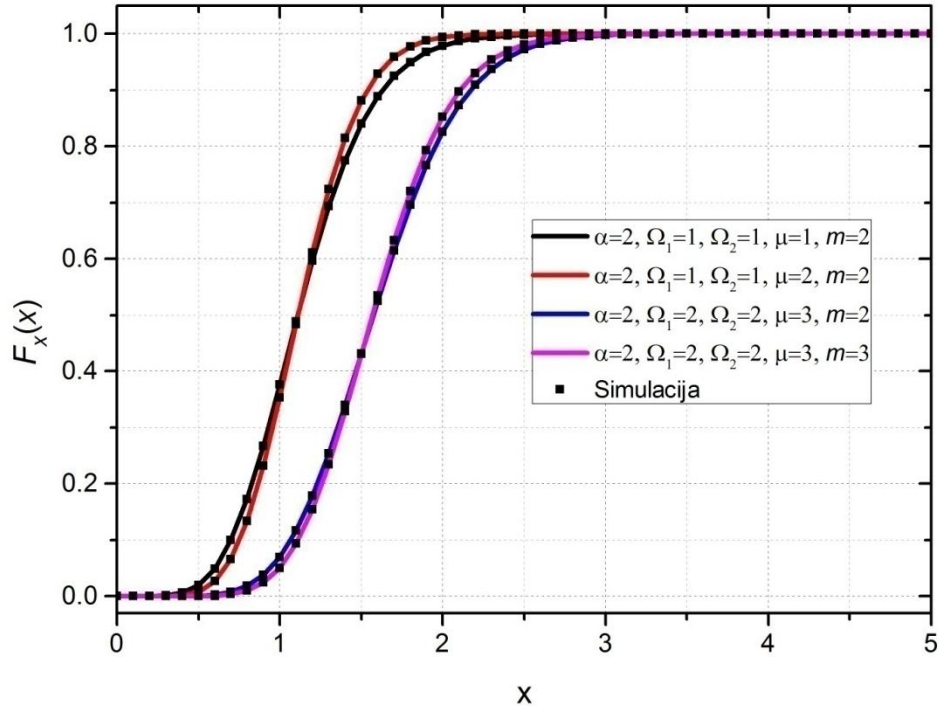
Kumulativna verovatnoća na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza se dobija kao proizvod kumulativne verovatnoće sa prvog i drugog ulaza:

$$F_x(x) = F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha\right). \quad (2.28)$$

gde je $\gamma(n, x)$ nepotpuna Gama funkcija, n je red Gama funkcije, a x je argument [29].

Numerički i simulacijom dobijeni rezultati, a na osnovu izraza (2.28) grafički su prikazani u zavisnosti od anvelope signala na Slici 2.4. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza prikazana je sa jednakim koeficijentom nelinearnosti parametra α , a za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2 . Na osnovu analitičkih izraza, numeričkim i simulacijom dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom amplitude signala x kumulativna verovatnoća teži jedinici. Rast kumulativne

verovatnoće je izraženiji za više vrednosti parametara broja klastera μ i oštine fedinga m . Takođe, sa porastom srednjih snaga signala Ω_1 i Ω_2 dolazi do bržeg porasta kumulativne verovatnoće.



Slika 2.4. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za CDF signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , oštine fedinga m i sa različitim srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2 .

Momenti su važna karakteristika telekomunikacionog slučajnog signala. Momen n -tog reda od signala na izlazu iz SC prijemnika može se izračunati pomoću formule [29]:

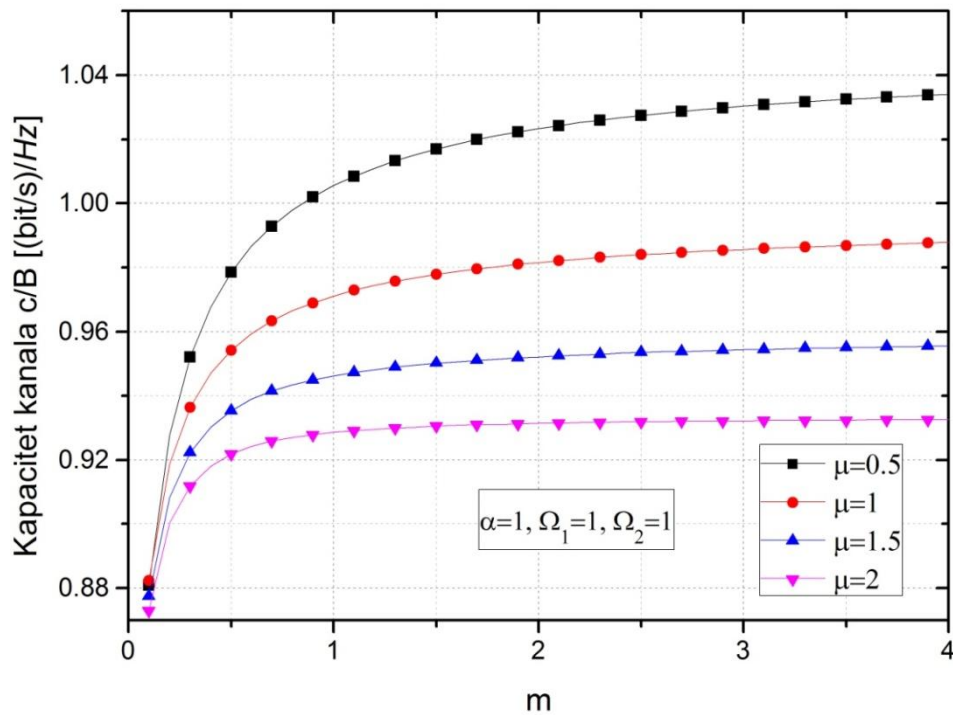
$$m_{nx} = \overline{x^n} = \int_0^{\infty} dx x^n p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1+n-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha \right) + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{\alpha m_2+n-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (2.29)$$

Kapacitet kanala je važna karakteristika telekomunikacionog bežičnog radio kanala. Kapacitet kanala se dobija usrednjavanjem Šenanovog izraza za kapacitet kanala [26], [27], [95], [102]. Šenanovo rešenje dobijenog integrala koje u originalnosti sadrži logaritamsku funkciju i postiže se primenom Majaerovih funkcija. Drugi izraz sadrži potencijalni član i eksponencijalni član. Izraz u eksponentu ima dva člana. Jedan član je srazmeran signalu, a drugi član je inverzno srazmeran signalu. Kapacitet kanala se računa po sledećem obrzcu:

$$\frac{c}{B} = \int_0^{\infty} dx \left(\ln(1+x^2) \right) p_x(x) = \int_0^{\infty} dx \left(\ln(1+x^2) \right) \left(\frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x^2} \right. \\ \left. \times \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha \right) + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{\alpha m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right) \right). \quad (2.30)$$

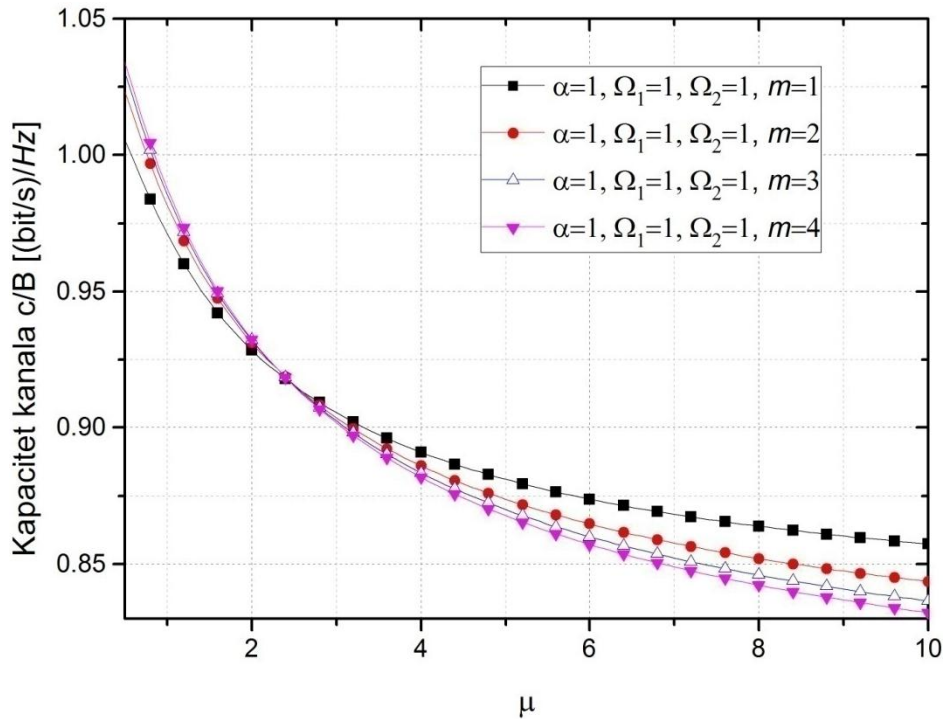
gde je: c kapacitet kanala izražen bits/s ili u bitima po sekundi, a B je propusni opseg kanala izražen u hertzima [Hz].

Pomoću izraza (2.30) dobijaju se grafički prikaz kapaciteta kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza.



Slika 2.5. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m .

Na Slici 2.5. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m , sa jednakim vredostima parametra koeficijentom nelinearnosti α i srednjim snagama Ω_1 i Ω_2 , a za različite vrednosti broja klastera μ . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom parametra oštine fedinga m naglo raste kapacitet kanala. Porastom parametra broja klastera μ kapacitet kanala opada.

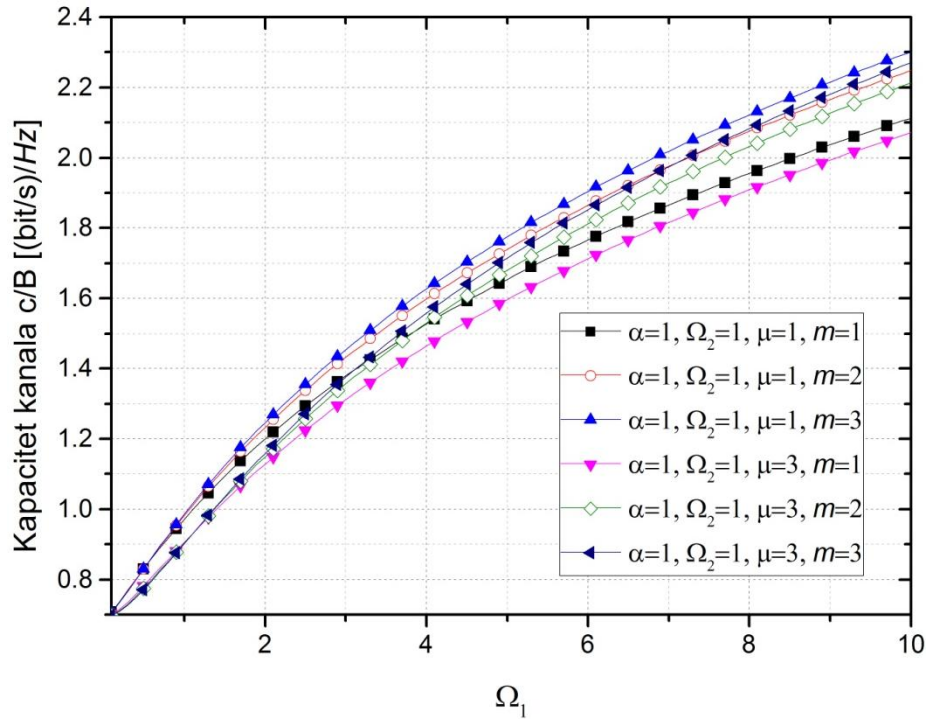


Slika 2.6. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od broja klastera μ .

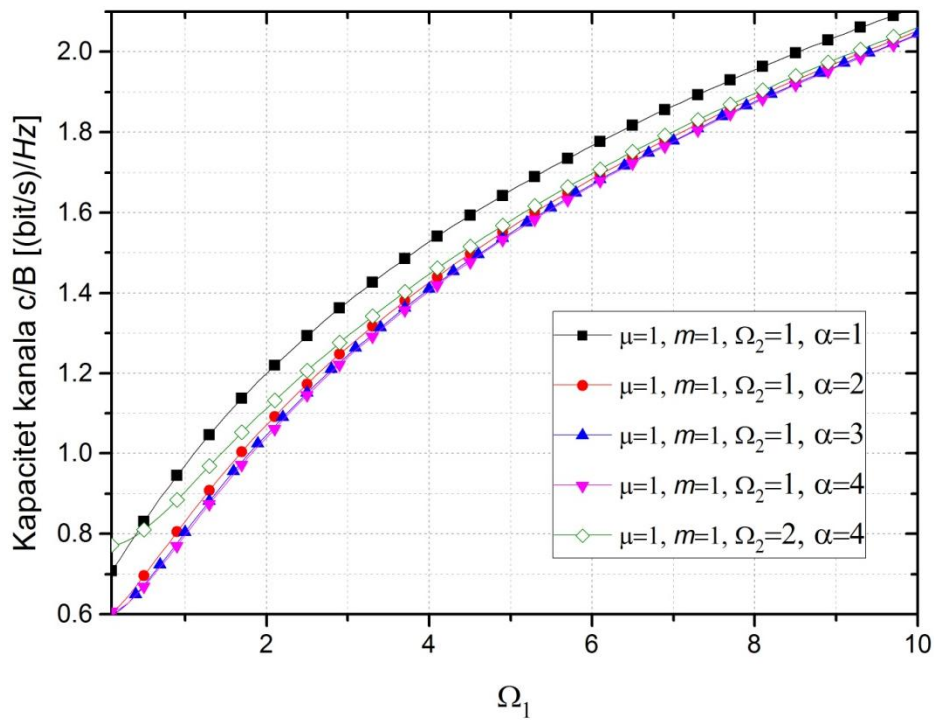
Na Slici 2.6. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra broja klastera μ , sa jednakim vredostima parametra koeficijenta nelinearnosti α i srednjim snagama signala Ω_1 i Ω_2 , a za različite vrednosti oštine fedinga m . Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom broja klastera μ naglo opada kapacitet kanala. Porastom parametra oštine fedinga m kapacitet kanala opada.

Na Slici 2.7. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_1 , sa jednakim vredostima koeficijenta nelinearnosti parametra α i srednje snage signala Ω_2 , a za različite vrednosti parametra broja klastera μ i oštine fedinga m . Može se zaključiti da porastom srednje snage signala Ω_1 raste i kapacitet kanala. Takođe, kapacitet kanala raste kada se povećava parameter broja klastera μ i parameter oštine fedinga m .

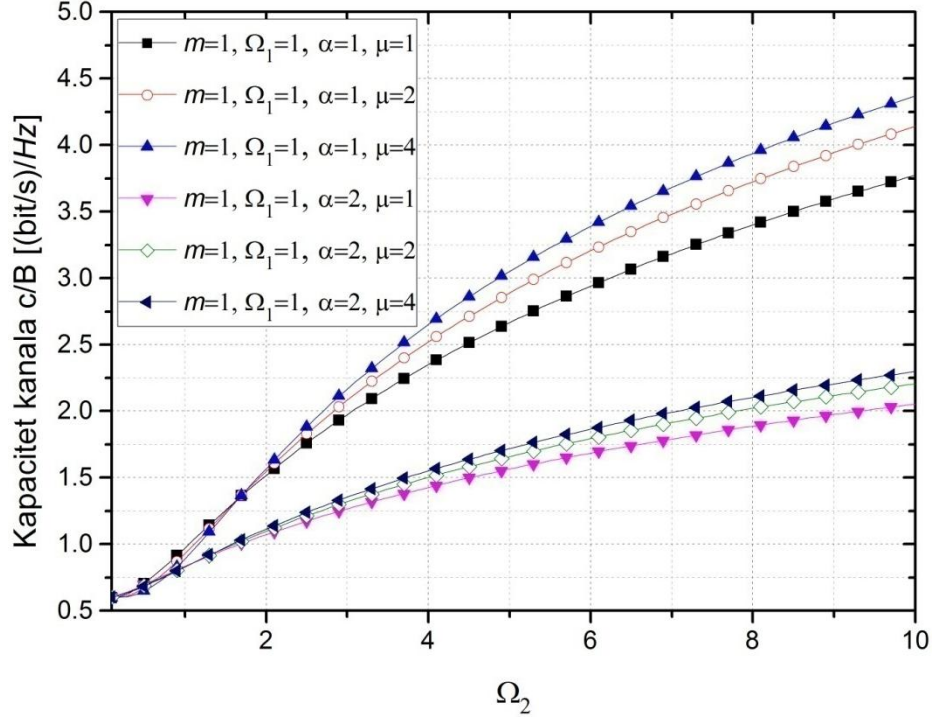
Na Slici 2.8. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_2 , sa jednakim vrednostima parametra broja klastera μ i oštine fedinga m , a za različitim vrednostima koeficijentom nelinearnosti parametra α i srednje snage signala Ω_2 . Kao i na predhodnoj slici porastom srednje snage signala Ω_1 raste i kapacitet kanala. Kapacitet kanala opada kada se povećava koeficijentom nelinearnosti parametra α i raste kada raste parametar srednje snage signala Ω_2 .



Slika 2.7. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_1 .



Slika 2.8. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_1 .



Slika 2.9. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_2 .

Na Slici 2.9. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od srednje snage signala Ω_2 , sa jednakim vredostima parametra oštirne fedinga m i srednje snage signala Ω_1 , a za različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra broja klastera μ . Porastom srednje snage signala Ω_2 raste i kapacitet kanala. Takođe, kapacitet kanala raste kada se povećava parameter broja klastera μ i opada kada raste koeficijent nelinearnosti parametra α .

Verovatnoća greške za koherentne modulacione šeme je:

$$\begin{aligned}
 p_{e_1} = & \int_0^{\infty} dx \left(\operatorname{erfc}(bx^2) \right) p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \frac{1}{m_2} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m_2+1)_{(j_1)}} \\
 & \times \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{j_1} \int_0^{\infty} dx \left(\operatorname{erfc}(bx^2) \right) \int_0^{\infty} dx x^{2m_1-1+am_2+\alpha j_1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^\alpha} + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \quad (2.31) \\
 & \times \frac{1}{m_1} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m_1+1)_{(j_2)}} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{j_2} \int_0^{\infty} dx \left(\operatorname{erfc}(bx^2) \right) \int_0^{\infty} dx x^{am_2-1+2m_1+2j_2} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^\alpha}.
 \end{aligned}$$

Kod koherentnih sistema treba obezbediti referentni nosilac da bi se izračunala detekcija signala. Prijemnik treba da sadrži kolo za ekstrakciju referentnog nosilaca. Kolo za ekstrakciju

referentnog nosilaca ima faznu petlju ili ima kvadratni prijemnik. Predhodni dvostruki integral može se rešiti primenom hipergeometrijskih funkcija i Majerovih funkcija [29].

Verovatnoća greške za nekoherentne modulacione šeme je:

$$\begin{aligned}
p_{e_2} &= \int_0^{\infty} dx \left(a e^{bx^2} \right) p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \frac{1}{m_2} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m_2+1)_{(j_1)}} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{j_1} \\
&\times \int_0^{\infty} dx \left(a e^{bx^2} \right) \int_0^{\infty} dx x^{2m_1-1+\alpha m_2+\alpha j_1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^{\alpha}} + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \frac{1}{m_1} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \\
&\times \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m_1+1)_{(j_2)}} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{j_2} \int_0^{\infty} dx \left(a e^{bx^2} \right) \int_0^{\infty} dx x^{\alpha m_2-1+2m_1+2j_2} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^{\alpha}}. \quad (2.32)
\end{aligned}$$

Predhodni dvostruki integral može se rešiti primenom hipergeometrijskih funkcija i Majerovih funkcija, a može se rešiti i numeričkim metodama [29].

Izraz za verovatnoću greške za kvadratne modulacione šeme sadrži dva člana koja su srazmerna komplimentu funkcije greške. Jedan član je linearan, a drugi član je kvadratni. Argument u oba člana je kvadrat signala. Ovaj član se usrednjava sa Nakagami- m raspodelom. Verovatnoća greške za kvadratne modulacione šeme je:

$$\begin{aligned}
p_{e_3} &= \int_0^{\infty} dx \left(a_1 \operatorname{erfc}(b_1 x^2) + a_2 \operatorname{erfc}^2(b_2 x^2) \right) p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \frac{1}{m_2} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \\
&\times \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m_2+1)_{(j_1)}} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{j_1} \int_0^{\infty} dx \left(a_1 \operatorname{erfc}(b_1 x^2) + a_2 \operatorname{erfc}^2(b_2 x^2) \right) x^{2m_1-1+\alpha m_2+\alpha j_1} \\
&\times e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^{\alpha}} + \frac{\alpha}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \frac{1}{m_1} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m_1+1)_{(j_2)}} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{j_2} \\
&\times \int_0^{\infty} dx \left(a_1 \operatorname{erfc}(b_1 x^2) + a_2 \operatorname{erfc}^2(b_2 x^2) \right) x^{\alpha m_2-1+2m_1+2j_2} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2 - \frac{m_2}{\Omega_2}x^{\alpha}}. \quad (2.33)
\end{aligned}$$

Dobijeni jednostruki integral može se rešiti primenom hipergeometrijskih i Majerovih funkcija.

Može se odrediti združena gustina verovatnoće signala na izlaz iz SC prijemnika i prvog izvoda signala na izlazu iz SC prijemnika. Ova združena gustina verovatnoće na izlazu iz SC prijemnika sadrži dva člana. Združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika jednaka je združenoj gustini signala i njegovog prvog izvoda za slučaj kada je signal na prvom ulazu veći od signala na njegovom drugom ulazu iz SC prijemnika. Združena gustina verovatnoće signala i njegovog prvog izvoda na izlaz iz SC prijemnika jednaka je združenoj

gustini verovatnoće signala i njegovog prvog izvoda na drugom ulazu SC prijemnika kada je signal na prvom ulazu manji od signala na drugom ulazu u SC prijemnik. Zdužena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika i njegovog prvog izvoda je:

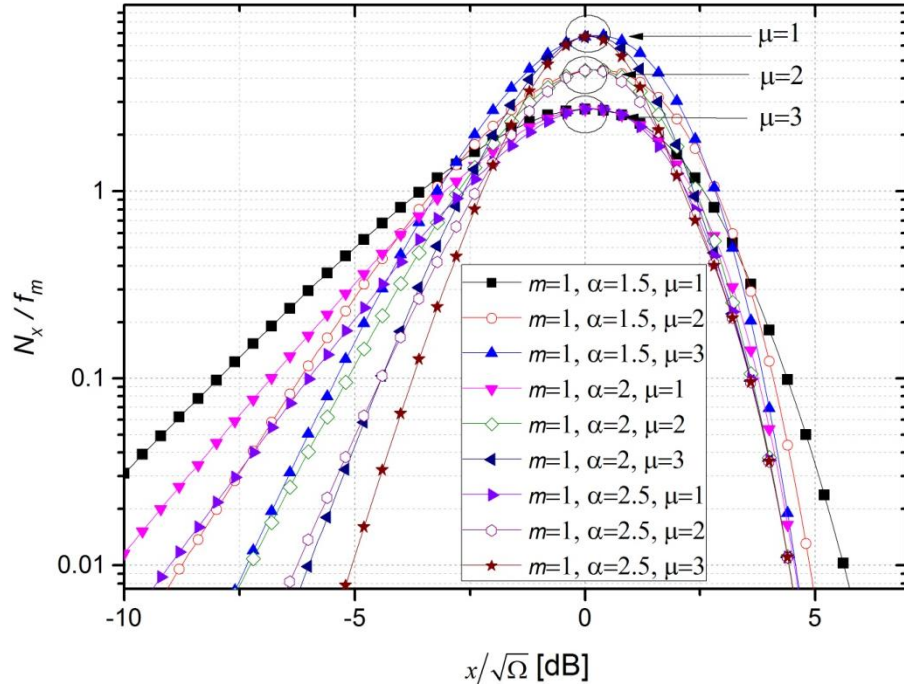
$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1 x^2}{\Omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} \\
&\times e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha\right) + \frac{\alpha^2}{2\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} x^{\alpha m_2 + \alpha/2 + 2} e^{-\frac{m_2 x^\alpha}{\Omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} \\
&\times e^{-\frac{\alpha^2}{4\sigma_{\dot{x}_1}^2} x^{\alpha-2} \dot{x}^2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2\right). \quad (2.34)
\end{aligned}$$

Predhodni izraz se može upotrebiti za određivanje srednjeg broja osnih preseka.

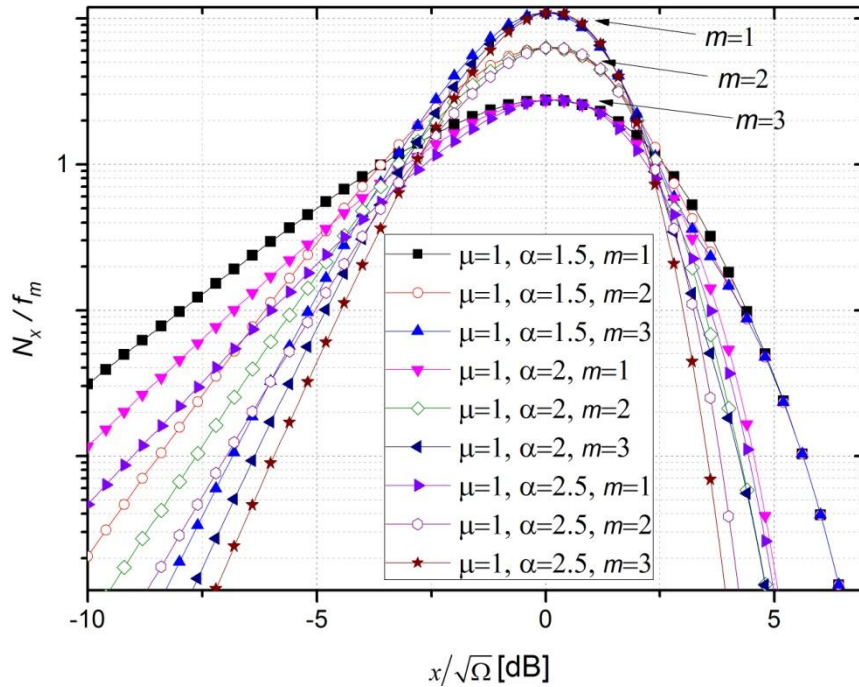
Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika se računa kao srednja vrednost od prvog izvoda signala na izlazu iz SC prijemnika. Usrednjavanje se vrši kao integracija prvog izvoda. U ovom slučaju prvi izvod je slučajna promenljiva. Srednji broj osnih preseka od x je:

$$\begin{aligned}
N_x &= \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1 x^2}{\Omega_1}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha\right) \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}} \\
&+ \frac{\alpha^2}{2\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} x^{\alpha m_2 + \alpha/2 - 2} e^{-\frac{m_2 x^\alpha}{\Omega_2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2\right) \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} e^{-\frac{\alpha^2}{4\sigma_{\dot{x}_1}^2} x^{\alpha-2} \dot{x}^2} = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1 x^2}{\Omega_1}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^\alpha\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{x}_1} + \frac{\alpha^2}{2\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} \\
&\times x^{\alpha m_2 + \alpha/2 - 2} e^{-\frac{m_2 x^\alpha}{\Omega_2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\sigma_{\dot{x}_2}}{\alpha^2 x^{\alpha-2}}. \quad (2.35)
\end{aligned}$$

Koristeći izraz (2.35), na Slici 2.10. grafički je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od anvelope signala x i kvadratanog korena srednje snage signala Ω , gde je $\Omega = \Omega_1 = \Omega_2$. Sa jednakim vrednostima parametra oštirne fedinga m , a za različite vrednosti koeficijentom nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra broja klastera μ . Maksimum srednjeg broja onih preseka se znatnije potiče za više vrednosti parametra broja klastera μ . Sa porastom parametra α i μ brže raste i brže opada srednji broj osnih preseka jer su manje varijacije signala, odnosno uticaj oštirine fedinga je manji.



Slika 2.10. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra koeficijenta nelinearnosti α i parametra broja klastera μ .

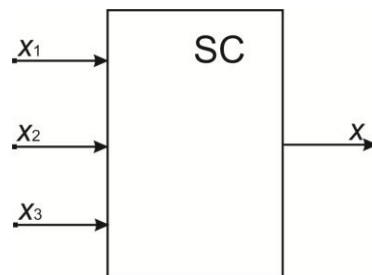


Slika 2.11. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i koeficijenta nelinearnosti α .

Na Slici 2.11. grafički je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od anvelope signala x i kvadratanog korena srednje snage signala Ω , gde je $\Omega = \Omega_1 = \Omega_2$, sa jednakim vrednostima parametra broja klastera μ , a za različite vrednosti koeficijena nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra oštirne fedinga m . Maksimum srednjeg broja onih preseka se znatnije potiže za više vrednosti parametra broja klastera m . Sa porastom parametra α i m brže raste i brže opada srednji broj osnih preseka jer su manje varijacije signala, odnosno uticaj oštirine fedinga je manji.

2.2. Performanse SC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Rajsovog, Nakagami- m i α - μ fedinga

Signali na ulazima su označeni sa x_1 , x_2 i x_3 . Signal na izlazu je x . Signal na izlazu x jednak je x_1 , ako je $x_1 > x_2$ i $x_1 > x_3$, signal na izlazu x jednak je x_2 , ako je $x_2 > x_1$ i $x_2 > x_3$ i signal na izlazu x jednak je x_3 , ako je $x_3 > x_1$ i $x_3 > x_2$. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 2.12.



Slika 2.12. SC prijemnik sa tri ulaza.

Signal na izlazu x je jednak:

$$x = \max(x_1, x_2, x_3). \quad (2.36)$$

Pomoću ovog izraza može se odrediti gustina verovatnoće od x i kumulativna verovatnoća od x , karakteristična funkcija od x i momenti od x . Takođe se mogu izračunati prvi moment ili srednja vrednost od x , drugi moment ili srednja kvadratna vrednost od x i treći moment ili srednja kubna vrednost od x . Takođe, se može odrediti i standardna devijacija od x i varijansa od x .

Signal x_1 ima Rajsovu gustinu verovatnoće [55]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2(\kappa+1)x_1}{e^\kappa \Omega_1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2} I_0 \left(2\sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}} x_1 \right), \quad x_1 \geq 0. \quad (2.37)$$

gde je: κ Rajsov faktor, a $\Omega_1 = \overline{x_1^2}$. Rajsova raspodela sadrži potencijalnu eksponencijalnu funkciju i Beselevu funkciju nultog reda. Ova Beselova funkcija se može razviti u red [29]. Pomoću ovog razvoja može se odrediti kumulativna verovatnoća Rajsove slučajne promenljive i momenti Rajsove slučajne promenljive. Mogu se odrediti i statističke karakteristike Rajsove slučajne promenljive [55].

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} x_1^{2i+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2}. \quad (2.38)$$

Izraz (2.37) za Rajsovu gustinu verovatnoće se može razviti u red. Pomoću ovog reda mogu se odrediti performance telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu u kome je prisutan Rajsov feding. Predpostavi se da postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. U ovom slučaju postoji dominantna komponenta. Dominantna komponenta je sadržana u Rajsovom faktoru κ . Rajsov faktor je jednak količniku od snage dominantne komponente i sketering komponente. Pomoću Rajsove gustine verovatnoće može se odrediti Rajsova kumulativna verovatnoća, Rajsova karakteristična funkcija i Rajsovi moment. Dobija se Rajsova srednja vrednost ili prvi moment, srednja kvadratna vrednost ili drugi moment i srednja kubna vrednost ili treći moment. Srednja vrednost signala, kvadratna srednja vrednost i srednja kubna vrednost su moment slučajnog signala, a varijansa je drugi centralni moment.

Kumulativna verovatnoća od x_1 je [55]:

$$\begin{aligned} F_{x_1}(x_1) &= \int_0^{x_1} dt p_{x_1}(t) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} \int_0^{x_1} dt t^{2i+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} t^2} = \\ &= \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i+1} \gamma \left(i+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2 \right). \end{aligned} \quad (2.39)$$

Kvadrat od x_1 je:

$$x_1^2 = (x_{11} + A)^2 + x_{12}^2. \quad (2.40)$$

gde su: x_{11} i x_{12} Gausove slučajne promenljive. Prvi izvod od x_1 je:

$$\begin{aligned}
x_1 \dot{x}_1 &= (x_{11} + A)^2 \dot{x}_{11} + x_{12} \dot{x}_{12} \\
\dot{x}_1 &= \frac{1}{x_1} \left((x_{11} + A)^2 \dot{x}_{11} + x_{12} \dot{x}_{12} \right)
\end{aligned} \tag{2.41}$$

Slučajne promenljive \dot{x}_{11} i \dot{x}_{12} su Gausove slučajne promenljive. Zbog ovoga \dot{x}_1 ima uslovnu Gausovu gustinu verovatnoće [42]. Ako je slučajna promenljiva Gausova, onda treba odrediti srednju vrednost i varijansu. Veoma često je srednja vrednost nula. Srednja vrednost se određuje tako što se stavi da je svaki sabirak jednak nuli. Srednja vrednost od \dot{x}_1 je:

$$\overline{\dot{x}_1} = \frac{1}{x_1} \left((x_{11} + A)^2 \overline{\dot{x}_{11}} + x_{12} \overline{\dot{x}_{12}} \right) = 0. \tag{2.42}$$

pošto je: $\overline{\dot{x}_{11}} = \overline{\dot{x}_{12}} = 0$.

Varijansa od prvog izvoda od \dot{x}_1 jednaka je zbiru dva sabirka. Prvi sabirak je obrnuto srazmeran sa kvadratom signala, pomeren je za vrednost dominantne komponente i srazmeran je varijansom od \dot{x}_{11} . Drugi član je srazmeran sa x_{12}^2 i varijansom od prvog izvoda \dot{x}_{12} . Varijansa je srazmeran sa π^2 kvadrata maksimalne Doplerove frekvence. Varijansa od \dot{x}_1 je:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \frac{1}{x_1^2} \left((x_{11} + A)^2 \sigma_{\dot{x}_{11}}^2 + x_{12}^2 \sigma_{\dot{x}_{12}}^2 \right). \tag{2.43}$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_{11}}^2 = \pi^2 f_m^2 2\sigma^2$, $\sigma_{\dot{x}_{12}}^2 = \pi^2 f_m^2 2\sigma^2$.

Zamenom se dobija varijansa od \dot{x}_1 :

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \frac{1}{x_1^2} \pi^2 f_m^2 2\sigma^2 \left((x_{11} + A)^2 + x_{12}^2 \right) = \pi^2 f_m^2 2\sigma^2. \tag{2.44}$$

Rajsova slučajna promenljiva i njen prvi izvod su međusobno nezavisni. Zbog ovoga je združena gustina verovatnoće Rajsove slučajne promenljive i prvog izvoda Rajsove slučajne promenljive jednaka proizvodu Rajsove gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće:

$$p_{x_1 \dot{x}_1} (x_1 \dot{x}_1) = p_{x_1} (x_1) p_{\dot{x}_1} (\dot{x}_1) = \frac{x_1}{\sigma^2} e^{-\frac{x_1^2 + A^2}{2\sigma^2}} I_0 \left(\frac{x_1 A}{\sigma^2} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{x_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{x_1}^2}}. \tag{2.45}$$

Prvi izvod Rajsove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva [32], [33], [42].

Srednji broj osnih preseka od x_1 računa se kao srednja vrednost od prvog izvoda od Rajsove slučajne promenljive [29]:

$$\begin{aligned}
N_{x_1} &= \int_0^{\infty} d\dot{x}_1 \dot{x}_1 p_{x_1 \dot{x}_1}(x_1 \dot{x}_1) = \int_0^{\infty} d\dot{x}_1 \dot{x}_1 \frac{x_1}{\sigma^2} e^{-\frac{x_1^2 + A^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{x_1 A}{\sigma^2}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{x_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{x_1}^2}} = \\
&= \frac{\pi f_m \sigma}{\sqrt{\pi}} \frac{x_1}{\sigma^2} e^{-\frac{x_1^2 + A^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{x_1 A}{\sigma^2}\right).
\end{aligned} \tag{2.46}$$

Signal na drugom ulazu ima Nakagami- m raspodelu [53]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2}, \quad x_2 \geq 0. \tag{2.47}$$

Nakagami- m raspodelu ima parametar m i parametar Ω . Parametar Ω može se odrediti pomoću metode momenata i pomoću metode osnih preeka.

Kumulativna verovatnoća od x_2 je [55]:

$$\begin{aligned}
F_{x_2}(x_2) &= \int_0^{x_2} dt p_{x_2}(t) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m \int_0^{x_2} dt t^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} t^2} = \frac{1}{2} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m \left(\frac{\Omega_2}{m}\right)^m \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x_2^2\right) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x_2^2\right) = \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x_2^{2m} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{j_1} x_2^{2j_1}.
\end{aligned} \tag{2.48}$$

Kvadrat od x_2 jednak je zbiru $2m$ kvadrata nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa nultim srednjim vrednostima i jednakim varijansama. Dobija se χ^2 raspodela. Može se odrediti gustina verovatnoće χ^2 slučajne promenljive, kumulativna verovatnoće χ^2 slučajne promenljive, karakteristična funkcija χ^2 slučajne promenljive i moment χ^2 slučajne promenljive. Može se izračunati prvi moment ili srednja vrednost od χ^2 raspodele, drugi moment ili srednja kvadratna vrednost od χ^2 raspodele i treći moment ili srednja kubna vrednost od χ^2 raspodela. Može se izračunati i srednji broj osnih preseka od χ^2 slučajne promenljive. Mogu se izračunati verovatnoća otkaza i verovatnoća greške bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu χ^2 fedinga [72].

$$x_2^2 = x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{22m}^2. \tag{2.49}$$

Prvi izvod od zbira jednak je prvom izvodu pojedinih sabiraka, na osnovu ovoga je:

$$x_2 \dot{x}_2 = x_{21} \dot{x}_{21} + x_{22} \dot{x}_{22} + \dots + x_{22m} \dot{x}_{22m}. \tag{2.50}$$

Prvi izvod od \dot{x}_2 jednak je zbiru Gausovih slučajnih promenljivih. Na osnovu ovoga \dot{x}_2 je linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih i \dot{x}_2 je Gausova slučajna promenljiva, za ovo slučajnu promenljivu treba odrediti srednju vrednost i varijansu [42].

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{x_2} (x_{21}\dot{x}_{21} + x_{22}\dot{x}_{22} + \dots + x_{22m}\dot{x}_{22m}). \quad (2.51)$$

Srednja vrednost od \dot{x}_2 je:

$$\overline{\dot{x}_2} = \frac{1}{x_1} (x_{21}\overline{\dot{x}_{21}} + x_{22}\overline{\dot{x}_{22}} + \dots + x_{22m}\overline{\dot{x}_{22m}}) = 0. \quad (2.52)$$

Može se pokazati da je srednja vrednost od \dot{x}_2 jednaka nuli, pošto je: $\overline{\dot{x}_{21}} = \overline{\dot{x}_{22}} = \dots = \overline{\dot{x}_{22m}} = 0$.

Varijansa od zbira jednaka je zbiru varijansi svakog člana. Pri određivanju varijansi od proizvoda konstante i slučajne promenljive, konstanta se kvadrira i pomnoži sa varijansom slučajne promenljive. Varijansa od \dot{x}_2 je:

$$\sigma_{\dot{x}_2}^2 = \frac{1}{x_2^2} (x_{21}^2 \sigma_{\dot{x}_{21}}^2 + x_{22}^2 \sigma_{\dot{x}_{22}}^2 + \dots + x_{22m}^2 \sigma_{\dot{x}_{22m}}^2). \quad (2.53)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_{21}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{m}$, $\sigma_{\dot{x}_{22}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{m}$, ..., $\sigma_{\dot{x}_{22m}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{m}$.

Varijansa od prvog izvoda od Nakagami- m slučajne promenljive srazmerna je kvadratom maksimalne Doplerove frekvence, srednjoj snagi signala, a obrnuto je srazmerna sa parametrom m [103]. Zamenom se dobija:

$$\sigma_{\dot{x}_2}^2 = \frac{\pi^2 f_m^2 \Omega_2}{m x_2^2} x_2^2 (x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{22m}^2) = \frac{\pi^2 f_m^2 \Omega_2}{m}. \quad (2.54)$$

Značajno je odrediti zdrženu gustinu verovatnoće od signala x_2 i prvog izvoda od \dot{x}_2 je:

$$p_{x_2 \dot{x}_2}(x_2 \dot{x}_2) = p_{x_2}(x_2) p_{\dot{x}_2}(\dot{x}_2) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\dot{x}_2}} e^{-\frac{\dot{x}_2^2}{2\sigma_{\dot{x}_2}^2}}. \quad (2.55)$$

Pomoću ove gustine verovatnoće se određuje srednji broj osnih preseka. Srednji broj osnih preseka signala x_2 koji je jednak srednjoj vrednosti od prvog izvoda [29], [72]:

$$\begin{aligned} N_{x_2} &= \int_0^{\infty} d\dot{x}_2 \dot{x}_2 p_{x_2 \dot{x}_2}(x_2 \dot{x}_2) = \int_0^{\infty} d\dot{x}_2 \dot{x}_2 \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2} \int_0^{\infty} d\dot{x}_2 \dot{x}_2 p_{\dot{x}_2}(\dot{x}_2) = \\ &= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_2^{1/2}}{m^{1/2}} = \frac{2}{\Gamma(m)} \frac{m^{m-1/2}}{\Omega_2^{m-1/2}} x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_2^2} \pi f_m \frac{1}{\sqrt{2\pi}}. \end{aligned} \quad (2.56)$$

Značajno je razmatrati i statističke karakteristike drugih osnih preseka. Značajno je odrediti srednju vrednost osnih isečaka, srednju kvadratnu vrednost osnih isečaka, srednju kubnu

vrednost osnih isečaka. Takođe, treba odrediti gustinu verovatnoće osnih preseka, kumulativnu verovatnoću osnih isečaka, karakterističnu funkciju osnih isečaka i moment osnih isečaka. Treba odrediti i združenu gustinu verovatnoće osnih isečaka i prvog izvoda osnih isečaka. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti srednji broj osnih preseka slučajnog procesa osnih isečaka. Može se odrediti gustina verovatnoće osnih preseka u dva trenutka vremena. Pomoću ove združene gustine verovatnoće se računa produktni moment dužine osnih isečaka. Od produktnih momenata se računa autokorelaciona funkcija.

Slučajna promenljiva x_3 je α - μ slučajna promenljiva [100]. Gustina verovatnoće od x_3 je:

$$p_{x_3}(x_3) = \left| \frac{dx_2}{dx_3} \right| p_{x_2}(x_3^{\alpha/2}). \quad (2.57)$$

Signal x_2 je Nakagami- m slučajna promenljiva [53]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x_2^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_2^2}. \quad (2.58)$$

Nakagami- m slučajna promenljiva ima veliku primenu u teoriju telekomunikacija za analizu performansi bežičnih digitalnih telekomunikacionih sistema [53], [96]. Može se formirati α - μ slučajna promenljiva. Svaki uzorak α - μ slučajna promenljiva se dobija stepenovanjem $2/\alpha$ Nakagami- m slučajne promenljive. Gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive se dobija transformacionom metodom. Pomoću ove gustine verovatnoće može se odrediti kumulativna verovatnoća α - μ slučajne promenljive, karakteristična funkcija α - μ slučajne promenljive i moment α - μ slučajne promenljive [100].

Relacija između x_2 i x_3 je data formulom [100]:

$$x_2 = x_3^{\alpha/2}, \quad x_3 = x_2^{2/\alpha}. \quad (2.59)$$

gde je: $\frac{dx_2}{dx_3} = \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1}$. Zamenom se dobija:

$$p_{x_3}(x_3) = \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x_3^{\alpha/2(2\mu-1)} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha} = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x_3^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha}, \quad x_3 \geq 0. \quad (2.60)$$

Kumulativna verovatnoća od x_3 je:

$$F_{x_3}(x_3) = \int_0^{x_3} dt p_{x_3}(t) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x_3^{\alpha\mu} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(\mu+1)_{(j_1)}} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^{j_1} x_3^{\alpha j_1}. \quad (2.61)$$

Izraz za kumulativnu verovatnoću sadrži nepotpunu Gama funkciju. Nepotpuna Gama funkcija se razvija u red primenom Majerovih i hipergeometrijskih funkcija. Kumulativna verovatnoća od α - μ slučajne promenljive sadrži dva parametra α i μ . Ovi parametri se mogu izračunati metodom momenata, metodom osnih preseka i primenom funkcije verodostojnosti.

Združena gustina verovatnoće od x_3 i \dot{x}_3 je:

$$p_{x_3\dot{x}_3}(x_3\dot{x}_3) = |J| p_{x_2\dot{x}_2}\left(x_3^{\alpha/2}, \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1} \dot{x}_3\right). \quad (2.62)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_2}{\partial x_3} & \frac{\partial x_2}{\partial \dot{x}_3} \\ \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial x_3} & \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial \dot{x}_3} \end{vmatrix}, \quad x_2 = x_3^{\alpha/2}, \quad \dot{x}_2 = \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1} \dot{x}_3, \Rightarrow J = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1} & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} x_3^{\alpha/2-1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^2}{4} x_3^{\alpha-2}. \quad (2.63)$$

Ovde se koristi Jakobijan drugog reda pošto se pojavljuju dve slučajne promenljive x_3 i \dot{x}_3 . Može se razmatrati i slučajna promenljiva \dot{x}_3 . Ovo je drugi izvod. Treba odrediti združenu gustinu verovatnoće od signala, prvog izvoda signala i drugog izvoda signala. Takođe, treba odrediti karakterističnu funkciju od signala, prvog izvoda signala i drugog izvoda signala, srednju vrednost od signala, prvog izvoda signala i drugog izvoda signala i takođe treba odrediti srednju vrednost kvadrata signala, kvadrat prvog izvoda signala i kvadrat drugog izvoda signala. Treba odrediti združenu gustinu verovatnoće α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti srednja vrednost od α - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost od α - μ slučajne promenljive i srednja kubna vrednost od α - μ slučajne promenljive. Zatim, se može odrediti srednja vrednost od prvog izvoda α - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost od prvog izvoda α - μ slučajne promenljive i srednja kubna vrednost od prvog izvoda α - μ slučajne promenljive.

Zamenom se dobija izraz za združenu gustinu verovatnoće od α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive.

$$\begin{aligned} p_{x_3\dot{x}_3}(x_3\dot{x}_3) &= \frac{\alpha^2}{4} x_3^{\alpha-2} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x_3^{\alpha/2(2\mu-1)} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} (x_3^{\alpha/2})^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma_{\dot{x}_2}^2} x_3^{\alpha-2} \dot{x}_3^\alpha} = \\ &= \frac{\alpha^2}{4} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x_3^{\alpha\mu - \alpha/2 + \alpha - 2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} e^{-\frac{\alpha^2}{8\sigma_{\dot{x}_2}^2} x_3^{\alpha-2} \dot{x}_3^\alpha}. \end{aligned} \quad (2.64)$$

Združena gustina verovatnoće od slučajne promenljive x_3 i prvog izvoda \dot{x}_3 se koristi da se izračuna srednji broj osnih preseka slučajne promenljive x_3 . Srednji broj osnih preseka od \dot{x}_3 je [29]:

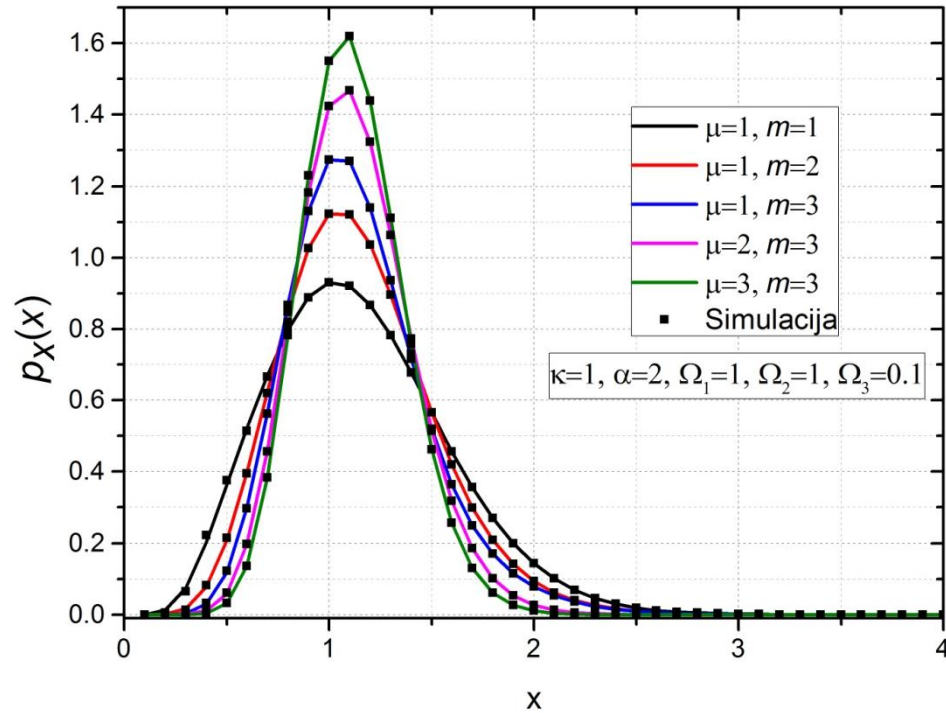
$$\begin{aligned}
N_{x_3} &= \int_0^{\infty} d\dot{x}_3 \dot{x}_3 p_{x_3\dot{x}_3}(x_3\dot{x}_3) = \int_0^{\infty} d\dot{x}_3 \dot{x}_3 \frac{\alpha^2}{4} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x_3^{\alpha\mu+\alpha/2-2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x_3^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} \\
&\times e^{-\frac{\alpha^2}{8\sigma_{\dot{x}_2}^2}x_3^{\alpha-2}\dot{x}_3^2} = \frac{\alpha^2}{4} \frac{2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x_3^{\alpha\mu+\alpha/2-2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x_3^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} \int_0^{\infty} d\dot{x}_3 \dot{x}_3 e^{-\frac{\alpha^2}{8\sigma_{\dot{x}_2}^2}x_3^{\alpha-2}\dot{x}_3^2} = (2.65) \\
&= \frac{1}{2\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^{\mu-1/2} x_3^{\alpha\mu-\alpha/2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x_3^\alpha} \pi f_m \frac{4}{\sqrt{2\pi}}.
\end{aligned}$$

Srednji broj osnih preseka od α - μ slučajne promenljive može se odrediti simulacijom. Prvo se formira α - μ slučajni vektor. α - μ slučajni vektor se dobija pomoću Nakagami- m slučajnog vektora na taj način što se uzorci α - μ slučajnog vektora dobijaju stepenovanjem Nakagami- m slučajnog vektora. Pomoću ovog vektora može da se odredi histogram, momenti i srednji broj osnih preseka vektora.

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sadrži tri člana. Svaki od članova ima po tri činioaca. Prvi činilac je gustina verovatnoće signala na odgovarajućem ulazu. Druga dva činioaca su kumulativne verovatnoće signala na druga dva ulaza SC prijemnika sa tri ulaza. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na sva tri ulaza [29].

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_1}(x)F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_3}(x)F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \\
&= \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_1^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1}x_1^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \\
&\times \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x^\alpha} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right).
\end{aligned} \tag{2.66}$$

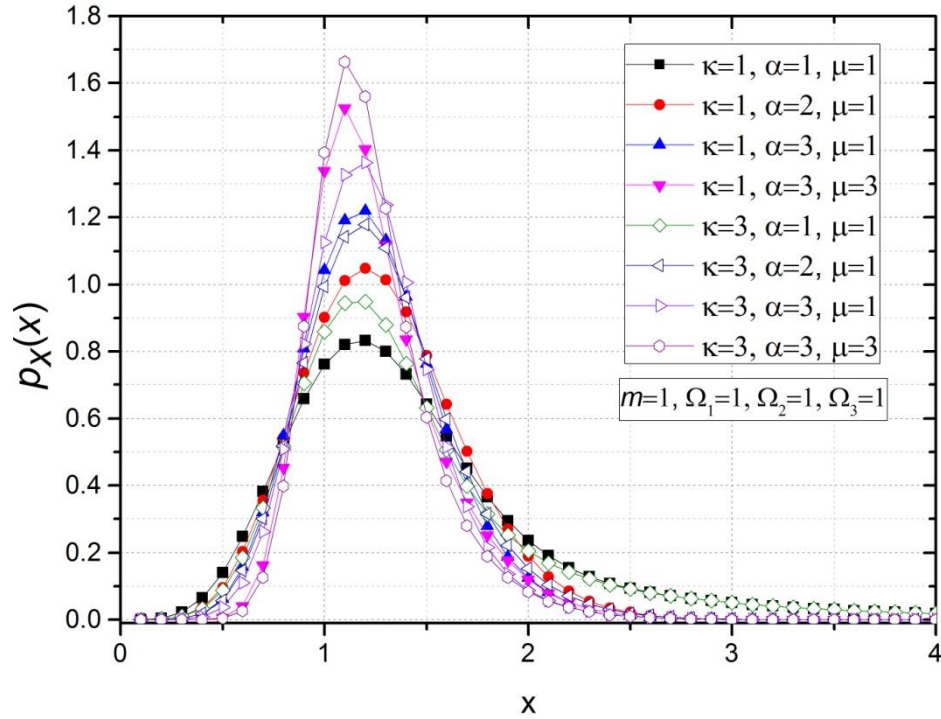
Numerički na osnovu izraza (2.66) i simulacijom dobijeni rezultati grafički su prikazani na Slici 2.13.



Slika 2.13. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za gustinu verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, sa različitim vrednostima parametra broja klastera μ i sa različitim vrednostima parametrima oštine fedinga m .

Na Slici 2.13. gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza prikazana je sa jednakim koeficijentom nelinearnosti parametra α , Rajsovog faktora κ i jednakim srednjim snagama signala Ω_1, Ω_2 i Ω_3 , a za različite vrednosti broja klastera μ i oštine fedinga m . Porast vrednosti parametra oštine fedinga m i broja klastera μ ima za posledicu sužavanje opsega funkcije gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i povećanje vrednosti maksimuma koji se dostiže za veće vrednosti nivoa primljenog signala što potvrđuju i simulacijom dobijeni rezultati.

Na Slici 2.14. grafički je prikazana gustina verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala. Prikazana je sa jednakim parametrom oštine fedinga m i jednakim srednjim snagama signala Ω_1, Ω_2 i Ω_3 , a za različitim vrednostima koeficijena nelinearnosti parametra α , Rajsovog faktora κ i parametra broja klastera μ . Porast vrednosti koeficijena nelinearnosti parametra α , Rajsovog faktora κ i parametra broja klastera μ ima za posledicu sužavanje opsega funkcije gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i povećanje vrednosti maksimuma koji se dostiže za veće vrednosti nivoa primljenog signala.



Slika 2.14. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra broja klastera μ , sa različitim koeficijentima nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra Rajsovog κ faktora.

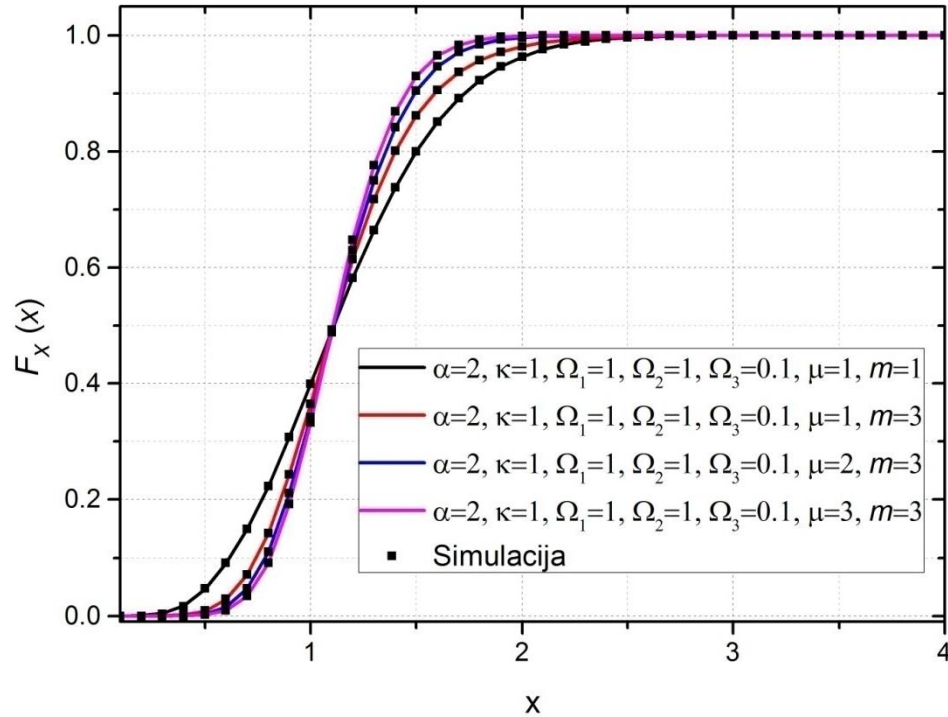
Karakteristična funkcija signala na izlazu iz SC prijemnika se dobija pomoću gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika. Gustine verovatnoće signala i karakteristična funkcija signala su Furijeve transformacioni par.

Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika je:

$$F_x(x) = F_{x_1}(x)F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) = \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \times \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma \left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} x^\alpha \right). \quad (2.67)$$

Pomoću kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika može se odrediti gustina verovatnoće signala na izlazu iz prijemnika. Zatim, se pomoću gustine verovatnoće signala računa karakteristična funkcija signala na izlazu iz SC prijemnika, srednja vrednost signala na izlazu iz SC prijemnika, srednja kvadratna vrednost signala na izlazu iz SC prijemnika. Može se odrediti združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika i prvog izvoda signala

na izlazu iz SC prijemnika. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika. Pomoću ovog izraza za srednji broj osnih preseka može se izračunati srednje vreme trajanja fedinga bežičnog telekomunikacionog sistema koji sadrži SC prijemnik sa tri ulaza. Srednje vreme trajanja otkaza se računa kao količnik od verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka.



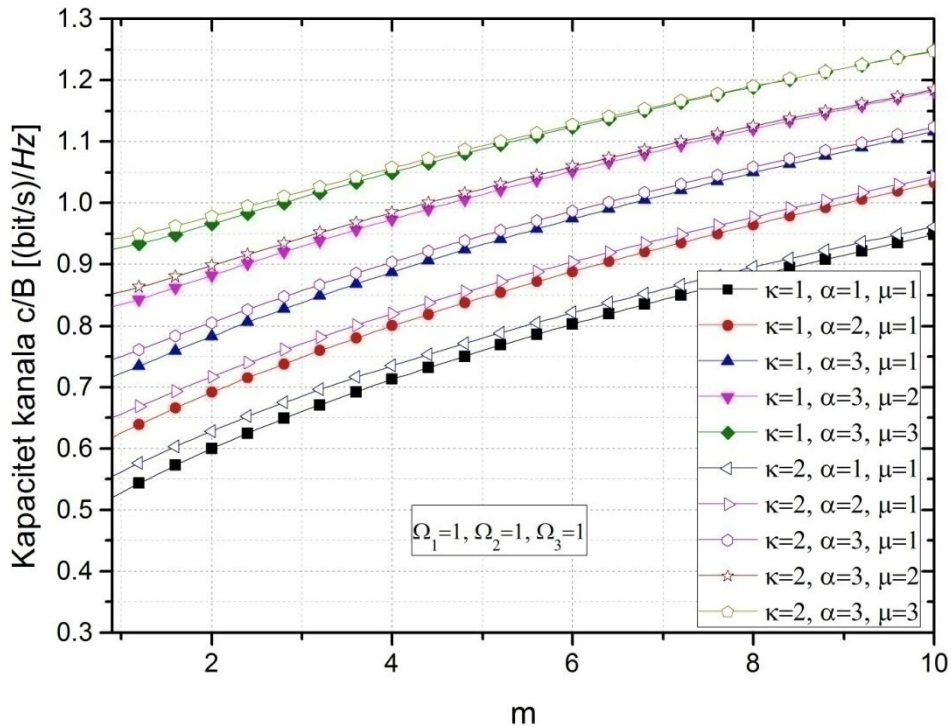
Slika 2.15. Grafički prikaz numeričkih i simulacijom dobijenih rezultata za kumulativnu verovatnoću signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ i parametra oštine fedinga m .

Numerički rezultati a na osnovu izraza (2.67) i simulacijom dobijeni rezultati grafički su prikazani u zavisnosti od anvelope signala na Slici 2.15. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza prikazana je sa jednakim koeficijentom nelinearnosti parametra α , Rajsovog faktora κ i sa jednakim srednjim snagama signala Ω_1, Ω_2 i Ω_3 , a za različite vrednosti parametra broja klastera μ i parametra oštine fedinga m . Na osnovu analitičkih izraza, numeričkim i simulacijom dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom amplitude signala x kumulativna verovatnoća teži jedinici. Rast kumulativne verovatnoće je izraženiji za više vrednosti parametara broja klastera μ i parametra oštine fedinga m .

Kapacitet kanala je važna karakteristika bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema [27]. Kapacitet kanala se dobija usrednjavanjem Šenovog izraza za kapacitet kanala. Šenanov izraz za kapacitet kanala sadrži logaritamsku funkciju. U argumentu logaritamske funkcije se nalazi kvadrat signala odnosno snaga signala. Kapacitet kanala je jednak:

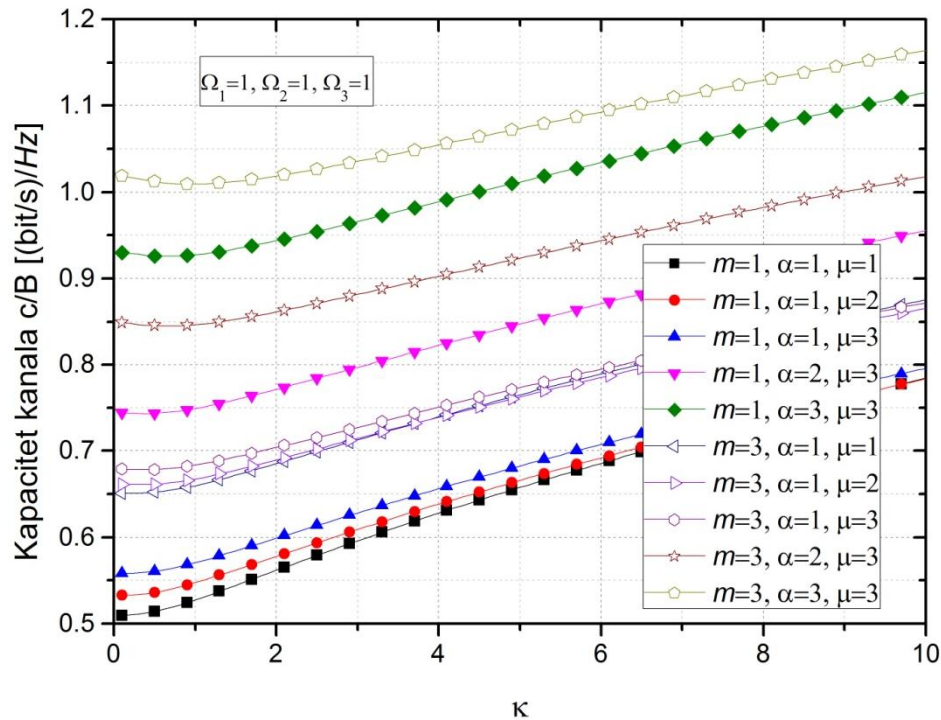
$$\begin{aligned} \frac{c}{B} = & \int_0^{\infty} dx (\ln(1+x^2)) p_x(x) = \int_0^{\infty} dx (\ln(1+x^2)) \left(\frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa}\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_1^{2i_1+1} \right. \\ & \times e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} x^\alpha\right) + \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa}\Omega_1} \\ & \times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} x^\alpha\right) + \\ & \left. + \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x^\alpha} \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa}\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2\right) \right). \end{aligned} \quad (2.68)$$

Pomoću izraza (2.68) dobijaju se grafički prikazi kapaciteta signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza.



Slika 2.16. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m .

Na Slici 2.16. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza u zavisnosti od oštine fedinga m , sa jednakim vredostima parametra srednjih snaga signala Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 , a za različite vrednosti koeficijentom nelinearnosti parametra α , parametrom broja klastera μ . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom parametra oštine fedinga m naglo raste kapacitet kanala. Porastom parametra Rajsovog faktora κ , parametrom broja klastera μ i koeficijentom nelinearnosti parametra α kapacitet kanala raste.

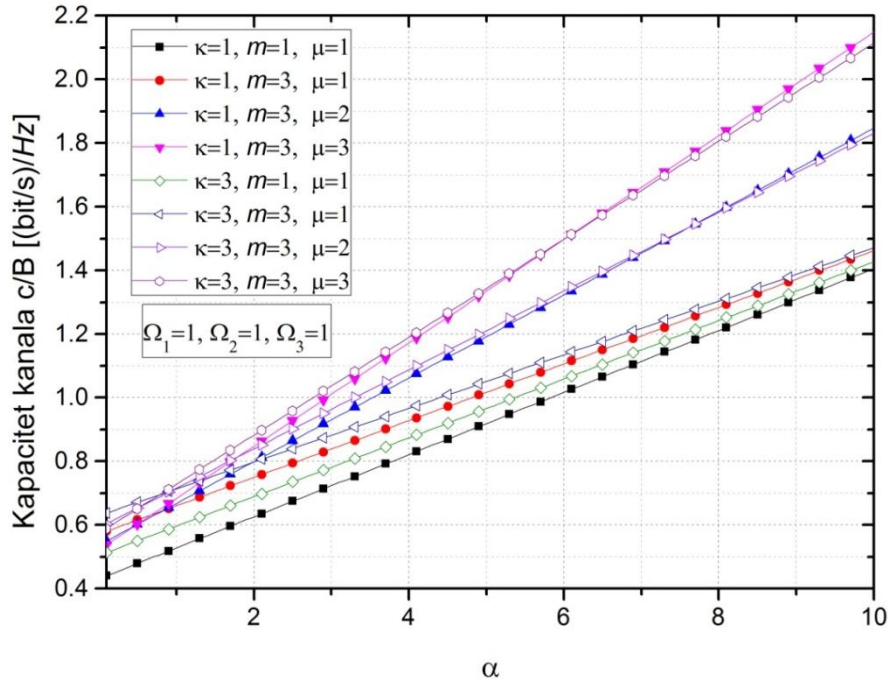


Slika 2.17. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ faktora.

Na Slici 2.17. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ , sa jednakim vredostima parametra srednjih snaga signala Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 , a za različite vrednosti koeficijentom nelinearnosti parametra α , parametrom broja klastera μ i parametra oštine fedinga m . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom Rajsovog faktora κ za male vrednosti kapacitet kanala je konstantan, dok za veće vrednosti naglo raste kapacitet kanala. Porastom parametra oštine fedinga m , parametrom broja klastera μ i koeficijentom nelinearnosti parametra α kapacitet kanala raste.

Na Slici 2.18. prikazan je kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza u zavisnosti od koeficijenta nelinearnosti α , sa jednakim vredostima parametra srednjih snaga

signala Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 , a za različite vrednosti parametra Rajsovog faktora κ , parametrom broja klastera μ i parametra oštine fedinga m . Na osnovu analitički i numerički dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom koeficijenta nelinearnosti α vrednosti naglo raste kapacitet kanala. Sa slike se jasno uočava da porastom parametra broja klastera μ kapacitet kanala raste, dostiže najveće vrednosti.

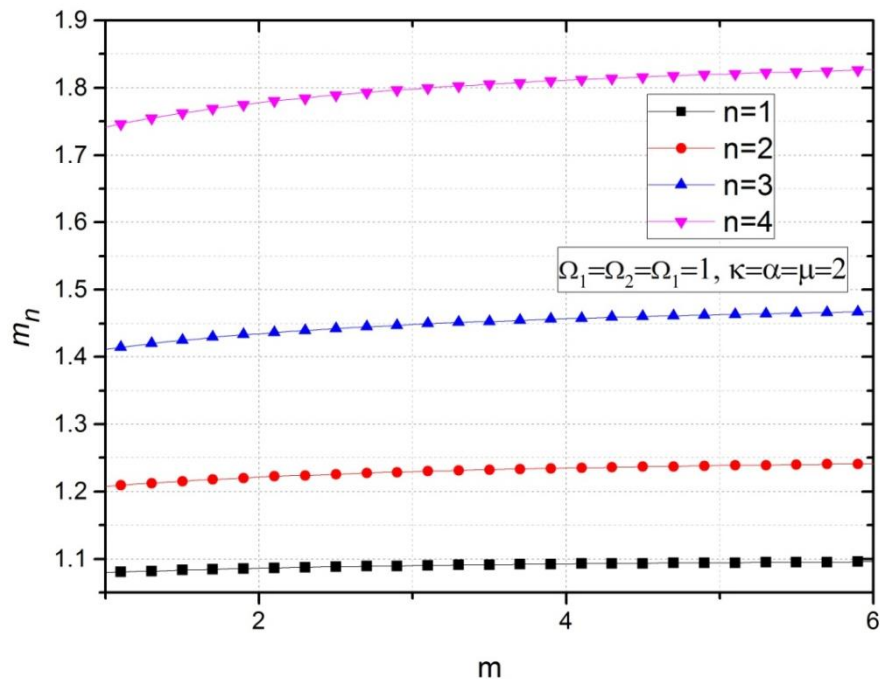


Slika 2.18. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza u zavisnosti od koeficijenta nelinearnosti α .

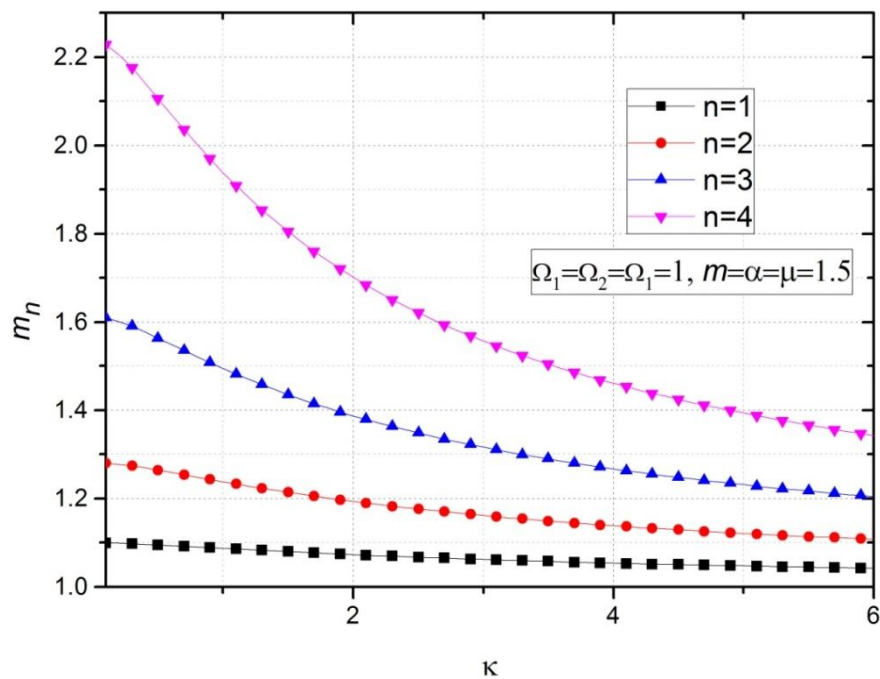
Moment signala na izlazu iz SC prijmnika mogu se takođe dobiti iz gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijmnika. Moment n -tog reda od x je [29]:

$$\begin{aligned}
 m_{nx} = \overline{x^n} &= \int_0^{\infty} dx x^n p_x(x) = \int_0^{\infty} dx x^n \left(\frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_1^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2} \right. \\
 &\times \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} x^\alpha\right) + \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_1}} \\
 &\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2} x^\alpha\right) + \\
 &\left. + \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x^\alpha} \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2\right) \right). \tag{2.69}
 \end{aligned}$$

Pomoću izraza (2.69) dobijaju se grafički prikazi momenata signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza.



Slika 2.19. Momenti signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m .



Slika 2.20. Momenti signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajssovog faktora κ .

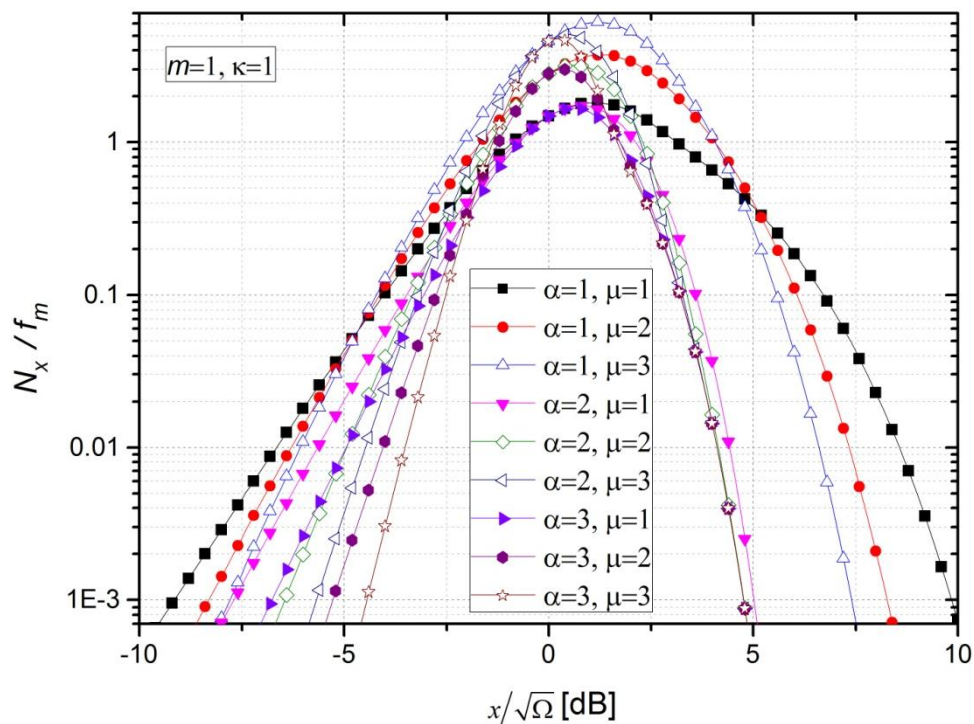
Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} je:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_3\dot{x}_3}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \\
&= \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_1}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2}x^2\right) \\
&\times \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_2}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}_2}^2}} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \\
&+ \frac{\alpha^2}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x^{\alpha\mu-1+\alpha/2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_2}} e^{-\frac{\alpha^2}{8\sigma_{\dot{x}_2}^2}x^{\alpha-2}\dot{x}^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \\
&\times \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2}x^2\right). \tag{2.70}
\end{aligned}$$

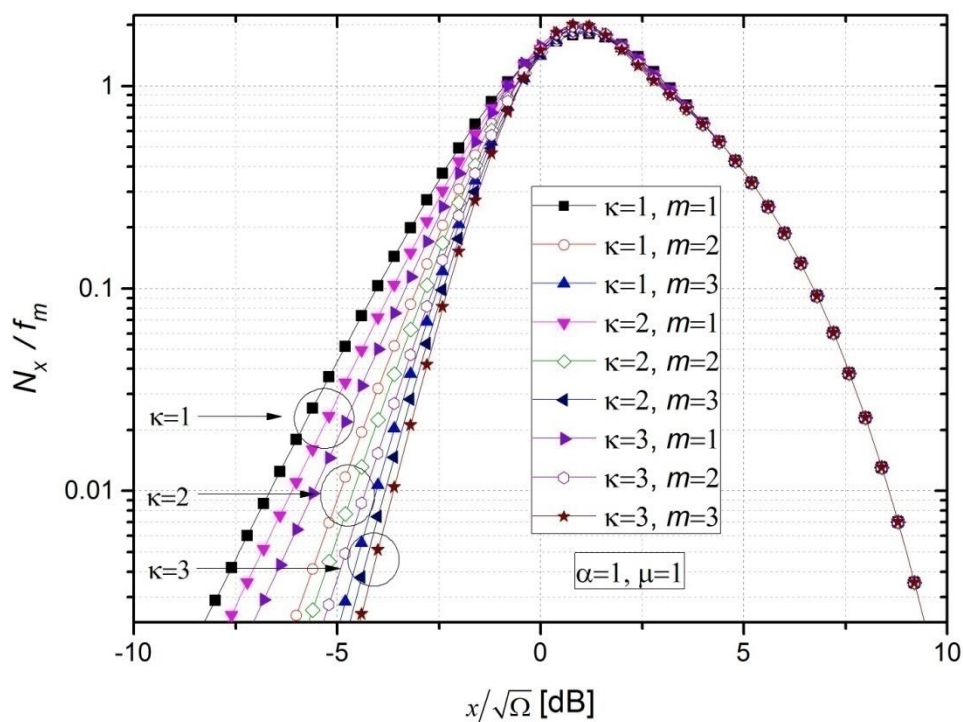
Važna karakteristika slučajnih procesa su osni preseci. Treba odrediti statističke karakteristike osnih preseka. Može se odrediti srednji broj osnih preseka, srednji kvadratni broj osnih preseka i srednji broj na n -ti stepen osnih preseka. Srednji broj osnih preseka od x je [29]:

$$\begin{aligned}
N_x(x) &= \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_3}(x) \\
&+ p_{x_3\dot{x}_3}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \\
&\times \pi f_m \Omega_1 \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}x^2} \\
&\times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega^{1/2}}{m^{1/2}} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right) \\
&\times \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_2}x^\alpha\right) + \frac{\alpha^2}{2\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3}\right)^\mu x^{\alpha\mu-1+\alpha/2} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3}x^\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{8}{\alpha^2 x^{\alpha-2}} \pi f_m \frac{\Omega_3}{\mu} \\
&\times \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa\Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2}x^2\right). \tag{2.71}
\end{aligned}$$

Pomoću izraza (2.71) dobijaju se grafički prikazi srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza.



Slika 2.21. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza za različite vrednosti parametra broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α .



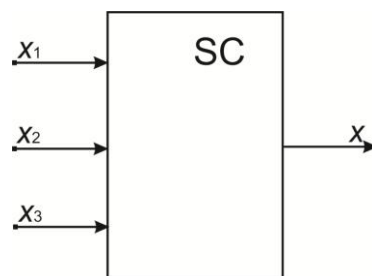
Slika 2.22. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i Rajsovog faktora κ .

Na Slici 2.21. grafički je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od anvelope signala x i kvadratanog korena srednje snage signala Ω , gde je $\Omega=\Omega_1=\Omega_2$, sa jednakim vredostima parametra oštine fedinga m i Rajsovog faktora κ , a za različite vrednosti koeficijentom nelinearnosti parametra α i sa različitim vrednostima parametra broja klastera μ . Sa povećanjem parametra μ ima za posledicu sužavanje opsega funkcije srednjeg broja osnih preseka i povećanje maksimum srednjeg broja osnih preseka. Sa porastom parametra α brže raste i brže opada srednji broj osnih preseka jer su manje varijacije signala.

Na Slici 2.22. grafički je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od anvelope signala x i kvadratanog korena srednje snage signala Ω , gde je $\Omega=\Omega_1=\Omega_2$, sa jednakim vredostima koeficijena nelinearnosti parametra α i sa jednakim vrednostima parametra broja klastera μ , a za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i Rajsovog faktora κ . Sa povećanjem parametra Rajsovog faktora κ i parametra oštine fedinga m ima za posledicu sužavanje opsega funkcije srednjeg broja osnih preseka.

2.3. Performanse SC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Nakagami- m , Rajsovog i Relijevog fedinga

Razmatra se SC prijemnik sa tri ulaza kao specijalni slučaj. Signali na ulazima su označeni sa x_1 , x_2 i x_3 . Signal na izlazu je označen sa x . Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 2.23.



Slika 2.23. SC prijemnik sa tri ulaza.

Signali na ulazima su različite prirode. Signal x_1 ima Nakagami- m raspodelu i treba odrediti kumulativnu verovatnoću, združenu gustinu verovatnoće od Nakagami- m slučajne promenljive i prvog izvoda i srednji broj osnih preseka. Signal x_2 ima Rajsovu raspodelu i treba

odrediti kumulativnu verovatnoću, združenu gustinu verovatnoće od Rajsovu slučajne promenljive i prvog izvoda i srednji broj osnih preseka. Signal x_3 ima Relijevu raspodelu i treba odrediti kumulativnu verovatnoću, združenu gustinu verovatnoće od Relijeve slučajne promenljive i prvog izvoda i srednji broj osnih preseka.

Signal na izlazu x jednak je:

$$x = \max(x_1, x_2, x_3). \quad (2.72)$$

Gustina verovatnoće od x_1 Nakagami- m raspodelu [53], [96]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 \geq 0. \quad (2.73)$$

Kumulativna verovatnoća od x_1 je [53], [96]:

$$F_{x_1}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x_1^2 \right), \quad x_1 \geq 0. \quad (2.74)$$

Ova kumulativna verovatnoća sadrži nepotpunu Gama faunkciju. Nepotpuna Gama funkcija ima dva parametra, kumulativna verovatnoća je količnik nepotpune Gama funkcije i potpune Gama funkcije. Može se odrediti karakteristična funkcija i moment od Nakagami- m slučajne promenljive.

Nakagami- m slučajna promenljiva i njen prvi izvod su međusobno nezavisni. Prvi izvod od Nakagami- m slučajne promenljive ima Gausovu gustinu verovatnoće. Združena gustina verovatnoće od Nakagami- m slučajne promenljive i prvog izvoda od Nakagami- m slučajne promenljive jednaka je proizvodu Nakagami- m gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće. Nakagami- m gustine verovatnoće ima parametar m i Ω . Združena gustina verovatnoće od x_1 i \dot{x}_1 je:

$$p_{x_1 \dot{x}_1}(x_1, \dot{x}_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}}. \quad (2.75)$$

Gausova gustine verovatnoće ima verijansu. Za ovaj slučaj ona je jednaka:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m}. \quad (2.76)$$

Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti srednji broj osnih preseka Nakagami- m slučajnog procesa. Srednji broj osnih preseka Nakagami- m slučajnog procesa se

dobija kao srednja vrednost prvog izvoda Nakagami- m slučajnog procesa. Srednji broj osnih preseka od x_1 je:

$$\begin{aligned} N_{x_1} &= \int_0^{\infty} d\dot{x}_1 \dot{x}_1 p_{x_1\dot{x}_1}(x_1\dot{x}_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2} \int_0^{\infty} d\dot{x}_1 \dot{x}_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}} = \\ &= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{x}_1} = \frac{2}{\Gamma(m)} \frac{m^{m-1/2}}{\Omega^{m-1/2}} x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}}. \end{aligned} \quad (2.77)$$

Slučajna promenljiva x_2 ima Rjasovu Gustina verovatnoće [55]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_2^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2}, \quad x_2 \geq 0. \quad (2.78)$$

Kumulativna verovatnoće od x_2 je [55]:

$$\begin{aligned} F_{x_2}(x_2) &= \int_0^{x_2} dt p_{x_2}(t) = \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \int_0^{x_2} dt t^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} t^2} = \\ &= \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, +i_2 \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2 \right). \end{aligned} \quad (2.79)$$

Združena gustina verovatnoće od Rajsove slučajne promenljive x_2 i prvog izvoda Rajsove slučajne promenljive \dot{x}_2 je:

$$p_{x_2\dot{x}_2}(x_2\dot{x}_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_2^{i_1-1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} e^{-\frac{\dot{x}_2^2}{2\sigma_{\dot{x}_2}^2}}. \quad (2.80)$$

Za Rajsov slučajni proces treba odrediti varijansu njegovog izvoda. Prvi izvod Rajsovog slučajnog procesa je Gausov slučajni proces. Varijansa ovog slučajnog procesa jednaka je:

$$\sigma_{\dot{x}_2}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{\kappa+1}. \quad (2.81)$$

gde je f_m maksimalna Doplerova frekvencija [65], Ω_2 snaga Rajsovog slučajnog procesa i κ je Rajsov faktor. U ovom slučaju Rajsova snaga može da ima odgovarajuću raspodelu. Ova raspodela može da bude promenljiva i može da ima neku raspodelu. Ova raspodela može da bude Relijeva, Rajsova ili Nakagami- m . Takođe, može da bude Vejbulova, α - μ , α - κ - μ ili α - η - μ [55], [35], [40], [84], [100].

Srednji broj osnih preseka od x_2 je [29]:

$$\begin{aligned}
N_{x_2} &= \int_0^{\infty} d\dot{x}_2 \dot{x}_2 p_{x_2\dot{x}_2}(x_2\dot{x}_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_2^{i_1-1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{x}_2} = \\
&= \frac{2(\kappa+1)}{e^{\kappa\Omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_2^{1/2}}{(\kappa+1)^{1/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_2^{i_1-1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2}.
\end{aligned} \tag{2.82}$$

Slučajna promeljiva x_3 ima Relijevu gustinu verovatnoće [42]:

$$p_{x_3}(x_3) = \frac{2x_3}{\Omega_3} e^{-\frac{x_3^2}{\Omega_3}}, \quad x_3 \geq 0. \tag{2.83}$$

gde je: $\Omega = 2\sigma^2$ predstavlja prosečnu vrednost snage signala, $\Omega = E(x^2)$ gde E označava matematičko očekivanje statističkog procesa.

Kumulativna verovatnoća od x_3 je [72]:

$$F_{x_3}(x_3) = 1 - e^{-\frac{x_3^2}{\Omega_3}}, \quad x_3 \geq 0. \tag{2.84}$$

Združena gustina verovatnoće od x_3 i \dot{x}_3 je:

$$p_{x_3\dot{x}_3}(x_3\dot{x}_3) = p_{x_3}(x_3) p_{\dot{x}_3}(\dot{x}_3) = \frac{2x_3}{\Omega_3} e^{-\frac{x_3^2}{\Omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_3}^2}} e^{-\frac{\dot{x}_3^2}{2\sigma_{\dot{x}_3}^2}}. \tag{2.85}$$

Združena gustina verovatnoće od Rejljeve slučajne promenljive i njenog prvog izvoda jednaka je proizvodu od gustine verovatnoće od x_3 i Gausove gustine verovatnoće od prvog izvoda.

Varijansa je jednaka:

$$\sigma_{\dot{x}_3}^2 = \pi^2 f_m^2 \Omega_3. \tag{2.86}$$

Pomoću ove združene gustine verovatnoće može se odrediti srednji broj osnih preseka od x_3 . Srednji broj osnih preseka od x_3 je [29]:

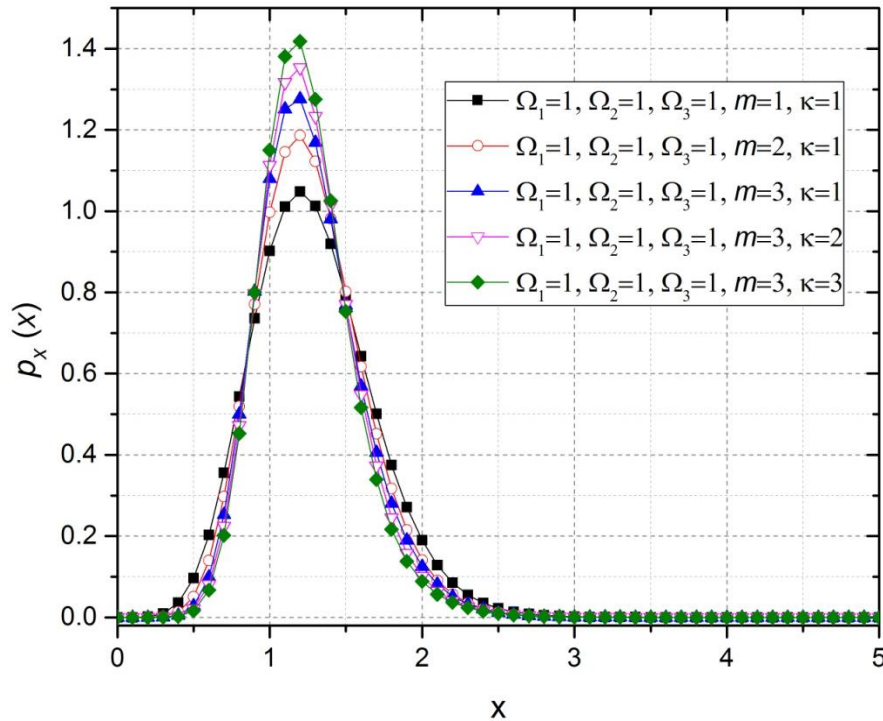
$$N_{x_3} = \int_0^{\infty} d\dot{x}_3 \dot{x}_3 p_{x_3\dot{x}_3}(x_3\dot{x}_3) = \int_0^{\infty} d\dot{x}_3 \dot{x}_3 \frac{2x_3}{\Omega_3} e^{-\frac{x_3^2}{\Omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_3}^2}} e^{-\frac{\dot{x}_3^2}{2\sigma_{\dot{x}_3}^2}} = \frac{2\pi f_m x}{\sqrt{2\pi\Omega_3^{1/2}}} e^{-\frac{x_3^2}{\Omega_3}}. \tag{2.87}$$

Srednji broj osnih preseka od x_3 zavisi od snage Ω_3 i srazmeran je sa f_m .

Može se izračunati gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika x jednaka je [29]:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_1}(x)F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x)F_{x_3}(x) + p_{x_3}(x)F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2}\right)^i \frac{1}{(i!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1}\right)^{i+1} \gamma\left(i+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2}x^2\right) \\
&\times \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}}\right) + \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2}\right)^i \frac{1}{(i!)^2} x^{2i+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_1}x^2\right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}}\right) + \\
&+ \frac{2x}{\Omega_3} e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_1}x^2\right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2}\right)^i \frac{1}{(i!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1}\right)^{i+1} \gamma\left(i+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2}x^2\right).
\end{aligned} \tag{2.88}$$

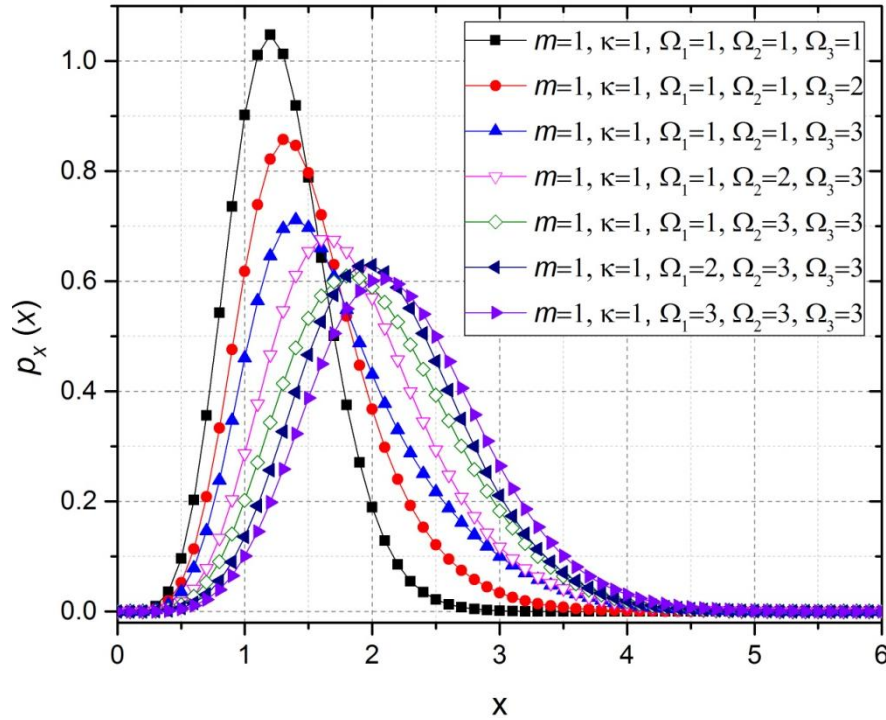
Ova gustina verovatnoće sadrži tri sabirka. Prvi sabirak je jednak proizvodu gustine verovatnoće na prvom ulazu, kumulativne verovatnoće na drugom ulazu i kumulativne verovatnoće na trećem ulazu. Drugi sabirak je jednak proizvodu gustine verovatnoće na drugom ulazu, kumulativne verovatnoće na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće na trećem ulazu. Treći sabirak je jednak proizvodu gustine verovatnoće na trećem ulazu, kumulativne verovatnoće na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće na drugom ulazu. Pomoću izraza (2.88) dobijaju se grafički prikazi gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijelnika sa tri ulaza.



Slika 2.24. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijelnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra m i κ .

Na slici 2.24. prikazan je grafikon gustine verovatnoće za različite parametre sistema m i κ i konstantne vrednosti srednjih snaga. Na osnovu grafika se može zaključiti da maksimum krivih raste sa povećanjem parametra m i κ .

Slika 2.25. dodatno ukazuje na uticaj parametra srednjih snaga na gustinu verovatnoće. Sa povećanjem vrednosti srednjih snaga dolazi do smanjenja maksimuma krivi gustine verovatnoće i pomeranje krivi ka većim vrednostima anvelope signala.

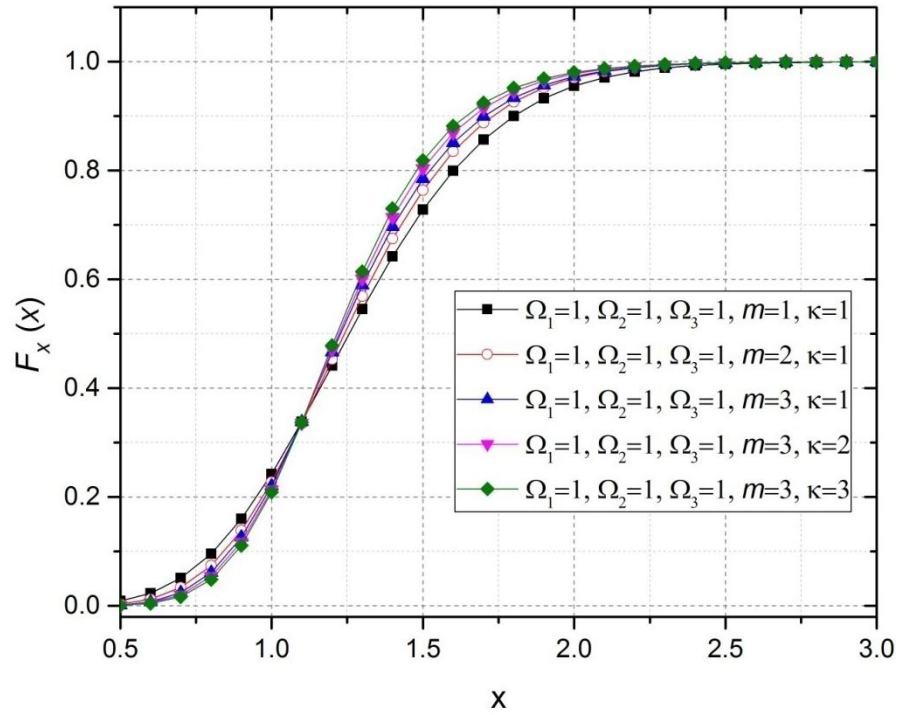


Slika 2.25. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 .

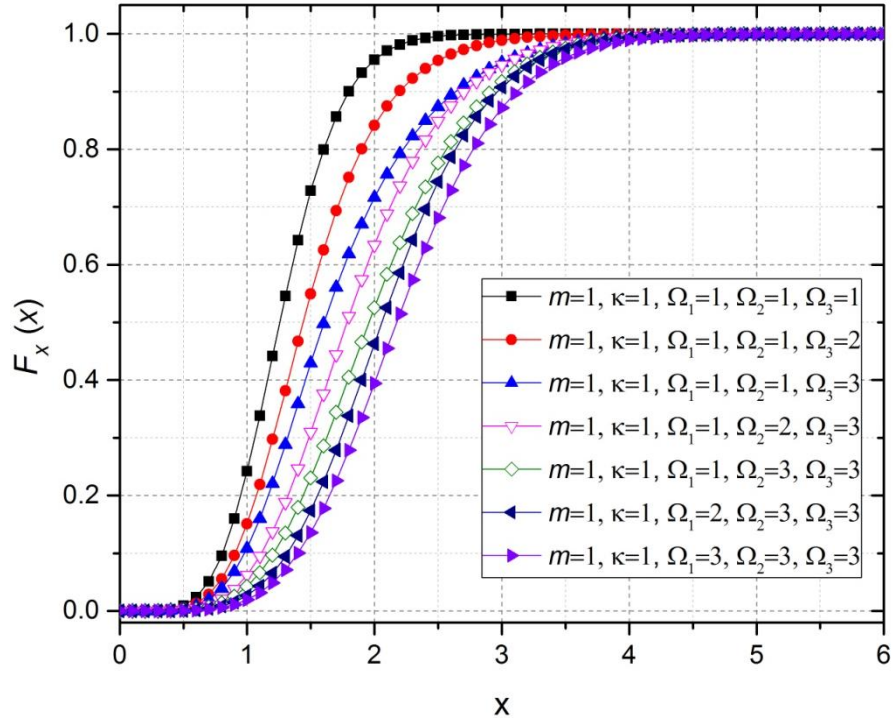
Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijmnika x jednaka je [29]:

$$F_x(x) = F_{x_1}(x)F_{x_2}(x)F_{x_3}(x) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_1} x^2\right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2}\right)^{i_1} \times \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1}\right)^{i_1+1} \gamma\left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2\right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}}\right). \quad (2.89)$$

Pomoću izraza (2.89) dobijaju se grafički prikazi kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza. Kumulativna gustina verovatnoće je prikazana na Slici 2. 26. i Slici 2.27. u zavisnosti od anvelope signala za različite parametre sistema.



Slika 2.26. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra m i κ .



Slika 2.27. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza, za različite vrednosti parametra Ω_1, Ω_2 i Ω_3 .

Sa slike 2.26. može se uočiti da sa povećanjem parametra κ i m dolazi do smanjenja kumulativne gustine za male vrednosti anvelope signala dok za veće vrednosti anvelope signala dolazi do rasta krivi za kumulativnu gustinu verovatnoće. Sa slike 2.27. može se uočiti da sa povećanjem srednjih snaga dolazi do smanjenja kumulativne gustine verovatnoće odnosno dolazi do poboljšanja performansi sistema kao što se i očekivalo.

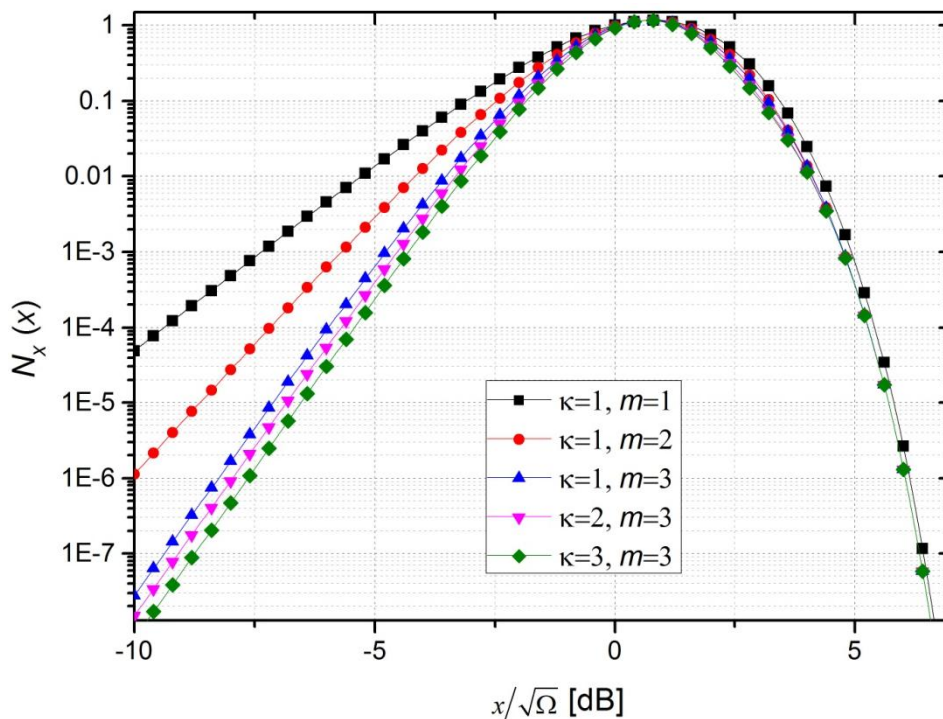
Združena gustina verovatnoće na izlazu iz SC prijelnika od x i \dot{x} je [29]:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x)F_{x_3} + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_3} + p_{x_3\dot{x}_3}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \\
&\times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2 \right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \right) + \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} x^{2i_2-1} \quad (2.90) \\
&\times e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_2}}} e^{-\frac{\dot{x}_2^2}{2\sigma_{\dot{x}_2}^2}} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x^2 \right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \right) + \frac{2x}{\Omega_3} e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_3}}} e^{-\frac{\dot{x}_3^2}{2\sigma_{\dot{x}_3}^2}} \\
&\times \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_3} \frac{1}{(i_3!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_3+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x^2 \right).
\end{aligned}$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz SC prijelnika x jednak je [29]:

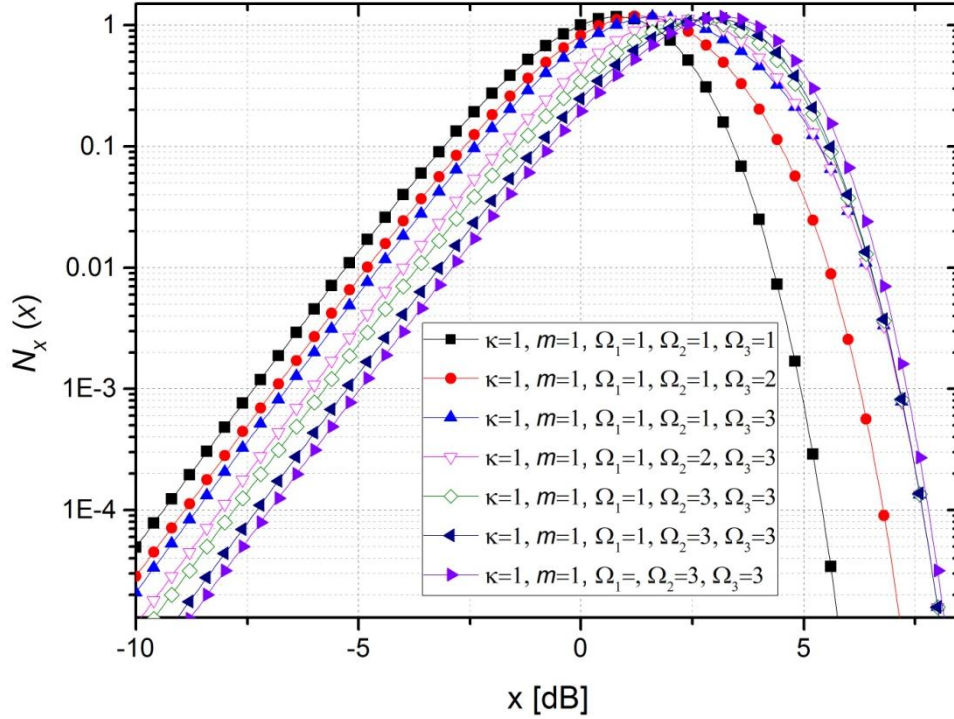
$$\begin{aligned}
N_x &= \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x})F_{x_2}(x)F_{x_3} + \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_3} + \\
&+ \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x_3\dot{x}_3}(x\dot{x})F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = N_{x_1}F_{x_2}(x)F_{x_3} + N_{x_2}F_{x_1}(x)F_{x_3} + N_{x_3}F_{x_1}(x)F_{x_2} = \\
&= \frac{2\pi f_m}{\Gamma(m)\sqrt{2\pi}} \frac{m^{m-1/2}}{\Omega_1^{m-1/2}} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \\
&\times \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2 \right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \right) + \frac{\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{\Omega_2^{1/2}}{(\kappa+1)^{1/2}} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x^{i_1-1} \\
&\times e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x^2 \right) \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \right) + \frac{2\pi f_m x}{\sqrt{2\pi\Omega_3^{1/2}}} e^{-\frac{x^2}{\Omega_3}} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \\
&\times \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (2.91)
\end{aligned}$$

Pomoću izraza (2.91) dobijaju se grafički prikaz srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza.



Slika 2.28. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i sa različitim vrednostima Rajsovog κ faktora.

Slika 2.28. i Slika 2.29. grafički prikazuju normalizovani srednji broj osnih preseka za razmatrani model u zavisnosti od anvelope signala. Sa slike 2.28. evidentno je da sa povećanjem parametra m i κ dolazi do smanjena broja osnih preseka u celom posmatranom opsegu anvelope signala. Uticaj srednjih snaga na normalizovani srednji broj osnih preseka prikazan je na Slici 2.29. i ukazuje da sa povećanjem srednje snage dolazi do smanjenja srednjeg broja osnih preseka u opsegu malih vrednosti anvelope signala dok za veće vrednosti anvelope signala dolazi do povećanja srednjeg broja osnih preseka.

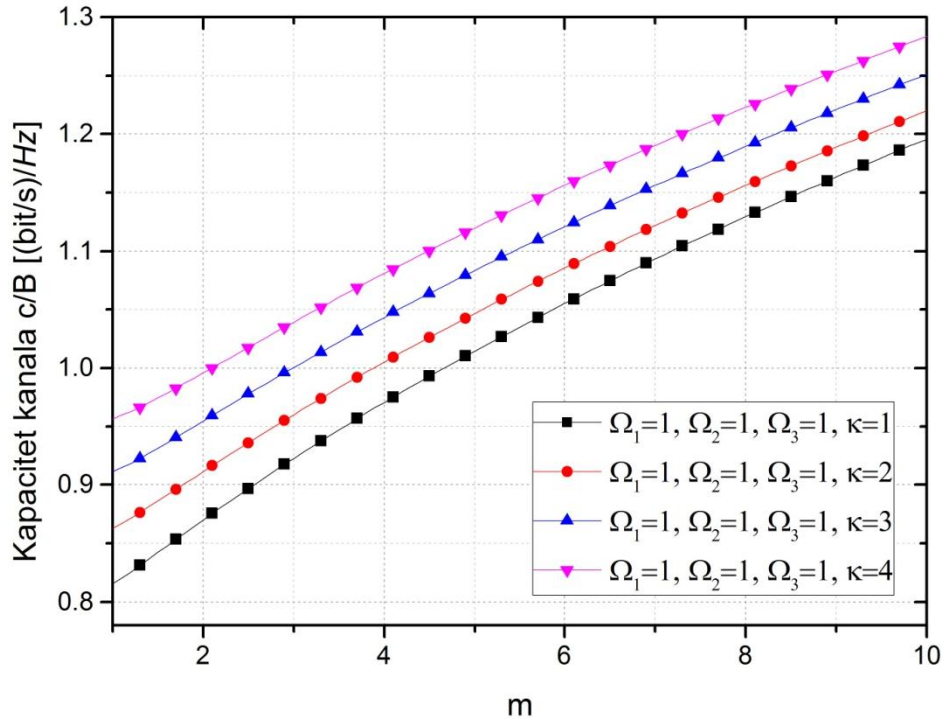


Slika 2.29. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra srednje snage signala Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 .

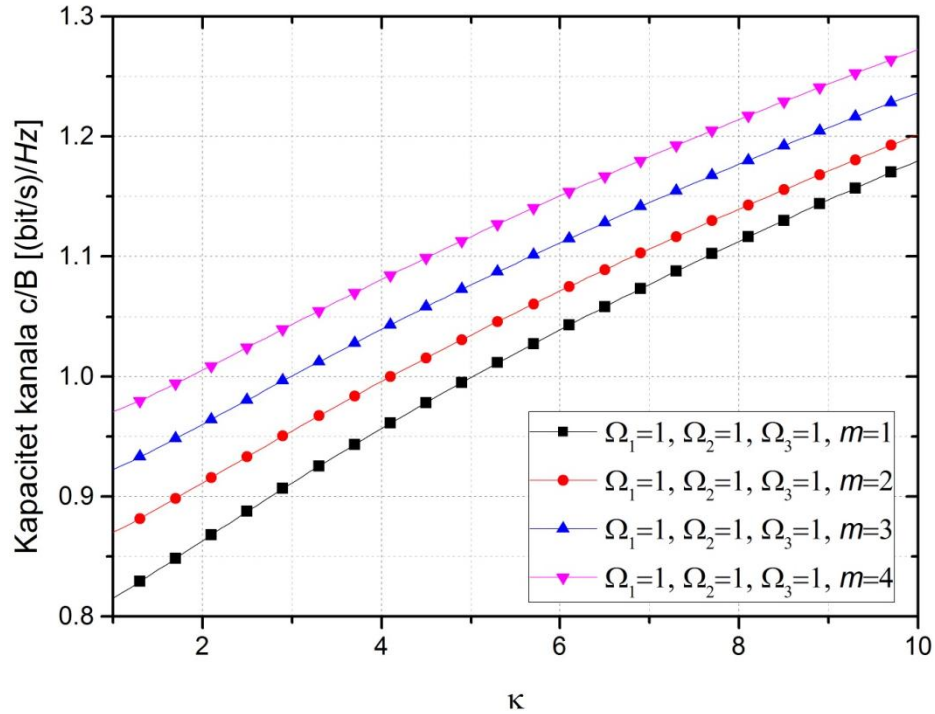
Kapacitet kanala se dobija usrednjavanjem Šenovog izraza za kapacitet kanala. Kapacitet kanala je važna karakteristika kanala [26], [27]. Kapacitet kanala, verovatnoća greške i verovatnoća otkaza su performanse sistema prvog reda, a srednji broj osnih preseka se performanse sistema drugog reda. Kapacitet kanala je jednak:

$$\frac{c}{B} = \int_0^{\infty} dx \left(\ln(1+x^2) \right) p_x(x). \quad (2.92)$$

Pomoću izraza (2.92) dobijaju se grafički prikazi kapaciteta signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza. Sa povećanjem parametra m i κ dolazi do povećanja kapaciteta kanala na šta ukazuju Slika 2.30. i Slika 2.31.



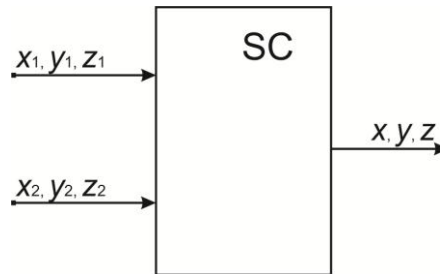
Slika 2.30. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m , a za različite vrednosti Rajsovog κ faktora.



Slika 2.31. Kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ faktora, a za različite vrednosti parametra oštine fedinga m .

2.4. Performanse SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interference

Razmatra se SC prijemnik sa dva ulaza. Na prvom ulazu je prisutan signal x_1 i interferenca y_1 , a na drugom ulazu je prisutan signal x_2 i interferenca y_2 . Odnos signala i interference na prvom ulazu je označen sa z_1 , a odnos signala i interference na drugom ulazu je označen sa z_2 . Signala na izlazu iz SC prijemnika je označen sa x , interference na izlazu iz SC prijemnika je označena sa y i odnos signala i interference iz SC prijemnika je označen sa z . Odnos signala i interference na izlazu iz SC prijemnika jednak je odnosu signala i interference na prvom ulazu u SC prijemnik kada je odnos signala i interference na prvom ulazu veći od drugog ulaza u SC prijemnik, dok signal z je jednak z_2 kada važi sledeća relacija $z_2 > z_1$. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 2.32.



Slika 2.32. SC prijemnik sa dva ulaza.

Signal x_1 ima Nakagami- m gustinu verovatnoće [53]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 > 0. \quad (2.93)$$

Interferenca y_1 ima Nakagami- m gustinu verovatnoće [53]:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} y_1^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{s_1} y_1^2}, \quad y_1 > 0. \quad (2.94)$$

Slučajna promenljiva z_1 jednaka je količniku dve slučajne promenljive [17], [49], [50]:

$$z_1 = \frac{x_1}{y_1}, \quad x_1 = z_1 y_1. \quad (2.95)$$

Gustina verovatnoće od z_1 je:

$$p_{z_1}(z_1) = \int_0^{\infty} dy_1 y_1 p_{x_1}(z_1 y_1) p_{y_1}(y_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} z_1^{2m_1-1} \times \Gamma(m_1 + m_2) \frac{1}{2} (\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2} \frac{1}{(m_1 s_1 z_1^2 + m_2 \Omega_1)^{m_1+m_2}}. \quad (2.96)$$

Kumulativna verovatnoća od z_1 je:

$$F_{z_1}(z_1) = \int_0^{z_1} dt p_{z_1}(t) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} \Gamma(m_1 + m_2) \times \frac{1}{2} (\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2} \int_0^{z_1} dt \frac{t^{2m_1-1}}{(m_1 s_1 t^2 + m_2 \Omega_1)^{m_1+m_2}}. \quad (2.97)$$

Predhodni integral se može rešiti, koristeći definiciju nepotpune Beta funkcije [29]:

$$\int_0^{\lambda} \frac{x^m}{(a + bx^n)^p} = \frac{a^{-p}}{n} \left(\frac{a}{b} \right)^{(m+1)/n} B_z \left(\frac{m+1}{n}, p - \frac{m+1}{n} \right); \quad (2.98)$$

$$z = \frac{b\lambda^n}{a + b\lambda^n}, \quad a > 0, \quad b > 0, \quad n > 0, \quad 0 < \frac{m+1}{n} < p.$$

Daljom zamenom dobijamo:

$$F_{z_1}(z_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} \Gamma(m_1 + m_2) \frac{1}{2} (\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2} \times \left(\frac{m_2 \Omega_1}{2} \right)^{-(m_1+m_2)} \left(\frac{m_2 \Omega_1}{m_1 s_1} \right)^{m_1} \beta \left(\frac{m_1 s_1 z_1^2}{(m_2 \Omega_1 + m_1 s_1 z_1^2)}, m_1, m_2 \right). \quad (2.99)$$

Razmatra se količnik dve slučajne promenljive. Za ovaj količnik treba odrediti srednji broj osnih preseka. Prvo se odredi združena gustina verovatnoće od količnika dve slučajne promenljive i prvog izvoda od količnika dve slučajne promenljive. Na osnovu ove združene gusine verovatnoće se odredi srednja vrednost prvog izvoda. Srednja vrednost prvog izvoda je srednji broj onih preseka. Može se odrediti i srednja vrednost drugog izvoda, srednja vrednost drugog izvoda je srednji broj osnih preseka koji se dobija od slučajnog procesa prvog izvoda.

Slučajna promenljiva z_1 je:

$$z_1 = \frac{x_1}{y_1}, \quad x_1 = z_1 y_1, \quad \dot{z}_1 = \frac{\dot{x}_1}{y_1} - \frac{x_1}{y_1^2} \dot{y}_1, \quad \overline{\dot{z}_1} = \overline{\frac{\dot{x}_1}{y_1}} - \frac{x_1 \overline{\dot{y}_1}}{y_1^2} = 0. \quad (2.100)$$

gde je $\overline{\dot{x}_1} = \overline{\dot{y}_1} = 0$.

Varijansa od \dot{z}_1 je:

$$\sigma_{\dot{z}_1}^2 = \frac{1}{y_1^2} \sigma_{\dot{x}_1}^2 + \frac{x_1^2}{y_1^4} \sigma_{\dot{y}_1}^2. \quad (2.101)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m_1}$, $\sigma_{\dot{y}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{s_1}{m_2}$.

Nakon zamene varijansa od \dot{z}_1 je:

$$\sigma_{\dot{z}_1}^2 = \frac{\pi^2 f_m^2}{y_1^2} \left(\frac{\Omega_1}{m_1} + \frac{z_1^2 s_1}{m_2} \right) = \frac{\pi^2 f_m^2}{y_1^2 m_1 m_2} (\Omega_1 m_2 + z_1^2 s_1 m_1). \quad (2.102)$$

Združena gustina verovatnoće od z_1, \dot{z}_1, y_1 je:

$$p_{z_1 \dot{z}_1 y_1} (z_1 \dot{z}_1 y_1) = p_{\dot{z}_1} (\dot{z}_1 / z_1 y_1) p_{z_1 y_1} (z_1 y_1) = p_{\dot{z}_1} (\dot{z}_1 / z_1 y_1) p_{y_1} (y_1) p_{z_1} (z_1 / y_1). \quad (2.103)$$

gde je: $p_{z_1} (z_1 / y_1) = \left| \frac{dx_1}{dz_1} \right| p_{x_1} (z_1 y_1)$, $\frac{dx_1}{dz_1} = y_1$.

Združena gustina verovatnoće od z_1, \dot{z}_1, y_1 nakon zemene je:

$$p_{z_1 \dot{z}_1 y_1} (z_1 \dot{z}_1 y_1) = p_{\dot{z}_1} (\dot{z}_1 / z_1 y_1) p_{y_1} (y_1) y_1 p_{x_1} (z_1 y_1). \quad (2.104)$$

Združena gustina verovatnoće od z_1 i \dot{z}_1 je:

$$p_{z_1 \dot{z}_1} (z_1 \dot{z}_1) = \int_0^{\infty} dy_1 y_1 p_{x_1} (z_1 y_1) p_{y_1} (y_1) p_{\dot{z}_1} (\dot{z}_1 / z_1 y_1). \quad (2.105)$$

Srednji broj osnih preseka se dobija usrednjavanjem združene gustine verovatnoće signala i prvog izvoda. Srednji broj osnih preseka od z_1 je [29]:

$$\begin{aligned} N_{z_1} (z_1) &= \int_0^{\infty} d\dot{z}_1 \dot{z}_1 p_{z_1 \dot{z}_1} (z_1 \dot{z}_1) = \int_0^{\infty} d\dot{z}_1 \dot{z}_1 \int_0^{\infty} dy_1 y_1 p_{x_1} (z_1 y_1) p_{y_1} (y_1) p_{\dot{z}_1} (\dot{z}_1 / z_1 y_1) = \\ &= \int_0^{\infty} dy_1 y_1 p_{x_1} (z_1 y_1) p_{y_1} (y_1) \int_0^{\infty} d\dot{z}_1 \dot{z}_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{z}_1}^2}} e^{-\frac{\dot{z}_1^2}{2\sigma_{\dot{z}_1}^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{m_1^{1/2} m_2^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \\ &\times \frac{1}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} z_1^{2m_1-1} \frac{1}{2} (\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2-1/2} \Gamma(m_1+m_2-1/2) \frac{1}{(m_1 s_1 z_1^2 + \Omega_1 m_2)^{m_1+m_2-1/2}}. \end{aligned} \quad (2.106)$$

Signal x_2 ima Rajsovu gustinu verovatnoće [55]:

$$p_{x_2} (x_2) = \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1 \Omega_2}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} x_2^{2i+1} e^{-\frac{\kappa_1+1}{\Omega_2} x_2^2}, \quad x_2 \geq 0. \quad (2.107)$$

Interferenca y_2 ima Rajsovu gustinu verovatnoće [55]:

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2(\kappa_2 + 1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} y_2^{2i_2+1} e^{-\frac{\kappa_2+1}{s_2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0. \quad (2.108)$$

Promenljiva x_2 je količnik od x_2 i y_2 . Za ovaj količnik treba odrediti srednji broj osnih preseka. Srednji broj osnih preseka od količnika dve Rajsove slučajne promenljive se određuje na sledeći način:

$$z_2 = \frac{x_2}{y_2}, \quad x_2 = z_2 y_2. \quad (2.109)$$

Gustina verovatnoće od z_2 je:

$$\begin{aligned} p_{z_2}(z_2) &= \int_0^{\infty} dy_2 y_2 p_{x_2}(z_2 y_2) p_{y_2}(y_2) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2 + 1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \frac{1}{2} z_2^{2i_1+1} \\ &\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} (\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+2} \Gamma(i_1 + i_2 + 2) \frac{1}{((\kappa_1 + 1)s_2 z_2^2 + (\kappa_2 + 1)\Omega_2)^{i_1+i_2+2}}. \end{aligned} \quad (2.110)$$

Kumulativna verovatnoća od z_2 je:

$$\begin{aligned} F_{z_2}(z_2) &= \int_0^{z_2} dt p_{z_2}(t) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2 + 1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{s_2} \right)^{i_2} \\ &\times \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} (\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+2} \Gamma(i_1 + i_2 + 2) \int_0^{z_2} dt \frac{t^{2i_1+1}}{((\kappa_1 + 1)s_2 t^2 + (\kappa_2 + 1)\Omega_2)^{i_1+i_2+2}}. \end{aligned} \quad (2.111)$$

Predhodni integral se može rešiti, koristeći definiciju nepotpune Beta funkcije izraz (2.98).

Daljom zamenom dobijamo:

$$\begin{aligned} F_{z_2}(z_2) &= \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2 + 1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \\ &\times \frac{1}{2} (\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+2} \Gamma(i_1 + i_2 + 2) \frac{((\kappa_2 + 1)\Omega_2)^{-(i_1+i_2+2)}}{2} \left(\frac{((\kappa_2 + 1)\Omega_2)}{((\kappa_1 + 1)s_2)} \right)^{i_1+1} \\ &\times \beta \left(\frac{(\kappa_1 + 1)s_2 z_2^2}{((\kappa_2 + 1)\Omega_2 + (\kappa_1 + 1)s_2 z_2^2)}, i_1 + 1, i_2 + 1 \right). \end{aligned} \quad (2.112)$$

Slučajna promenljiva z_2 je:

$$z_2 = \frac{x_2}{y_2}, \quad x_2 = z_2 y_2, \quad \dot{z}_2 = \frac{\dot{x}_2}{y_2} - \frac{x_2}{y_2^2} \dot{y}_2, \quad \dot{x}_2 = \dot{z}_2 y_2 + z_2 \dot{y}_2. \quad (2.113)$$

\dot{z}_2 ima uslovnu Gausovu gustinu verovatnoće. Prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva [42]. Linearnom transformacijom Gausovih slučajnih promeljivih je Gausova slučajna promenljiva. Srednja vrednost od \dot{z}_2 je: $\overline{\dot{z}_2} = \frac{\overline{\dot{x}_2}}{y_2} - \frac{x_2}{y_2^2} \overline{\dot{y}_2} = 0$, pošto je $\overline{\dot{x}_2} = \overline{\dot{y}_2} = 0$. Varijansa od prvog izvoda količnika se može odrediti. Varijansa je jednaka varijansi svakog člana. Koficijenti ispred slučajne promenljive se kvadriraju. Varijansa od \dot{z}_2 je:

$$\sigma_{\dot{z}_2}^2 = \frac{1}{y_2^2} \sigma_{\dot{x}_2}^2 + \frac{x_2^2}{y_2^4} \sigma_{\dot{y}_2}^2. \quad (2.114)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_2}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{\kappa_1 + 1}$, $\sigma_{\dot{y}_2}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{s_1}{\kappa_2 + 1}$.

Zamenom se dobija:

$$\sigma_{\dot{z}_2}^2 = \frac{\pi^2 f_m^2}{y_1^2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa_1 + 1} + \frac{z_2^2 s_2}{\kappa_2 + 1} \right) = \frac{\pi^2 f_m^2}{y_1^2 (\kappa_1 + 1) (\kappa_2 + 1)} \left(\Omega_2 (\kappa_2 + 1) + \dot{z}_2^2 s_2 (\kappa_1 + 1) \right). \quad (2.115)$$

Združena gustina verovatnoće od z_2, \dot{z}_2, y_2 je:

$$p_{z_2 \dot{z}_2 y_2} (z_2 \dot{z}_2 y_2) = p_{\dot{z}_2} (\dot{z}_2 / z_2 y_2) p_{z_2 y_2} (z_2 y_2) = p_{\dot{z}_2} (\dot{z}_2 / z_2 y_2) p_{y_2} (y_2) p_{z_2} (z_2 / y_2). \quad (2.116)$$

gde je: $p_{z_2} (z_2 / y_2) = \left| \frac{dx_2}{dz_2} \right| p_{x_2} (z_2 y_2)$, $\frac{dx_2}{dz_2} = y_2$.

Združena gustina verovatnoće od z_2, \dot{z}_2, y_2 nakon zemene je:

$$p_{z_2 \dot{z}_2 y_2} (z_2 \dot{z}_2 y_2) = p_{\dot{z}_2} (\dot{z}_2 / z_2 y_2) p_{y_2} (y_2) y_2 p_{x_2} (z_2 y_2). \quad (2.117)$$

Združena gustina verovatnoće od z_2 i \dot{z}_2 je:

$$p_{z_2 \dot{z}_2} (z_2 \dot{z}_2) = \int_0^{\infty} dy_2 y_2 p_{x_2} (z_2 y_2) p_{y_2} (y_2) p_{\dot{z}_2} (\dot{z}_2 / z_2 y_2). \quad (2.118)$$

Srednji broj osnih preseka je važna statistička veličina slučajnog procesa. Može se odrediti srednja vrednost, srednja kvadratna vrednost, srednja kubna vrednost, srednja vrednost četvrtog stepena i srednja vrednost petog stepena. Srednja vrednost od n-tog stepena nekog izraza se računa na taj način što se izraz stepenuje n-tim stepenom i od svakog člana odredi srednja

vrednost. Može se odrediti srednji broj osnih preseka od n-tog stepena. Prvo se izdraz stepenuje n-tim članom. Zatim se odredi združena gustina verovatnoće od odgovarajućeg izraza i njegovog prvog izvoda. Srednji broj osnih preseka ovog izraza se dobija usrednjavanjem. Srednji broj osnih preseka od z_2 je [29]:

$$\begin{aligned}
N_{z_2}(z_2) &= \int_0^\infty d\dot{z}_2 \dot{z}_2 p_{z_2\dot{z}_2}(z_2\dot{z}_2) = \int_0^\infty d\dot{z}_2 \dot{z}_2 \int_0^\infty dy_2 y_2 p_{x_2}(z_2 y_2) p_{y_2}(y_2) p_{\dot{z}_2}(\dot{z}_2/z_2 y_2) = \\
&= \int_0^\infty dy_2 y_2 p_{x_2}(z_2 y_2) p_{y_2}(y_2) \int_0^\infty d\dot{z}_2 \dot{z}_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{z}_2}}} e^{-\frac{\dot{z}_2^2}{2\sigma_{\dot{z}_2}^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{(\kappa_1+1)^{1/2} (\kappa_2+1)^{1/2}} \\
&\times \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2+1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \\
&\times z_2^{2i_1+1} \frac{1}{2} (\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+3/2} \Gamma(i_1+i_2+3/2) \frac{1}{((\kappa_1+1)z_2^2 s_2 + (\kappa_2+1)\Omega_2)^{i_1+i_2+1}}.
\end{aligned} \tag{2.119}$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je [29]:

$$\begin{aligned}
p_z(z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2) &= p_{z_1}(z_1/s_1 \Omega_1) F_{z_2}(z_2/s_2 \Omega_2) + p_{z_2}(z_2/s_2 \Omega_2) F_{z_1}(z_1/s_1 \Omega_1) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} z^{2m_1-1} \Gamma(m_1+m_2) \frac{1}{2} (\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2} \frac{\Gamma(i_1+i_2+2)}{(m_1 s_1 z^2 + m_2 \Omega_1)^{m_1+m_2}} \\
&\times \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2+1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{(\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+2}}{2} \\
&\times \frac{((\kappa_2+1)\Omega_2)^{-(i_1+i_2+2)}}{2} \left(\frac{((\kappa_2+1)\Omega_2)}{((\kappa_1+1)s_2)} \right)^{i_1+1} \beta \left(\frac{(\kappa_1+1)s_2 z^2}{((\kappa_2+1)\Omega_2 + (\kappa_1+1)s_2 z^2)}, i_1+1, i_2+1 \right) + \\
&+ \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2+1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{s_2} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} z^{2i_1-1} \frac{1}{2} \\
&\times \Gamma(i_1+i_2+2) \frac{(\Omega_2 s_2)^{i_1+i_2+2}}{((\kappa_1+1)s_2 z^2 + (\kappa_2+1)\Omega_2)^{i_1+i_2+2}} \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1} \right)^{m_2} \\
&\times \frac{(\Omega_1 s_1)^{m_1+m_2}}{2} \Gamma(m_1+m_2) \left(\frac{m_2 \Omega_1}{2} \right)^{-(m_1+m_2)} \left(\frac{m_2 \Omega_1}{m_1 s_1} \right)^{m_1} \beta \left(\frac{m_1 s_1 z^2}{(m_2 \Omega_1 + m_1 s_1 z^2)}, m_1, m_2 \right)
\end{aligned} \tag{2.120}$$

Gustina verovatnoće od z zavisi od parametra s_1 , s_2 , Ω_1 i Ω_2 . Parameter s_1 je snaga jedne interference, a s_2 je snaga druge interference. Parameter Ω_1 je snaga signala na jednom ulazu, a

parameter Ω_2 je snaga signala na drugom ulazu u SC prijemnik. Uslovna gustina verovatnoće od z ima dva člana. Prvi član je gustina verovatnoće od z_1 pomnožena sa kumulativnom verovatnoćom od z_2 , a drugi član je proizvod od gustine verovatnoće od z_2 pomnožena sa kumulativnom verovatnoćom od z_1 . Potrebno je poznavati gustinu verovatnoće od s_1 i s_2 , kumulativnu verovatnoću od s_1 i s_2 , karakteristične funkcije od s_1 i s_2 i momente od s_1 i s_2 . Može se odrediti srednji broj osnih preseka od s_1 i s_2 .

Gustina verovatnoće od s_1 je [72]:

$$p_{s_1}(s_1) = \frac{1}{\Gamma(c_1)\beta_1^{c_1}} s_1^{c_1-1} e^{-\frac{1}{\beta_1}s_1}, \quad s_1 \geq 0. \quad (2.121)$$

Gustina verovatnoće od s_2 je [72]:

$$p_{s_2}(s_2) = \frac{1}{\Gamma(c_1)\beta_2^{c_1}} s_2^{c_1-1} e^{-\frac{1}{\beta_2}s_2}, \quad s_2 \geq 0. \quad (2.122)$$

Parameteri s_1 i s_2 imaju Gama gustinu verovatnoće, Gama kumulativnu verovatnoću, Gama karakterističnu funkciju, Gama srednju vrednost, Gama srednju kvadratnu vrednost i Gama srednju kubnu vrednost.

Gustina verovatnoće od Ω_1 je [72]:

$$p_{\Omega_1}(\Omega_1) = \frac{1}{\Gamma(c_2)\alpha_1^{c_2}} \Omega_1^{c_2-1} e^{-\frac{1}{\alpha_1}\Omega_1}, \quad \Omega_1 \geq 0. \quad (2.123)$$

Gustina verovatnoće od Ω_2 je [72]:

$$p_{\Omega_2}(\Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(c_2)\alpha_2^{c_2}} \Omega_2^{c_2-1} e^{-\frac{1}{\alpha_2}\Omega_2}, \quad \Omega_2 \geq 0. \quad (2.124)$$

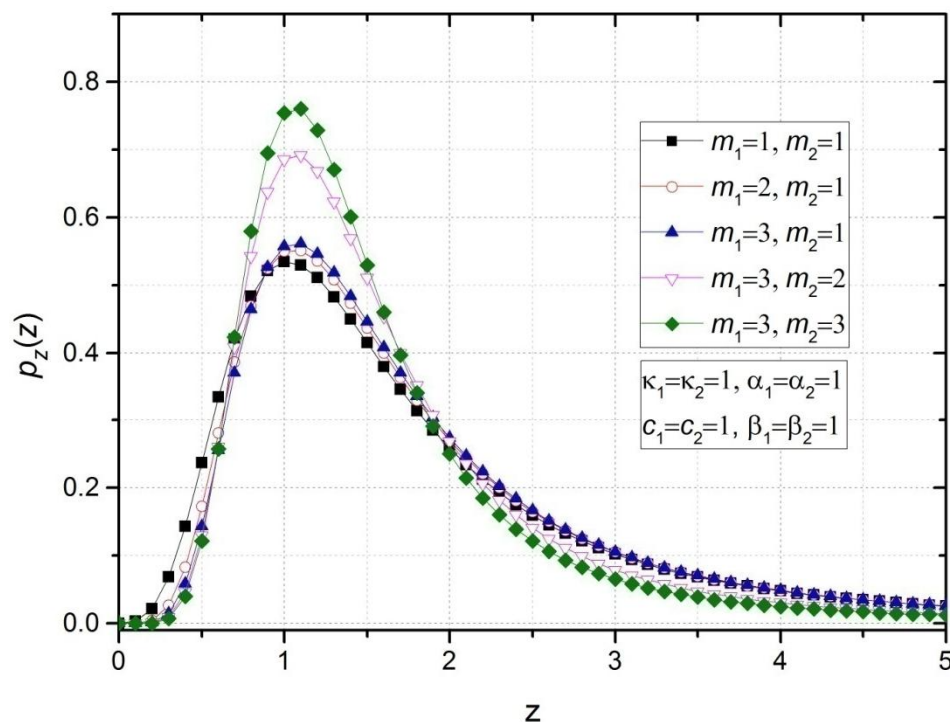
Snage signala Ω_1 i Ω_2 imaju Gama gustinu verovatnoće. Može se odrediti gustina verovatnoće Gama raspodele, kumulativna verovatnoća Gama raspodele, karakteristična funkcija Gama raspodele, srednja vrednost ili prvi moment Gama raspodele, srednja kvadratna vrednost ili drugi moment Gama raspodele i treći i četvrti moment Gama raspodele.

Uslovna kumulativna verovatnoće od z je [29]:

$$\begin{aligned}
F_z(z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2) &= F_{z_1}(z_1/s_1 \Omega_1) F_{z_2}(z_2/s_2 \Omega_2) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1}\right)^{m_2} \frac{1}{2} \Gamma(m_1 + m_2) \\
&\times (\Omega_1 s_1)^{m_1 + m_2} \left(\frac{m_2 \Omega_1}{2}\right)^{-(m_1 + m_2)} \left(\frac{m_2 \Omega_1}{m_1 s_1}\right)^{m_1} \beta\left(\frac{m_1 s_1 z^2}{(m_2 \Omega_1 + m_1 s_1 z^2)}, m_1, m_2\right) \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_2}} \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_2}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2 + 1)}{e^{\kappa_2 s_2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{s_2}\right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{(\Omega_2 s_2)^{i_1 + i_2 + 2}}{2} \Gamma(i_1 + i_2 + 2) \\
&\times \frac{((\kappa_2 + 1)\Omega_2)^{-(i_1 + i_2 + 2)}}{2} \left(\frac{((\kappa_2 + 1)\Omega_2)}{((\kappa_1 + 1)s_2)}\right)^{i_1 + 1} \beta\left(\frac{(\kappa_1 + 1)s_2 z^2}{((\kappa_2 + 1)\Omega_2 + (\kappa_1 + 1)s_2 z^2)}, i_1 + 1, i_2 + 1\right).
\end{aligned} \tag{2.125}$$

Gustina verovatnoće od z je:

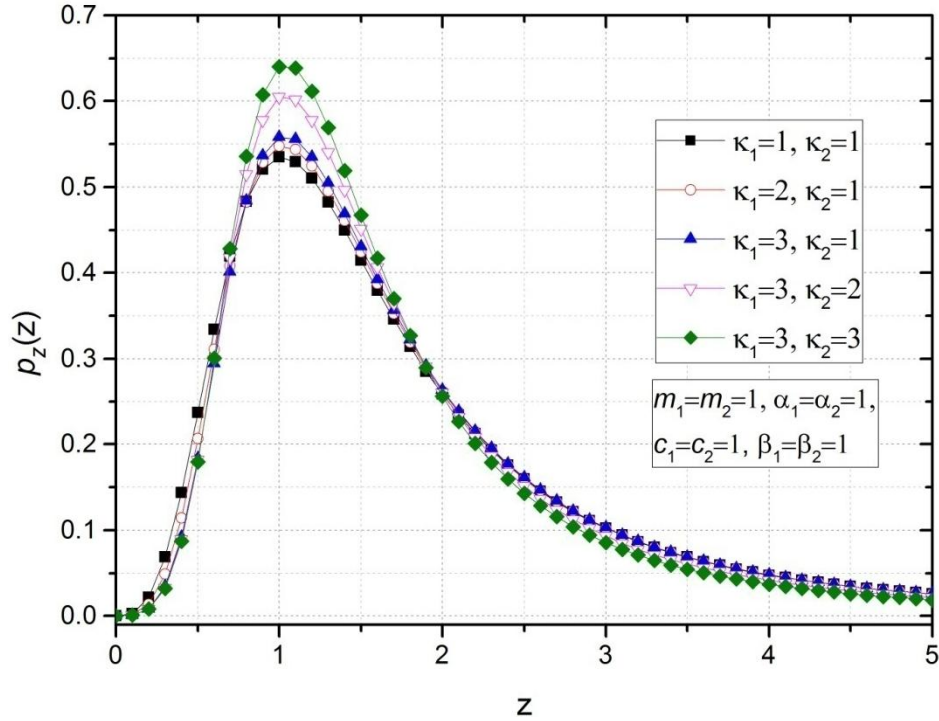
$$p_z(z) = \int_0^{\infty} ds_1 p_{s_1}(s_1) \int_0^{\infty} ds_2 p_{s_2}(s_2) \int_0^{\infty} d\Omega_1 p_{\Omega_1}(\Omega_1) \int_0^{\infty} d\Omega_2 p_{\Omega_2}(\Omega_2) p_z(z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2). \tag{2.126}$$



Slika 2.33. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 .

Na Slici 2.33. grafički je prikazana gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala u prisustvu korisnog signala i interference. Prikazana je sa jednakim parametrom κ_1 , κ_2 , α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 , a za različite vrednosti

parametara oštine fedinga m_1 i m_2 . Porast vrednosti parametara oštine fedinga m_1 i m_2 ima za posledicu sužavanje opsega funkcije gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i povećanje vrednosti maksimuma koji se dostiže za veće vrednosti nivoa primljenog signala.



Slika 2.34. Gustina verovatnoće anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti Rajsovg faktora κ_1 i κ_2 .

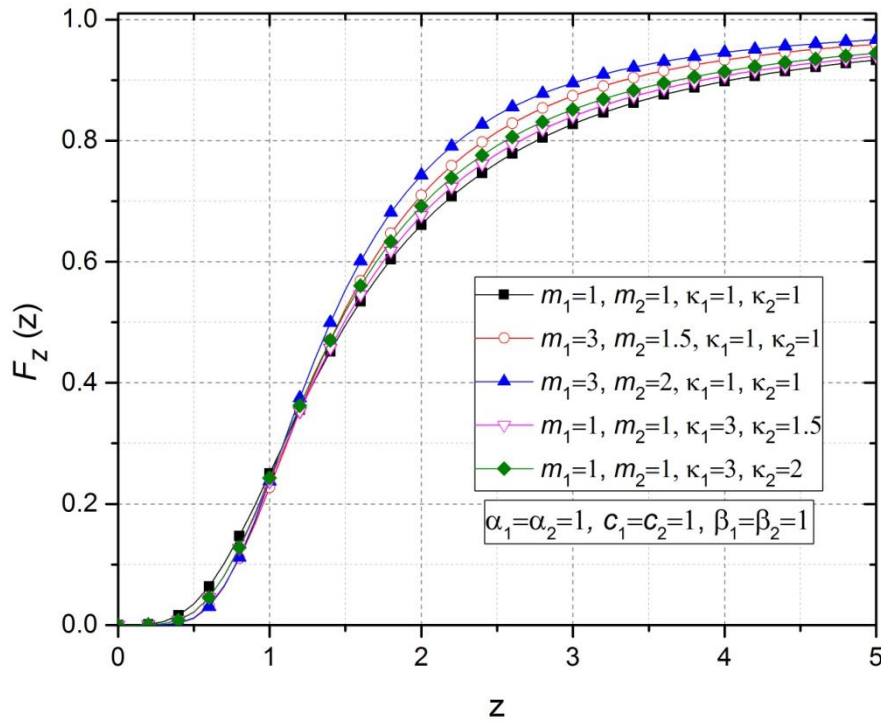
Na Slici 2.34. grafički je prikazana gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala u prisustvu korskog signala i interference. Prikazana je sa jednakim parametrom m_1 , m_2 , α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 , a za različite vrednosti parametara Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 . Porast vrednosti parametara Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 ima za posledicu sužavanje opsega funkcije gustine verovatnoće signala na prijemu, kao i povećanje vrednosti maksimuma koji se dostiže za veće vrednosti nivoa primljenog signala, ali povećanje je izraženije kada raste parametar m_1 i m_2 .

Kumulativna verovatnoće od z je:

$$F_z(z) = \int_0^\infty ds_1 p_{s_1}(s_1) \int_0^\infty ds_2 p_{s_2}(s_2) \int_0^\infty d\Omega_1 p_{\Omega_1}(\Omega_1) \int_0^\infty d\Omega_2 p_{\Omega_2}(\Omega_2) F_z(z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2). \quad (2.127)$$

Pomoću izraza (2.127) dobijaju se grafički prikazi kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala u prisustvu korisnog

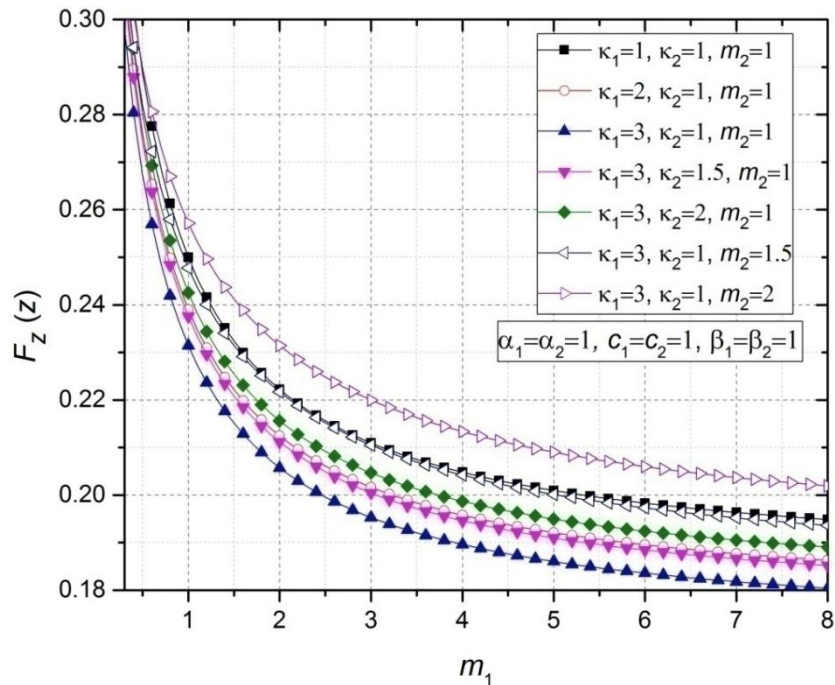
signala i interference. Na Slici 2.35. prikazana je kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala z , prikazana je sa jednakim parametrima $\alpha_1, \alpha_2, c_1, c_2, \beta_1$ i β_2 , a za različitim vrednostima Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 i paramtara oštine fedinga m_1 i m_2 . Na osnovu analitičkog izraza i numeričkih dobijenih rezultata može se zaključiti da sa porastom amplitude signala x kumulativna verovatnoća teži jedinici. Rast kumulativne verovatnoće je izraženiji za više vrednosti Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 i paramtara oštine fedinga m_1 i m_2 .



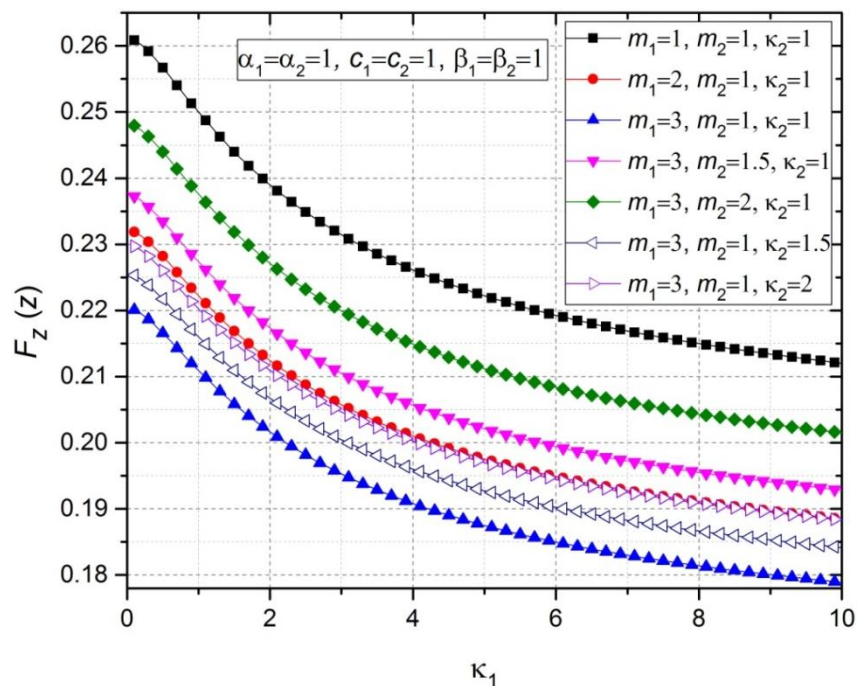
Slika 2.35. Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala u prisustvu koring signala i interference, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 , i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.

Na Slici 2.36. grafički je prikazana kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_1 u prisustvu koring signala i interference. Prikazana je sa jednakim parametrom $\alpha_1, \alpha_2, c_1, c_2, \beta_1$ i β_2 , a za različite vrednosti parametara Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 i parametra oštine fedinga m_2 .

Na Slici 2.37. grafički je prikazana kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_1 u prisustvu koring signala i interference. Prikazana je sa jednakim parametrom $\alpha_1, \alpha_2, c_1, c_2, \beta_1$ i β_2 , a za različite vrednosti parametara oštine fedinga m_1 i m_2 i Rajsovog faktora κ_2 .



Slika 2.36. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra m_1 , za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_2 i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.



Slika 2.37. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_1 , za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_2 faktora.

Uslovna združena gustina verovatnoće od $z\dot{z}$ je:

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}/s_1s_2\Omega_1\Omega_2) = p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}/s_1\Omega_1)F_{z_2}(z_1/s_2\Omega_2) + p_{z_2\dot{z}_2}(z\dot{z}/s_2\Omega_2)F_{z_1}(z_1/s_1\Omega_1). \quad (2.128)$$

Može se odrediti srednji broj osnih preseka usrednjavanjem uslovnog broja osnih preseka. Neki parameter srednjeg broja osnih preseka je promenljiv. Ovaj parameter može da bude Doplerova frekvencija, snaga signala ili parametar m . Doplerova frekvencija može da bude promenljiva, ove promene zavise od više parametra. Histogram ovih parametra se nezvisni. Zbog ovoga može da se pretpostavi da Doplerova frekvencija ima Gausovu gustinu verovatnoće. Ovo je po centralnoj graničnoj teoremi. Varijansa zavisi od Doplerove frekvence. Uslovni srednji broj osnih preseka od z je [29], [72]:

$$\begin{aligned} N_{z/s_1s_2\Omega_1\Omega_2} &= \int_0^\infty d\dot{z} \dot{z} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}/s_1s_2\Omega_1\Omega_2) = \int_0^\infty d\dot{z} \dot{z} p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}/s_1\Omega_1)F_{z_2}(z/s_2\Omega_2) \\ &+ \int_0^\infty d\dot{z} \dot{z} p_{z_2\dot{z}_2}(z\dot{z}/s_2\Omega_2)F_{z_1}(z_1/s_1\Omega_1) = N_{z_1}F_{z_2}(z/s_2\Omega_2) + N_{z_2}F_{z_1}(z/s_1\Omega_1) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{m_1^{1/2}m_2^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1}\right)^{m_2} z^{2m_1-1} \frac{1}{2} (\Omega_1s_1)^{m_1+m_2-1/2} \\ &\times \frac{1}{(m_1s_1z^2 + m_2\Omega_1)^{m_1+m_2-1}} \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2+1)}{e^{\kappa_2s_2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{s_2}\right)^{i_2} \\ &\times \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} (\Omega_2s_2)^{i_1+i_2+2} \Gamma(i_1+i_2+2) \frac{((\kappa_2+1)\Omega_2)^{-(i_1+i_2+2)}}{2} \left(\frac{((\kappa_2+1)\Omega_2)}{((\kappa_1+1)s_2)}\right)^{i_1+1} \\ &\times \beta\left(\frac{(\kappa_1+1)s_2z^2}{((\kappa_2+1)\Omega_2 + (\kappa_1+1)s_2z^2)}, i_1+1, i_2+1\right) + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{(\kappa_1+1)^{1/2}(\kappa_2+1)^{1/2}} \\ &\times \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1\Omega_2}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1+1)}{\Omega_2}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{2(\kappa_2+1)}{e^{\kappa_2s_2}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{s_2}\right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} z^{2i_1-1} \Gamma(i_1+i_2+3/2) \\ &\times \frac{1}{2} (\Omega_2s_2)^{i_1+i_2+3/2} \frac{1}{((\kappa_1+1)s_2z^2 + (\kappa_2+1)\Omega_2)^{i_1+i_2+1}} \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{s_1}\right)^{m_2} \\ &\times \Gamma(m_1+m_2) \frac{1}{2} (\Omega_1s_1)^{m_1+m_2} \left(\frac{m_2\Omega_1}{2}\right)^{-(m_1+m_2)} \left(\frac{m_2\Omega_1}{m_1s_1}\right)^{m_1} \beta\left(\frac{m_1s_1z^2}{(m_2\Omega_1 + m_1s_1z^2)}, m_1, m_2\right). \end{aligned} \quad (2.129)$$

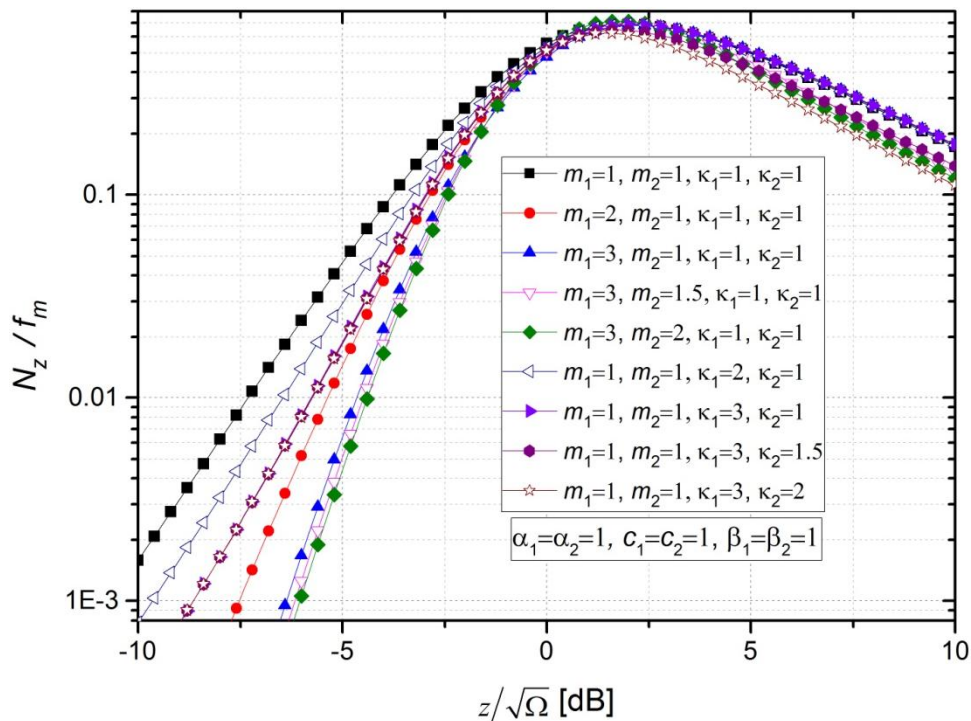
Ovako formiran srednji broj osnih preseka promenljiv. Može da ima neku gustinu verovatnoće. Pomoću ove gustine verovatnoće može se odrediti kumulativna verovatnoća

srednjeg broja osnih preseka, a može se odrediti i karakteristična funkcija srednjeg broja osnih preseka.

Srednji broj osnih preseka zavisi od srednje snage signala u jednom trenutku vremena, srednje snage signala u drugom trenutku vremena, srednje snage interference u jednom trenutku vremena i srednje snage interference u drugom trenutku vremena. Ove snage mogu da imaju različite raspodele, srednje snage signala u jednom trenutku vremena mogu da imaju Gausovu raspodelu a u drugom Relijevu raspodelu. Isto važi i za srednje snage interference. Srednji broj osnih preseka se dobija usrednjavanjem:

$$N_z = \int_0^{\infty} ds_1 p_{s_1}(s_1) \int_0^{\infty} ds_2 p_{s_2}(s_2) \int_0^{\infty} d\Omega_1 p_{\Omega_1}(\Omega_1) \int_0^{\infty} d\Omega_2 p_{\Omega_2}(\Omega_2) N_{z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2}. \quad (2.130)$$

Pomoću izraza (2.130) dobija se grafički prikaz srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza.



Slika 2.38. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m_1 i m_2 , i sa različitim vrednostima Rajsovog κ_1 i κ_2 faktora.

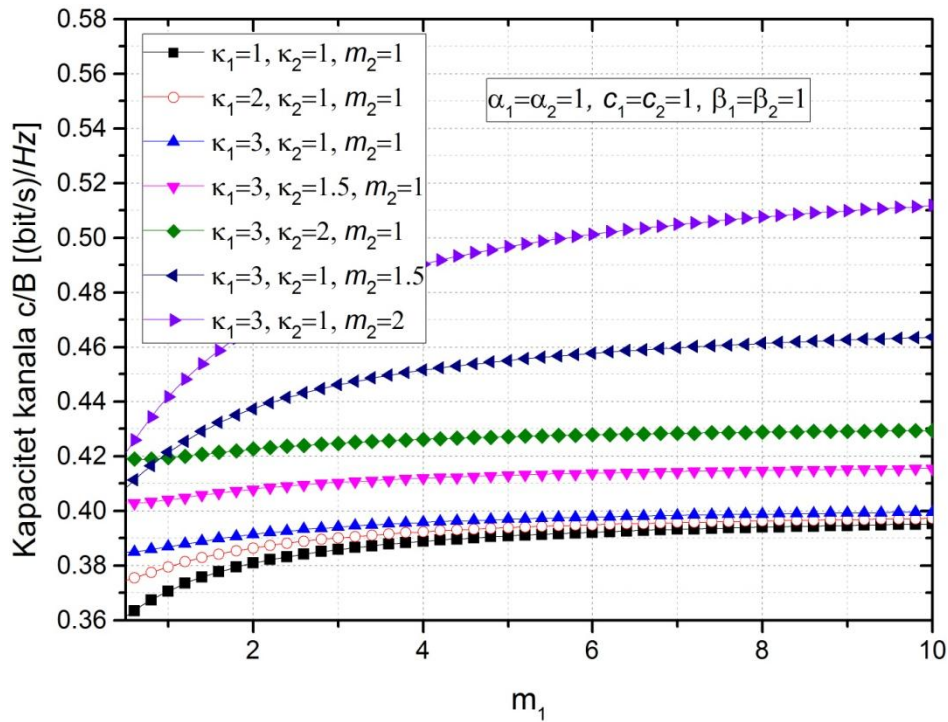
Na Slici 2.38. grafički je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od anvelope signala x i kvadratanog korena srednje snage signala Ω , gde je $\Omega = \Omega_1 = \Omega_2$, sa jednakim

vredostima parametra α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 , a za različite vrednosti parametara Rajsovog faktora κ_1 i κ_2 i parametra oštine fednga m_1 i m_2 .

Kapacitet kanala jednak je:

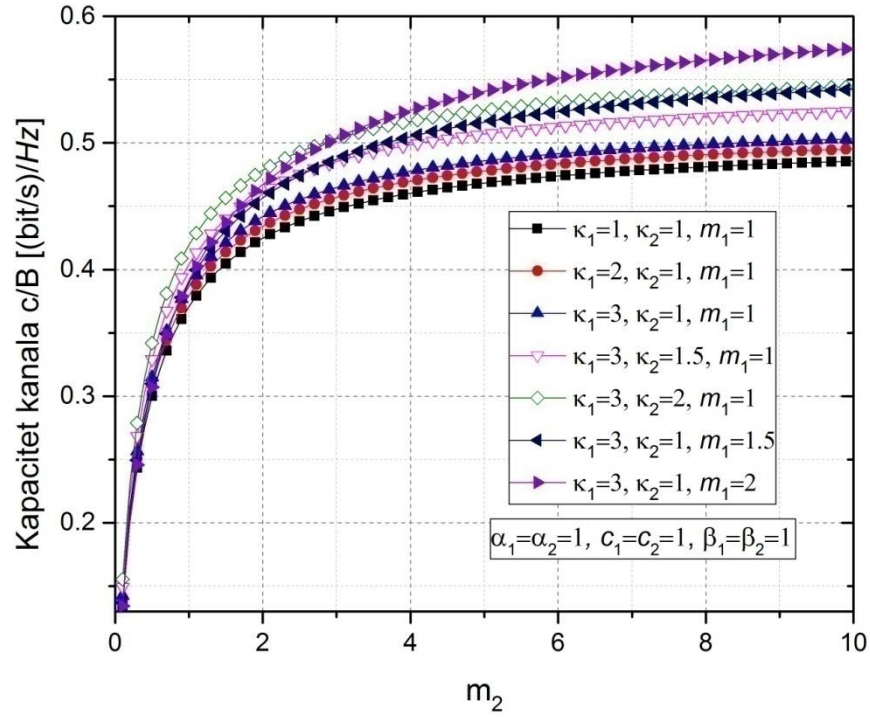
$$\begin{aligned} \frac{c}{B} &= \int_0^{\infty} dz \left(\ln(1+z^2) \right) p_z(z) = \int_0^{\infty} dz \left(\ln(1+z^2) \right) \int_0^{\infty} ds_1 p_{s_1}(s_1) \int_0^{\infty} ds_2 p_{s_2}(s_2) \\ &\times \int_0^{\infty} d\Omega_1 p_{\Omega_1}(\Omega_1) \int_0^{\infty} d\Omega_2 p_{\Omega_2}(\Omega_2) p_z(z/s_1 s_2 \Omega_1 \Omega_2). \end{aligned} \quad (2.131)$$

Pomoću izraza (2.131) dobijaju se grafički prikazi kapaciteta signala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza.

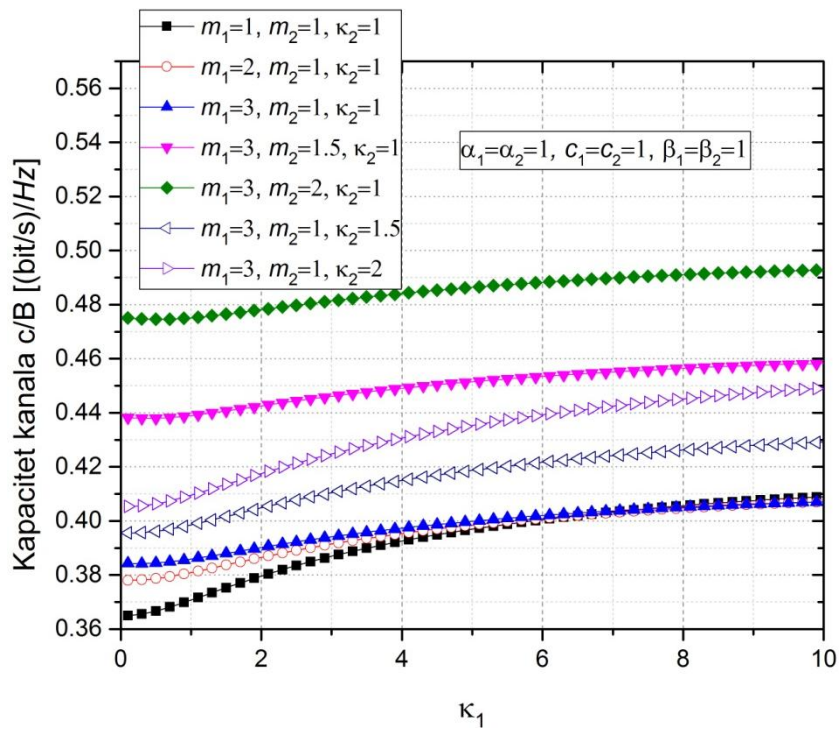


Slika 2.39. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_1 .

Na Slici 2.39. je prikazan kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_1 . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata grafički je prikazan kapacitet kanala za različite vrednosti parametre m_2 , κ_1 , κ_2 i konstantne vrednosti parametara α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 . Povećanjem parametra m_2 , κ_1 i κ_2 dolazi do povećanja kapaciteta kanala po m_1 .



Slika 2.40. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijelnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_2 .

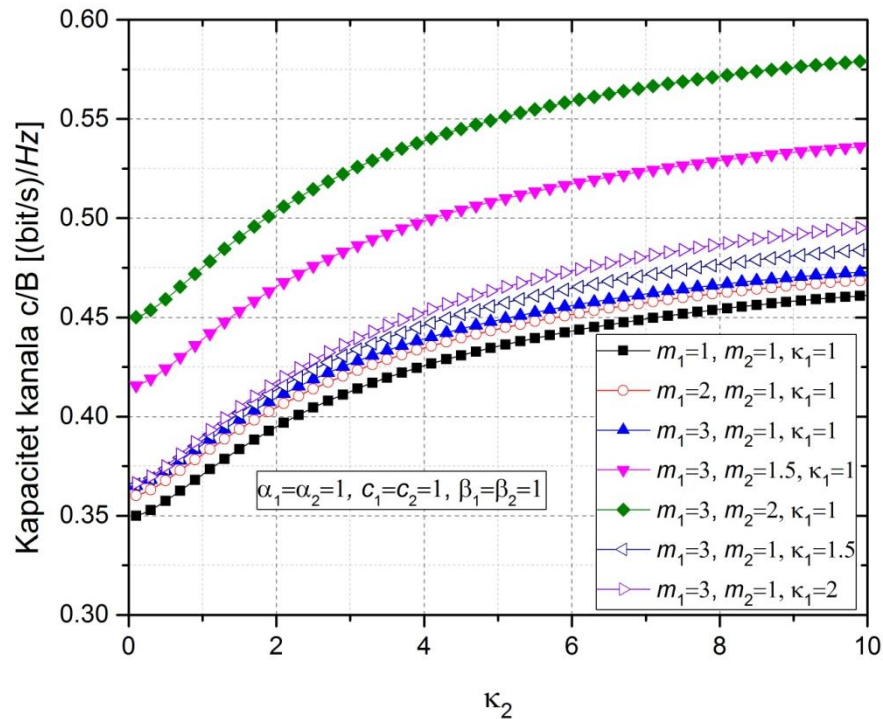


Slika 2.41. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijelnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog κ_1 faktora.

Na Slici 2.40. je prikazan kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m_2 . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata grafički je prikazan kapacitet kanala za različite vrednosti parametre m_1 , κ_1 , κ_2 i konstantne vrednosti parametara α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 . Povećanjem parametra m_1 , κ_1 i κ_2 dolazi do povećanja kapaciteta kanala po m_1 .

Na Slici 2.41. je prikazan kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_1 . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata grafički je prikazan kapacitet kanala za različite vrednosti parametre m_1 , m_2 , κ_2 i konstantne vrednosti parametara α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 . Povećanjem parametra m_1 , m_2 i κ_2 dolazi do povećanja kapaciteta kanala po κ_1 .

Na Slici 2.42. je prikazan kapacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_2 . Na osnovu analitičkih i numeričkih dobijenih rezultata grafički je prikazan kapacitet kanala za različite vrednosti parametre m_1 , m_2 , κ_1 i konstantne vrednosti parametara α_1 , α_2 , c_1 , c_2 , β_1 i β_2 . Povećanjem parametra m_1 , m_2 i κ_1 dolazi do povećanja kapaciteta kanala po κ_2 . Sa predhodnih slika za kapacite kanala zaključuje se da sa povećanje parametra m_1 i κ_2 kapacitet kanala je najveći.



Slika 2.42. Kpacitet kanala na izlazu iz SC prijmnika sa dva ulaza u zavisnosti od Rajsovog faktora κ_2 .

2.5. Performansi SC prijemnika u prisustvu Rajsovog fedinga i Nakagami- m interference

U ćelijskim mobilnim bežičnim sistemima, pojavljivanje brzog fedinga i ko-kanalne interferencije često predstavlja glavne uzroke pogoršanja performansi sistema na prijemu kao i kapacitet kanala [63]. Ko-kanalna interferencija predstavlja signal koji je nasto iz neke druge ćelije sa istom nosećom frekvencijom kao željeni signal, koje često pogoršavaju performanse na prijemu [72], [96]. U ovakvim sistemima, snaga ko-kanalne interferencije je znatno veća od snage (termalnog) šuma (faktor koji takođe utiče na pogoršanje performansi sistema), tako da je uticaj termalnog šuma zanemarljiv na performanse sistema. Iz ovog razloga bitno je da se odredi kako ko-kanalna interferencija kao glavni faktor pogoršanja utiče na verovatnoću otkaza, srednji broj osnih preseka, srednje vreme trajanja otkaza i ostale bitne performanse telekomunikacionog sistema. Jedan od najrealnijih scenarija jeste kada je željeni signal izložen uticaju multipath fedinga gde su ostvareni uslovi da postoji optička vidljivost između prijavnika i predajnika dok je signal ko-kanalne interferencije izložen uticaju multipath kanala gde ne postoji optička vidljivost [65].

Postoje nekoliko diverziti tehnika kombinovanja signala koje mogu da se iskoriste kako bi se smanjio uticaj multipath fedinga i ko-kanalne interferencije [24], [55], [75]. S obzirom na jednostavnost implementacije SC se veoma često koristi. Performanse sistema sa SC kombinovanjem na prijemu su već proučavane u literature [32], [48], [25], [51]. U radu [40], izrazi za LCR I AFD na izlazu iz SC kombinera su dobijeni, gde su željeni signali na ulazu u SC modelovani preko Rejljeve, Rajsove i Nakagami- m raspodele. LCR odnosa kombinovanih slučajnih promenljivih je proučavan u [54]. SC prijem u Rajs feding kanalu u prisustvu jedne Rejljeve interferencije je razmatran u [25], [51]. Nedavno, merenja pri bežičnom prostiranju su sprovedena u okruženjima gde postoji optička vidljivost [10].

U ovom delu doktorske disertacije, realističniji scenario je analiziran. Slučaj kada više interferencija utiče na performanse sistema. SC diverziti prijem sa dve grane izložen uticaju Rajsovog fedinga u prisustvu više Nakagami- m ko-kanalne interferencije je razmatran. Izrazi u zatvorenom obliku na izlazu iz SC prijemnika za kumulativnu gustinu verovatnoće i gustinu verovatnoće su provo izračunati. Zatim, ovi rezultati su upotrebljeni za dobijanje izraza u zatvorenom obliku za statističke preformanse prvog i drugog reda kao što su verovatnoća otkaza, srednji broj osnih preseka i srednje vreme trajanja fedinga.

Prenos signala u bežičnom kanalu biće proučavan kao slučajan proces sa vremenski zavisnom anvelopom [75]. Kvadratni odnos Rajsovog slučajnog procesa x , i zbira veše Nakagami- m slučajnih procesa y_i , može se definisati kao:

$$z = \frac{x^2}{y^2} = \frac{x^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}. \quad (2.132)$$

S obzirom da je Rajsov slučajni proces x definisan preko međusobno nezavisnih komponenti u fazi i komponenti u kvadraturi, modelovani preko Gausove raspodele sa varijansom σ_1^2 , kao: $x^2 = x_1^2 + x_2^2$, tako da prvi izvod od $x(t)$ može da se predstavi kao:

$$\dot{x} = \frac{1}{x}(x_1\dot{x}_1 + x_2\dot{x}_2). \quad (2.133)$$

Slično, suma kvadratnih Nakagami- m slučajnih promenljivih je definisana preko Gausovih slučajnih promenljivih, sa srednjom vrednošću nula, i varijansom σ_2^2 , kao:

$$y^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i1}^2 + y_{i2}^2 + \dots + y_{i2m}^2), \quad (2.134)$$

Zatim prvi izvod po vremenu, vremenki zavisnog slučajnog procesa y može se napisati:

$$\dot{y} = \frac{1}{y} \left(\sum_{i=1}^n (y_{i1}\dot{y}_{i1} + y_{i2}\dot{y}_{i2} + \dots + y_{i2m}\dot{y}_{i2m}) \right). \quad (2.135)$$

Zatim, prvi izvod po vremenu, vremenski zavisnog slučajnog procesa $z(t)$ može se napisati kao:

$$\dot{z} = \frac{2x\dot{x}}{y^2} - \frac{2x^2\dot{y}}{y^4} - \frac{2}{y^2}(x_1\dot{x}_1 + x_2\dot{x}_2) - \frac{2x^2}{y^4} \left(\sum_{i=1}^n (y_{i1}\dot{y}_{i1} + y_{i2}\dot{y}_{i2} + \dots + y_{i2m}\dot{y}_{i2m}) \right). \quad (2.136)$$

Oslanjajući se na činjenicu da je linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih Gausova slučajna promenljiva, prvi izvod od z ima uslovnu Gausovu raspodelu [51]. Srednja vrednost prvog izvoda po vremenu od z može da se napiše kao [72]:

$$\bar{\dot{z}} = \frac{2}{y^2}(x_1\bar{\dot{x}}_1 + x_2\bar{\dot{x}}_2) - \frac{2x^2}{y^4} \left(\sum_{i=1}^n (y_{i1}\bar{\dot{y}}_{i1} + y_{i2}\bar{\dot{y}}_{i2} + \dots + y_{i2m}\bar{\dot{y}}_{i2m}) \right) = 0. \quad (2.17)$$

gde je: $\bar{\dot{x}}_1 = \bar{\dot{x}}_2 = 0$ i $\bar{\dot{y}}_{i1} = \bar{\dot{y}}_{i2} = \bar{\dot{y}}_{i2m} = 0$, dok varijansa od \dot{z} može da se izračuna kao:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = \frac{4}{y^4}(x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2) - \frac{4x^4}{y^8} \left(\sum_{i=1}^n (y_{i1}^2\sigma_{\dot{y}_{i1}}^2 + y_{i2}^2\sigma_{\dot{y}_{i2}}^2 + \dots + y_{i2m}^2\sigma_{\dot{y}_{i2m}}^2) \right) = \frac{4z}{y^2}(f_1^2 + zf_2^2). \quad (2.138)$$

gde je: $\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \sigma_{\dot{x}_2}^2 = 2\sigma_1^2\pi^2 f_m^2 = f_1^2$ i $\sigma_{\dot{y}_{i1}}^2 = \sigma_{\dot{y}_{i2}}^2 = \sigma_{\dot{y}_{i2m}}^2 = 2\sigma_2^2\pi^2 f_m^2 = f_2^2$.

Uslovna Gausova gustina verovatnoće od \dot{z} može se predstaviti u obliku [55]:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{y}{2\sqrt{z}\sqrt{f_1^2 + zf_2^2}} e^{-\frac{y^2\dot{z}}{4(f_1^2 + zf_2^2)}}. \quad (2.139)$$

Srednji broj osnih preseka anvelope N_z je definisan kao učestanost preseka signala izloženom fedingu procesa prag z u pozitivnom ili negativnom smeru. LCR se može izračunati kao [30]:

$$\begin{aligned} N_z &= \int_0^\infty p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) \dot{z} dz = \int_0^\infty \frac{y}{2\sqrt{z}} p_x(y\sqrt{z}) p_y(y) dy \int_0^\infty p_{\dot{z}}(\dot{z}/zy) \dot{z} dz = \frac{1}{2\sqrt{z}} \int_0^\infty p_x(y\sqrt{z}) p_y(y) \\ &\times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{z}} y dy = \frac{1}{2\sqrt{z}} \int_0^\infty p_x(y\sqrt{z}) p_y(y) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{2}{y} \sqrt{z}\sqrt{f_1^2 + zf_2^2} y dy = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{f_1^2 + zf_2^2} \int_0^\infty p_x(y\sqrt{z}) p_y(y) dy. \end{aligned} \quad (2.140)$$

Gustina verovatnoće anvelope Rajsovog slučajnog procesa [72]:

$$p_x(x) = \frac{2x}{\Omega_1} e^{-\frac{x^2+A^2}{\Omega_1}} I_0\left(\frac{2xA}{\Omega_1}\right), \quad x \geq 0, \quad (2.141)$$

gde je: $\Omega_1 = x^2$ predstavlja srednju snagu, dok parameter A opisuje LOS komponentu; $I_n(x)$ predstavlja Beselovu funkciju n -tog reda prve vrste. Gustina verovatnoće anvelope Nakagami- m slučajnog procesa y je:

$$p_y(y) = \frac{2}{\Gamma(nm)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn} y^{2mn-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}y^2}, \quad y \geq 0, \quad (2.142)$$

gde je: Ω_2 označava srednju snagu od y , dok parameter m je oštrina Nakagami- m fedinga i $\Gamma(a)$ označava Gama funkciju u jednačini (2.142); izraz za LCR od z postaje [30]:

$$\begin{aligned} N_z(z) &= \frac{2}{\sqrt{2\pi}\Omega_1\Gamma(nm)} \sqrt{f_1^2 + zf_2^2} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1}} \sum_{i=0}^\infty \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} z^{i+1/2} \\ &\times (\Omega_1\Omega_2)^{mn+i+1/2} \Gamma(nm+i+1/2) \frac{1}{(z\Omega_2 + m\Omega_1)^{mn+i+1/2}}. \end{aligned} \quad (2.143)$$

Na sličan način, gustina verovatnoće anvelope slučajnog procesa z može se izraziti [30], [42]:

$$p_z(z) = \int_0^{\infty} \frac{y}{2\sqrt{z}} p_x(y\sqrt{z}) p_y(y) dy = \frac{1}{\Omega_1 \Gamma(nm)} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} \frac{1}{(i!)^2} z^i$$

$$\times \frac{1}{2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1} \Gamma(nm+i+1) \frac{1}{(z\Omega_2 + m\Omega_1)^{mn+i+1}}. \quad (2.144)$$

Dok kumulativna gustina verovatnoće anvelope slučajnog procesa z može se sada predstaviti u sledećem obliku [29]:

$$F_z(z) = \int_0^z p_z(t) dt = \frac{1}{\Omega_1 \Gamma(nm)} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} \frac{1}{(i!)^2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1}$$

$$\times \Gamma(nm+i+1) (m\Omega_1)^{mn+i+1} \left(\frac{m\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{i+1} B_{z_1}(i+1, mn); \quad z_1 = \frac{\Omega_2 z}{m\Omega_1 + \Omega_1 z}. \quad (2.145)$$

gde je: $B(a, b)$ označava nekompletnu Beta funkciju [42]:

Razmatraju se performanse SC prijemnika. Kao, što je poznato, SC diverziti sistem selektuje i procesira na izlazu granu sa najvećim signalom u svakom trenutku vremena. Gustina verovatnoće odnosa signal interferencija na izlazu iz SC prijemnika, kada je prijem sa nekorelisanim granama, može se odrediti prema [72]:

$$p_\gamma(\gamma) = p_{\gamma_1}(\gamma) F_{\gamma_2}(\gamma) + p_{\gamma_2}(\gamma) F_{\gamma_1}(\gamma). \quad (2.146)$$

gde je: γ_1 i γ_2 označavaju odnos signal interferencija na ulazu u SC prijemnika. Posle zamene (2.144) i (2.245) u (2.146), kada se posmatraju nezavisne identične prijemne grane dobija se:

$$p_\gamma(\gamma) = 2p_{\gamma_1}(\gamma) F_{\gamma_2}(\gamma) = \frac{2}{\Omega_1^2 \Gamma(nm)^2} \left(e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn}} \right)^2 \left(\sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} \frac{1}{(i!)^2} \gamma^i (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1} \right)$$

$$\times \Gamma(nm+i+1) \frac{1}{(\gamma\Omega_2 + m\Omega_1)^{mn+i+1}} \left(\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2k} \frac{1}{(k!)^2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+k+1} \Gamma(nm+k+1) \right) \quad (2.147)$$

$$\times (m\Omega_1)^{-(mn+k+1)} \left(\frac{m\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{k+1} B_{z_2}(k+1, mn); \quad z_2 = \frac{\Omega_2 \gamma}{m\Omega_1 + \Omega_1 \gamma}.$$

Samo nekoliko člana sume je potrebno sabrati u jednačini (2.144) da bi se dobila veoma velika tačnost. Tačnije, preciznost na petoj značajnoj cifri za različite parametere sistema se može ostvariti kad se saberu 10-15 članova sume za svaki niz beskonačnih suma.

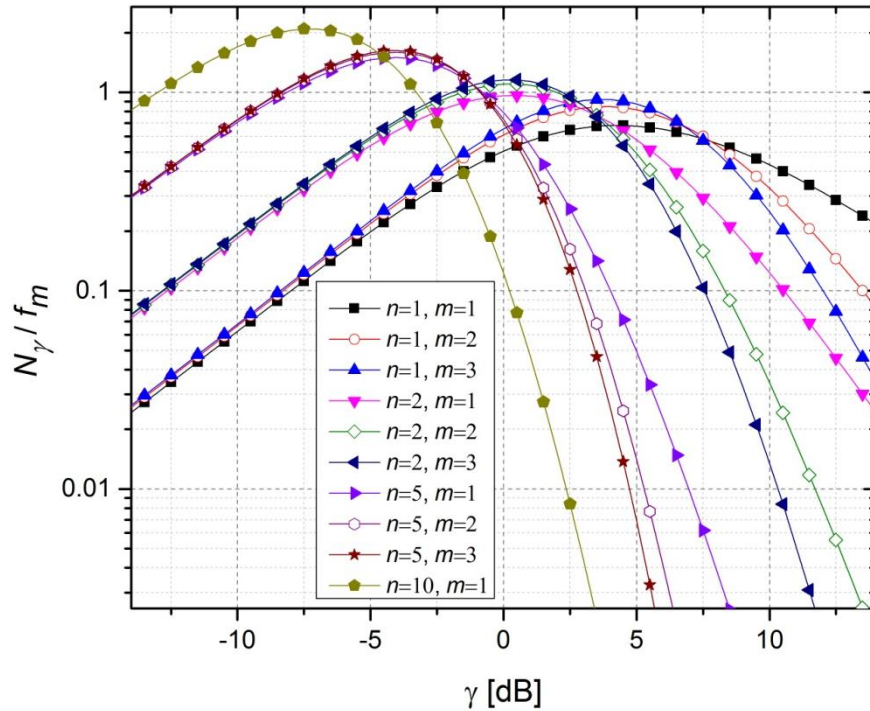
Kumulativna gustina verovatnoće odnosa signal interferencije na izlazu iz SC prijemnika se može odrediti na osnovu [72]:

$$F_\gamma(\gamma) = F_{\gamma_1}(\gamma)F_{\gamma_2}(\gamma) = \left(\frac{1}{\Omega_1^2 \Gamma(nm)} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn}} \right)^2 \left(\sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} \frac{1}{(i!)^2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1} \right. \\ \left. \times \Gamma(n+1) (m\Omega_1)^{-(mn+i+1)} \left(\frac{m\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{i+1} B_{z_2}(i+1, mn) \right)^2 ; \quad z_2 = \frac{\Omega_2 \gamma}{m\Omega_1 + \Omega_1 \gamma}. \quad (2.148)$$

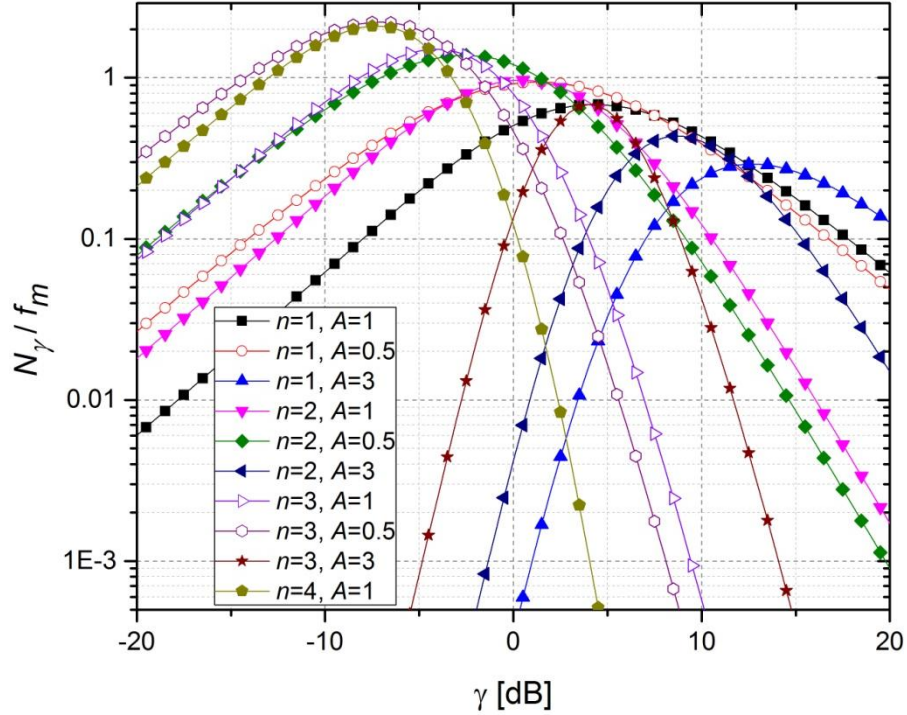
U jednačini (2.145) preciznost na šestoj značajnoj cifri je ostvarena sa 20-25 članova niza beskonačnih suma za sve parametre sistema. Na osnovu jednačine (2.147), srednji broj osnih preseka odnosa signal interferencije na izlazu SC prijemnika se može predstaviti:

$$N_\gamma = \int_0^\infty p_{\gamma\dot{\gamma}}(\gamma\dot{\gamma}) \dot{\gamma} d\dot{\gamma} = \left(\frac{2}{\Omega_1 \Gamma(nm)} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn}} \right)^2 \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i} \frac{1}{(i!)^2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1} \Gamma(nm+i+1) \\ \times (m\Omega_1)^{-(mn+i+1)} \left(\frac{m\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{i+1} B_{z_2}(i+1, mn) \frac{1}{\Gamma(nm)\Omega_1 \sqrt{2\pi}} \sqrt{f_1^2 + \gamma f_2^2} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^{mn} e^{-\frac{A^2}{\Omega_1} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{A}{\Omega_1}\right)^{2i}} \quad (2.149) \\ \times \frac{1}{(i!)^2} \gamma^{i+1/2} (\Omega_1 \Omega_2)^{mn+i+1/2} \Gamma(nm+i+1/2) \frac{1}{(\gamma \Omega_2 + m\Omega_1)^{mn+i+1/2}} ; \quad z_2 = \frac{\Omega_2 \gamma}{m\Omega_1 + \Omega_1 \gamma}.$$

Jednačina brzo konvergira na sličan način kao jednačine (2.148) i (2.149).



Slika 2.43. Normalizovan LCR u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre za n i m , za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .



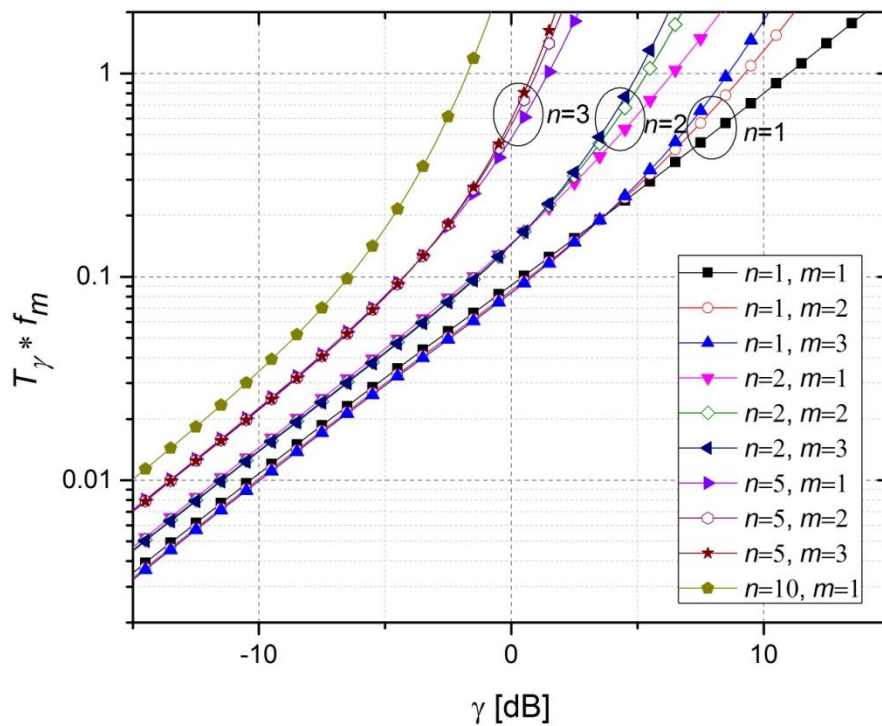
Slika 2.44. Normalizovan LCR u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .

Slika 2.43. prokazuje normalizovani srednji broj osnih preseka u odnosu na količnik signal interferencija za različite parametre n i m . Kao što se očekivalo, kada se samnjuje vrednost parametra n , normalizovani srednji broj osnih preseka opada za manje vrednosti SIR-a. Uticaj parametra m na srednji broj osnih preseka je očigledniji za veće vrednosti anvelope odnosa signal interferencija, gde za veće vrednosti parametra m , signal preseca veće vrednosti SIR-a znatno češće.

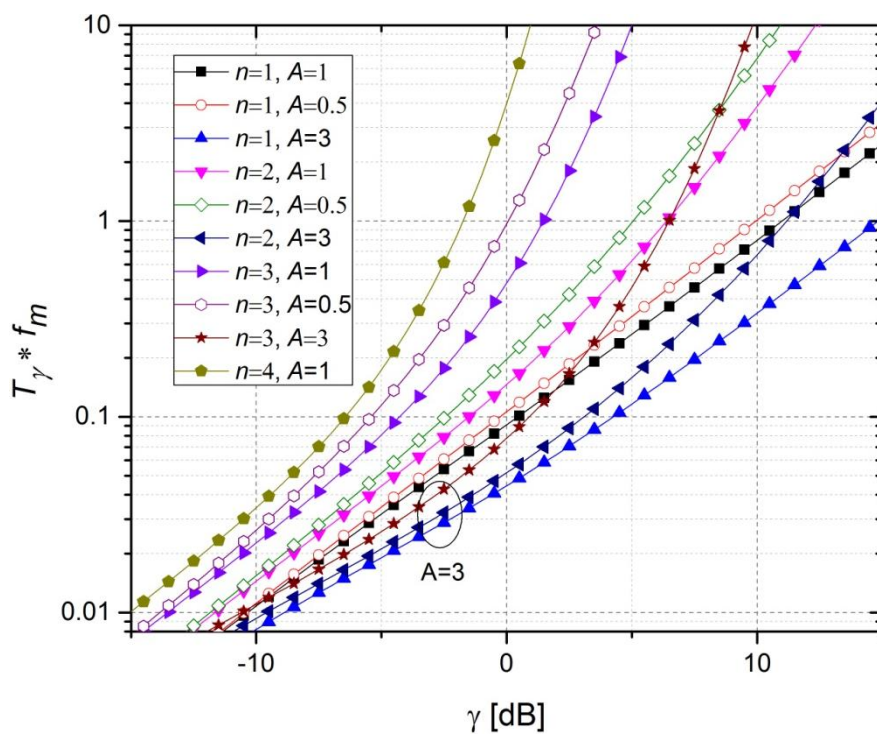
Uočljivo je sa Slike 2.44. da za veće vrednosti parametra A da signal preseca manje nivoe ređe dok veće nivoe preseca znatno češće.

Srednje vreme trajanja fedinga je definisano kao srednje vreme da odnos signal interferencija ostaje ispod praga γ i određuje se odnos kumulativne gustine verovatnoće i srednjeg broja osnih preseka. Odgovarajuće srednje vreme trajanja fedinga se može napisati u sledećoj formi:

$$T_\gamma(\gamma) = \frac{F_\gamma(\gamma)}{N_\gamma} = \frac{(F_{\gamma_1}(\gamma))^2}{2F_{\gamma_2}(\gamma)N_{\gamma_1}} = \frac{F_{\gamma_1}(\gamma)}{2N_{\gamma_1}}. \quad (2.150)$$



Slika 2.45. Normalizovan AFD u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .



Slika 2.46. Normalizovan AFD u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .

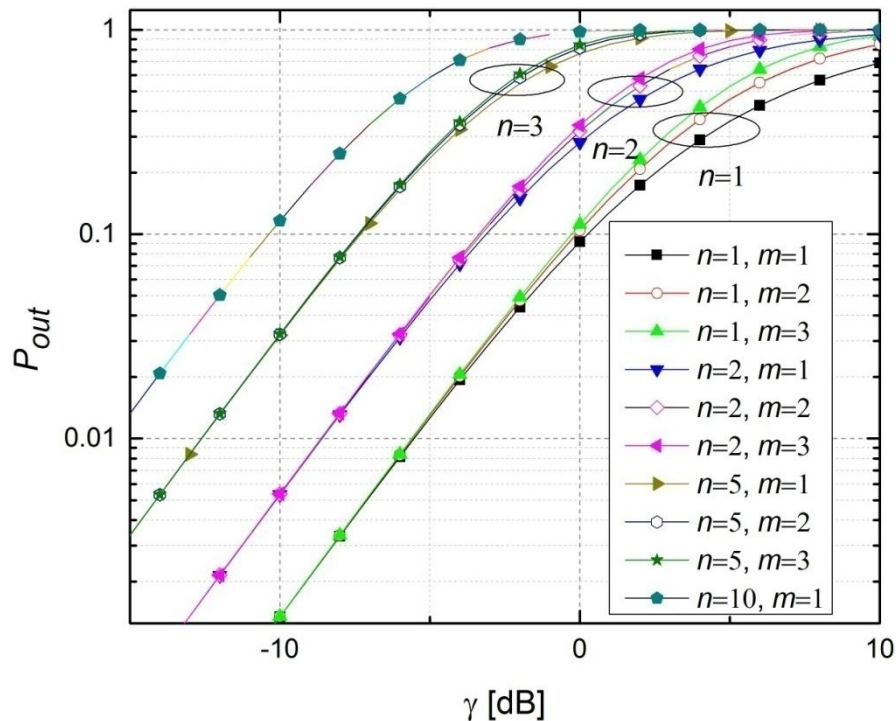
Kao što se očekivalo, Slika 2.45. prikazuje da srednje vreme trajanja fedinga opada sa opadanjem parametra n . Čak štaviše, AFD takođe opada sa opadanjem parametra m za veće vrednosti SIR-a.

Slika 2.46. prikazuje uticaj parametra A na AFD. Sa povećanjem parametra A dolazi do poboljšanja performansi sistema, odnosno AFD opada naročito za manje vrednosti SIR-a.

Dobijeni numerički rezultati za LCR I AFD su u skladu sa merenjima prezentovanim u [10].

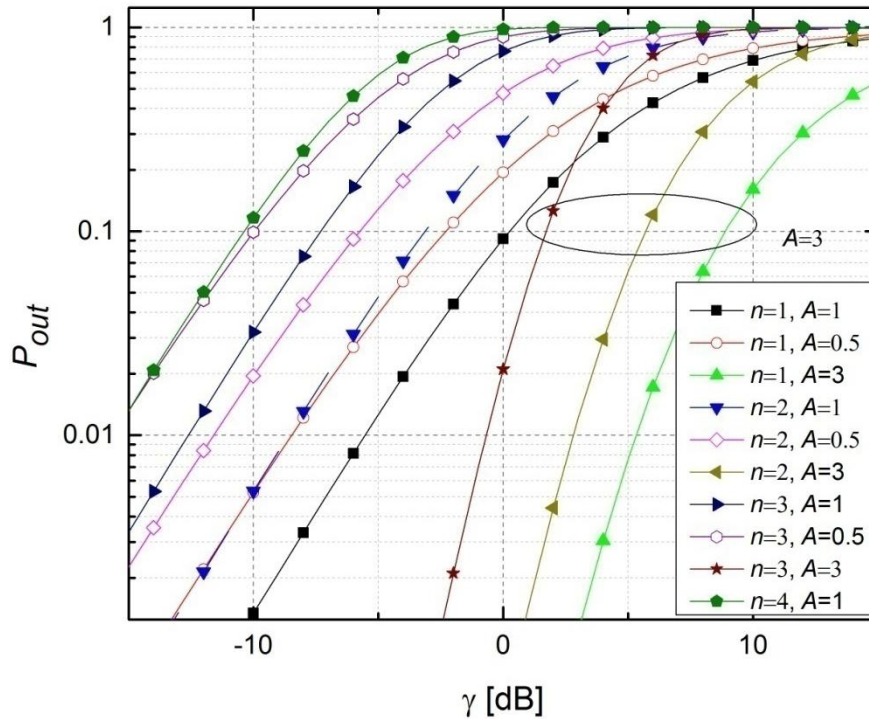
U interferencijom ograničenoj sredini, verovatnoća otkaza je definisana kao verovatnoća da odnos signal interferencija na izlazu iz SC-a padne ispod zadatog praga γ_{th} [30]:

$$P_{out} = P_R(\zeta < \gamma_{th}) = \int_0^{\gamma_{th}} p_\gamma(t) dt = F_\gamma(\gamma_{th}). \quad (2.151)$$



Slika 2.47. Verovatnoća otkaza u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $A=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .

Na osnovu Slike 2.47. očigledno je da je verovatnoća otkaza veća za veći broj parametra n (veći broj CCI-a), kao što se i očekivalo. Može se zaključiti da se performanse polako pogoršavaju sa porastom parametra m , s obzirom da je interferencija oštrija u tom slučaju.

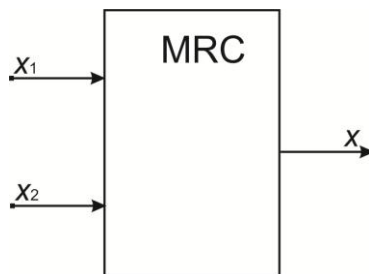


Slika 2.48. Verovatnoća otkaza u odnosu na SIR na izlazu iz SC prijemnika u posmatranom okruženju za različite parametre, za slučaj kada je $m=1$, $\Omega_1=1$ i Ω_2 .

Slika 2.48. prikazuje da se performanse mogu poboljšati kada parameter A ima veće vrednosti, odnosno kada su uslovi za postojanje optičke vidljivosti očigledniji, što je takođe bilo očekivano.

2.6. Performansi MRC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu Nakagami- m i α - μ fedinga

Razmatra se MRC prijemnik sa dva ulaza, model sistema prikazan je na Slici 2.49.



Slika 2.49. MRC prijemnik sa dva ulaza.

Signali na ulazima su označeni sa x_1 i x_2 , a signal na izlazu je označen sa x . Na jednom ulazu prisutan je Nakagami- m feding, a na drugom ulazu je prisutan α - μ feding. Kvadrat signala na izlazu iz MRC prijemnika jednak je zbiru kvadrata signala na ulazima [96]:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2, \quad x = (x_1^2 + x_2^2)^{1/2}, \quad x_1^2 = x^2 - x_2^2, \quad x_1 = (x^2 - x_2^2)^{1/2}. \quad (2.152)$$

Gustina verovatnoće Nakagami- m slučajne promenljive x_1 je [53], [72]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 \geq 0. \quad (2.153)$$

gde je m parametar oštine fedinga, Ω_1 je srednja snaga anvelope.

Slučajna promenljiva x_2 ima α - μ gustinu verovatnoće, ova raspodela opisuje signal u nelinearnoj i nehomogenoj sredini [100]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2} \right)^\mu x_2^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2} x_2^\alpha}, \quad x_2 \geq 0. \quad (2.154)$$

gde je parametar α povezan sa nelinearnošću propagacione okoline, dok parametar μ određuje broj klastera u propagacionoj okolini, Ω_2 je srednja snaga anvelope [100].

Uslovna gustina verovatnoće od x je [72]:

$$p_x(x/x_2) = \frac{dx_1}{dx} p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2)^{1/2} \right). \quad (2.155)$$

gde je: $\frac{dx_1}{dx} = \frac{1}{2} \left((x^2 - x_2^2)^{-1/2} \right)$, $\frac{dx_1}{dx} = \frac{x}{(x^2 - x_2^2)^{1/2}}$.

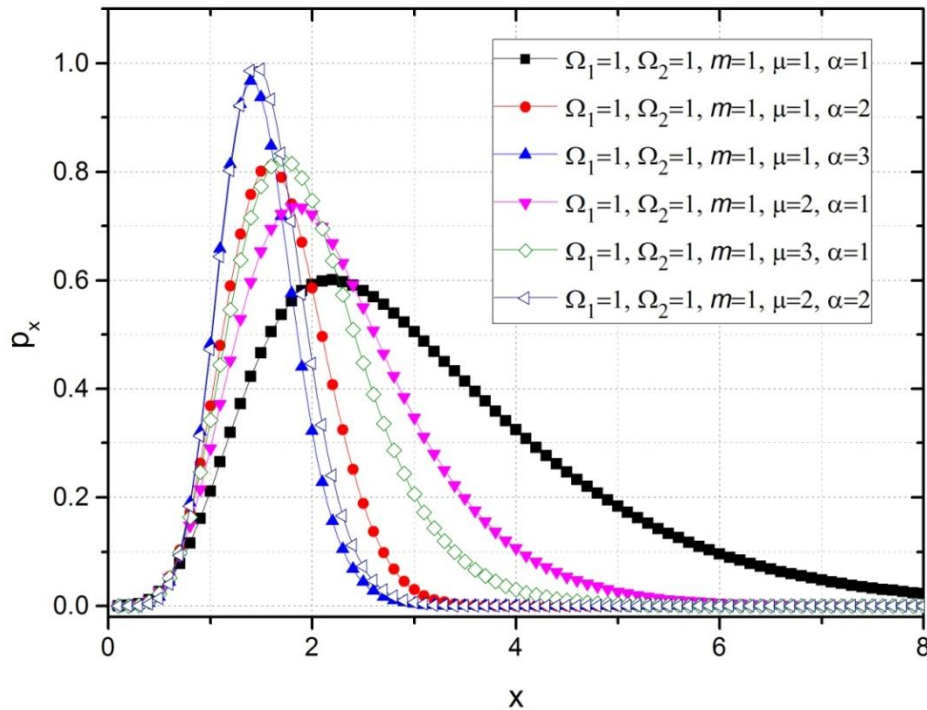
Zamenom se dobija:

$$p_x(x/x_2) = \frac{x}{(x^2 - x_2^2)^{1/2}} p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2)^{1/2} \right). \quad (2.156)$$

Usrednjavanjem se dobija izraz za gustinu verovatnoće na izlazu iz MRC prijemnika [29]:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= \int_0^\infty dx_2 p_x(x/x_2) p_{x_2}(x_2) = \int_0^\infty dx_2 \frac{x}{(x^2 - x_2^2)^{1/2}} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m (x^2 - x_2^2)^{1/2(2m-1)} \\
&\times e^{-\frac{m}{\Omega_1}(x^2 - x_2^2)} \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^\mu x_2^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2}x_2^\alpha} = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^\mu x \\
&\times \int_0^x dx_2 (x^2 - x_2^2)^{m-1/2-1/2} e^{-\frac{m}{\Omega_1}(x^2 - x_2^2)} x_2^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2}x_2^\alpha} = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^\mu x \\
&\times \int_0^x dx_2 (x^2 - x_2^2)^{m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}x^2} e^{-\frac{m}{\Omega_1}x_2^2} x_2^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2}x_2^\alpha}.
\end{aligned} \tag{2.157}$$

Pomoću izraza (2.157) dobijaju se grafički prikazi gustine verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika. Na Slici 2.50. prikazan je grafik gustine verovatnoće za različite parametre sistema.

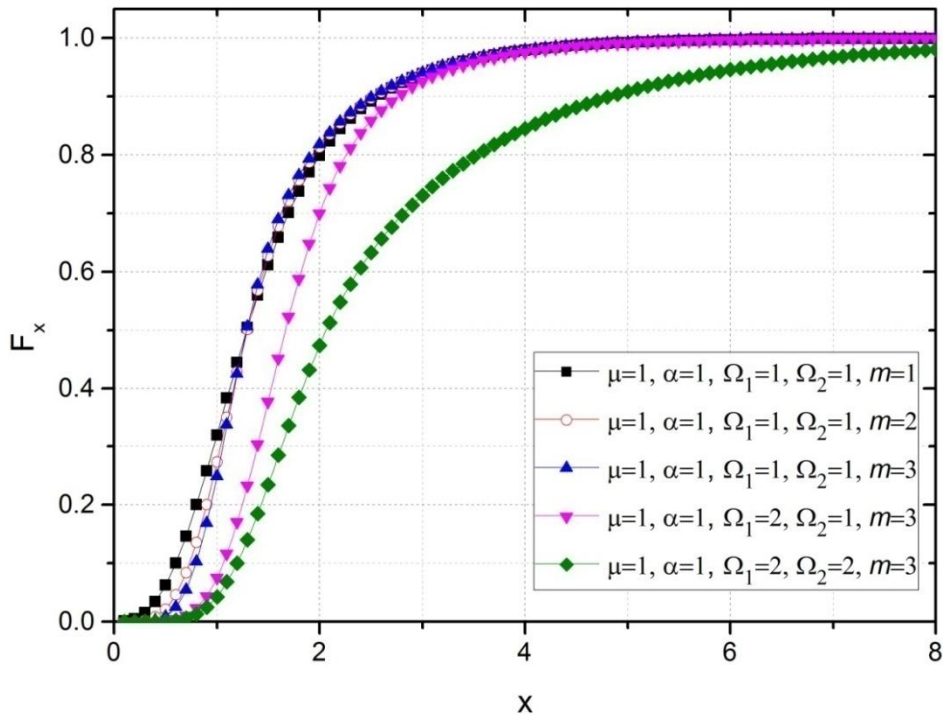


Silka 2.50. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ i sa različitim koeficijentima nelinearnosti parametra α .

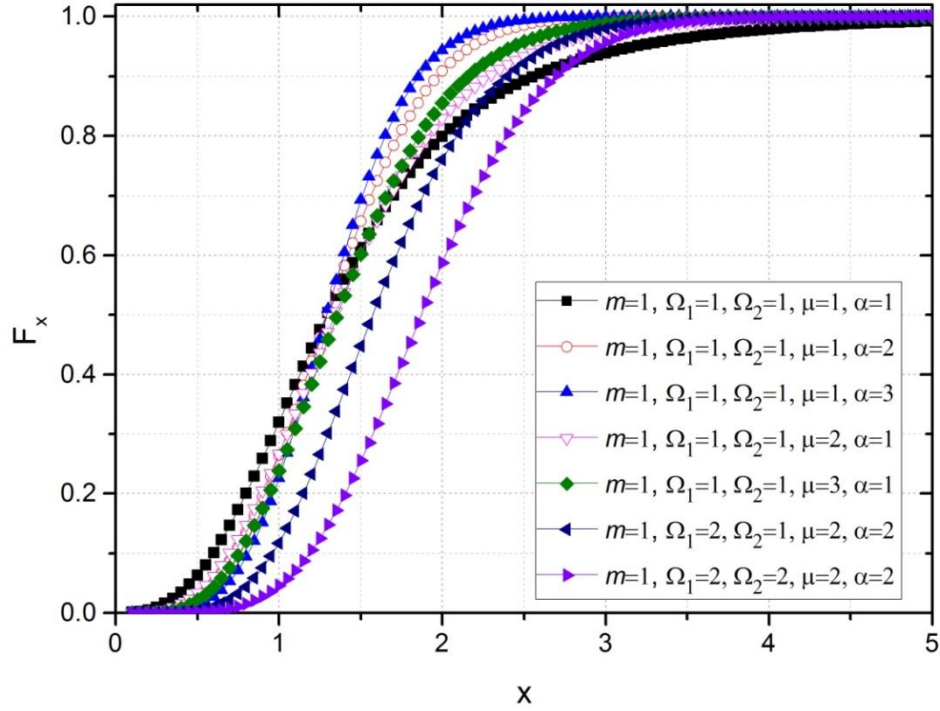
Kumulativna verovatnoća na izlazu iz MRC prijemnika jednaka je [29]:

$$F_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^\mu \sum_{k=0}^{m-1} \binom{m-1}{k} (-1)^k \sum_{k_1=0}^{\infty} \frac{1}{k_1!} \left(-\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^{k_1} \times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{m}\right)^{k+\alpha\mu/2+\alpha k_1/2} \Gamma\left(k + \frac{\alpha\mu}{2} + \frac{\alpha k_1}{2}\right) \int_0^x dt t^{2m-2-2k-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}t^2}. \quad (2.158)$$

Pomoću izraza (2.158) dobijaju se grafički prikazi kumulativne verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika. Na Slici 2.51. prikazan je grafik kumulativne gustine za različite parametre sistema. Povećanjem srednje snage dolazi do smanjenja kumulativne verovatnoće odnosno do poboljšanja performansi sistema. Uticaj srednje snage je veći od uticaja parametra m na kumulativnu gustinu verovatnoće. Na slici 2.52. je dodatno prikazan i uticaj parametra α i μ . Sa grafika se može zaključiti da sa povećanjem parametra α kumulativna gustina verovatnoće opada za manje vrednosti anvelope signala dok za veće vrednosti anvelope signala sa povećanjem parametra α kumulativna gustina verovatnoće raste. Evidentno je da sa povećanjem parametra μ dolazi do opadanja vrednosti krive kumulativne gustine verovatnoće odnosno dolazi do poboljšanja performansi sistema.



Silka 2.51. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti parametra oštine fedinga m i za različite srednje snage Ω_1 i Ω_2 .



Silka 2.52. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od anvelope signala, za različite vrednosti broja klastera μ , različite vrednosti koeficijenta nelinearnosti α i sa različitim srednjim snagama Ω_1 i Ω_2 .

Signal na izlazu iz MRC prijemnika je:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2. \quad (2.159)$$

gde je x_1 Nakagami- m slučajna promenljiva, a x_2 α - μ slučajna promenljiva. x_2 možemo zapisati kao:

$$x_2 = y_2^{4/\alpha}. \quad (2.160)$$

gde je y_2 Nakagami- m slučajna promenljiva. Zamenom dobijamo:

$$x^2 = x_1^2 + y_2^{4/\alpha}. \quad (2.161)$$

Prvi izvod od x je:

$$x\dot{x} = x_1\dot{x}_1 + \frac{2}{\alpha} y_2^{4/\alpha-1} \dot{y}_2. \quad (2.162)$$

Prvi izvod od Nakagami- m slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva [42]. Na osnovu ovoga x ima uslovnu Gausovu gustinu verovatnoće. Srednja vrednost od \dot{x} je:

$$\bar{\dot{x}} = \frac{1}{x} \left(x_1 \bar{\dot{x}}_1 + \frac{2}{\alpha} y_2^{4/\alpha-1} \bar{\dot{y}}_2 \right) = 0. \quad (2.163)$$

pošto je: $\bar{\dot{x}}_1 = \bar{\dot{y}}_2 = 0$. Varijansa od \dot{x} je:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} \left(x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \sigma_{\dot{y}_1}^2 \right). \quad (2.164)$$

gde je:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m}, \quad \sigma_{\dot{y}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{\mu}. \quad (2.165)$$

Zamenom se dobija izraz za varijansu od \dot{x} :

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{\pi^2 f_m^2}{x^2} \left(x_1^2 \frac{\Omega_1}{m} + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_2}{\mu} \right). \quad (2.166)$$

$$x^2 = x_1^2 + y_2^{4/\alpha}, \quad x_1^2 = x^2 - y_2^{4/\alpha}, \quad x_1 = \left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2}. \quad (2.167)$$

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{\pi^2 f_m^2}{x^2} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right) \frac{\Omega_1}{m} + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_2}{\mu} \right), \quad (2.168)$$

$$\sigma_{\dot{x}} = \sqrt{\frac{\pi^2 f_m^2}{x^2} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right) \frac{\Omega_1}{m} + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_2}{\mu} \right)}.$$

Združena gustina verovatnoće od x , \dot{x} i y_2 je:

$$p_{x\dot{x}y_2}(x\dot{x}y_2) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{xy_2}(xy_2) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{y_2}(y_2) p_x(x/y_2). \quad (2.169)$$

Uslovna gustina verovatnoće $p_x(x/y_2)$ je jednaka [63]:

$$p_x(x/x_2) = \frac{dx_1}{dx} p_{x_1} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2} \right). \quad (2.170)$$

$$\text{gde je: } \frac{dx_1}{dx} = \frac{x}{\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2}}.$$

Zamenom se dobija:

$$p_x(x/x_2) = \frac{x}{\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2}} p_{x_1} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2} \right), \quad (2.171)$$

$$p_{x\dot{x}y_2}(x\dot{x}y_2) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{xy_2}(xy_2) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{y_2}(y_2) \frac{x}{\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2}} p_{x_1} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha} \right)^{1/2} \right).$$

Združena gustina verovatnoće od x , \dot{x} je:

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \int_0^{\infty} dy_2 p_{x\dot{x}y_2}(x\dot{x}y_2) = \int_0^{\infty} dy_2 \frac{x}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1}\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right) p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{y_2}(y_2). \quad (2.172)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz MRC prijemika jednak je [72]:

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} \int_0^{\alpha/2} dy_2 \frac{x}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1}\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right) p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) p_{y_2}(y_2) = \\ &= \int_0^{\alpha/2} dy_2 \frac{x}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1}\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right) p_{y_2}(y_2) \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) = \\ &= \int_0^{\alpha/2} dy_2 \frac{x}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1}\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right) p_{y_2}(y_2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{x}}. \end{aligned} \quad (2.173)$$

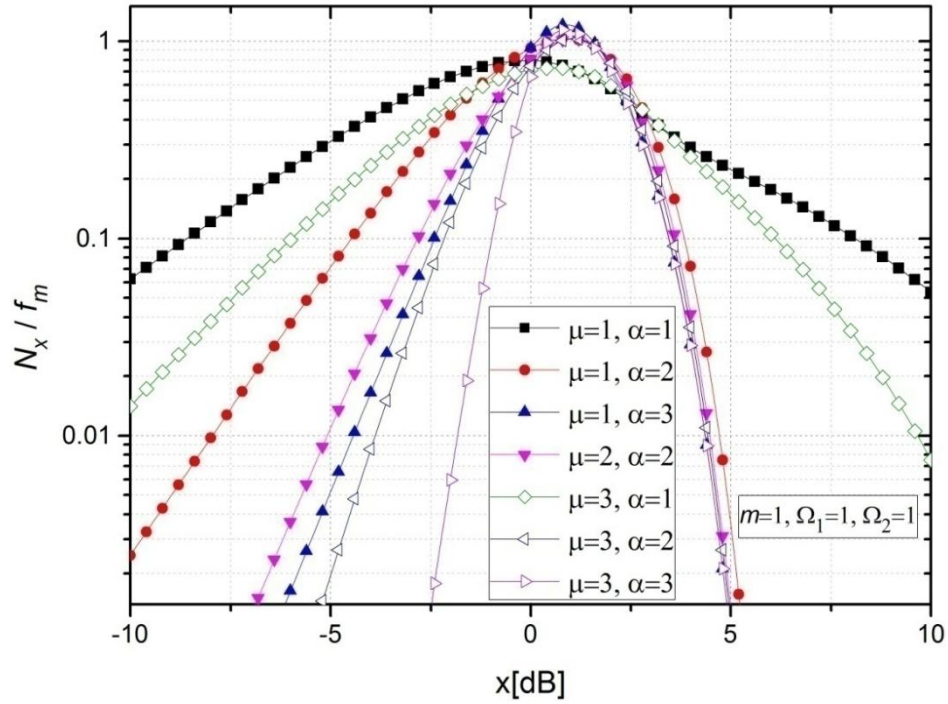
gde je:

$$\begin{aligned} p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}}, \\ \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}}} \frac{2\sigma_{\dot{x}}^2}{2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\dot{x}}. \end{aligned} \quad (2.174)$$

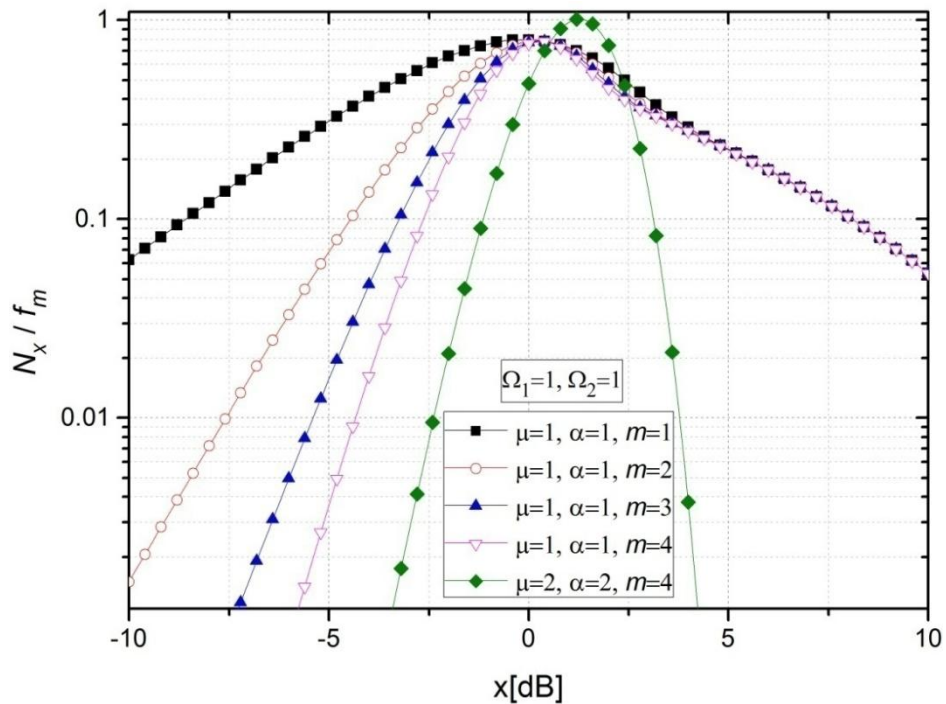
Zamenom se dobija izraz za srednji broj osnih preseka na izlazu iz MRC prijemika [29]:

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^{\alpha/2} dy_2 \frac{x}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right)^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1}(x^2 - y_2^{4/\alpha})} \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^{\mu} \\ &\times y_2^{2\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2}y_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{x} \sqrt{\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right) \frac{\Omega_1}{m} + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_2}{\mu}\right)} = \\ &\times \frac{2x}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_2}\right)^{\mu} x^{\alpha/2} \int_0^{\alpha/2} dy_2 \frac{1}{(x^2 - y_2^{4/\alpha})^{1/2}} \left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right)^{1/2}\right)^{2m-1} \\ &\times e^{-\frac{m}{\Omega_1}(x^2 - y_2^{4/\alpha})} e^{-\frac{\mu}{\Omega_2}y_2^2} y_2^{\alpha\mu-1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\pi f_m}{x} \sqrt{\left(\left(x^2 - y_2^{4/\alpha}\right) \frac{\Omega_1}{m} + \frac{4}{\alpha^2} y_2^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_2}{\mu}\right)}. \end{aligned} \quad (2.175)$$

Pomoću izraza (2.175) dobijaju se grafički prikazi srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika.

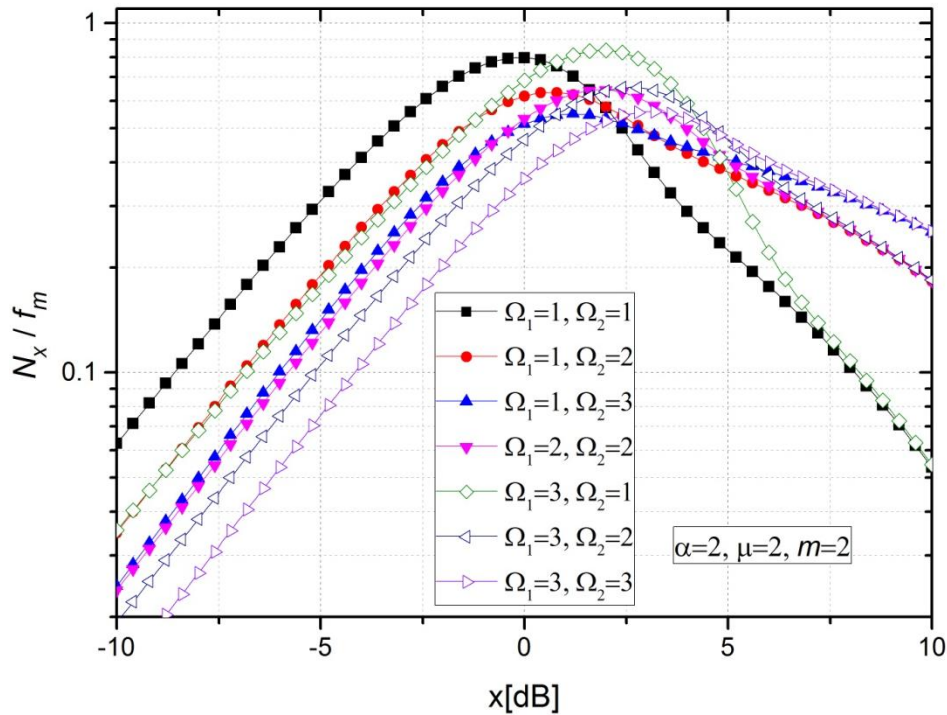


Silka 2.53. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika za različite vrednosti broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α .



Silka 2.54. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza za različite vrednosti parametra oštine fedinga m , broja klastera μ i koeficijenta nelinearnosti α .

Na Slici 2.53. je prikazan srednji broj osnih preseka za različite vrednosti a i μ . Sa slike se može zaključiti da povećanjem parametra a i μ dolazi do sužavanja krivi odnosno srednji broj osnih preseka se smanjuje što je evidentno u graničnim oblastima. Slika 2.54. dodatno ukazuje na uticaj parametra m na srednji broj preseka. Na osnovu ovog grafika može se zaključiti da se suženje kriva srednjeg broja osnih preseka ostvaruje ukoliko dođe do istovremenog povećanja parametra m , a i μ . Uticaj srednje snage je prikazan na Slici 2.55. Koji ukazuje da povećanjem srednje snage dolazi do smanjenja srednjeg broja preseka naročito za manje vrednosti anvelope signala.



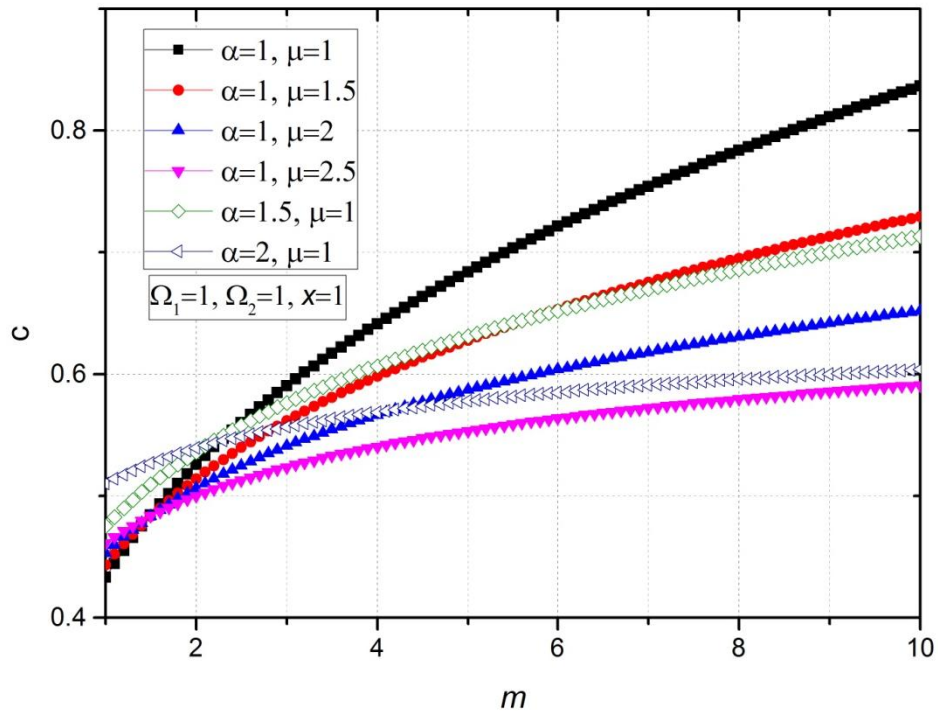
Silka 2.55. Normalizovan srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza za različite vrednosti srednjih snaga Ω_1 i Ω_2 .

Kapacitet kanala je važna karakteristika telekomunikacionog bežičnog radio kanala [26]-[28]. Kapacitet kanala se dobija usrednjavanjem Šenanovog izraza za kapacitet kanala. Šenonovo rešenje dobijenog integrala koje u orginalnosti sadrži logaritamsku funkciju i postiže se primenom Majaerovih funkcija. Drugi izraz sadrži potencijalni član i eksponencijalni član. Izraz u eksponentu ima dva člana. Jedan član je srazmeran signalu, a drugi član je inverzno srazmeran signalu. Kapacitet kanala se računa po sledećem obrscu:

$$\frac{c}{B} = \int_0^{\infty} dx \left(\ln(1+x^2) \right) p_x(x). \quad (2.176)$$

gde je $p_x(x)$ gustina verovatnoće od x data sa (2.157).

Pomoću izraza (2.176) dobijaju se grafički prikazi informacionog kapaciteta signala na izlazu iz MRC prijemnika.

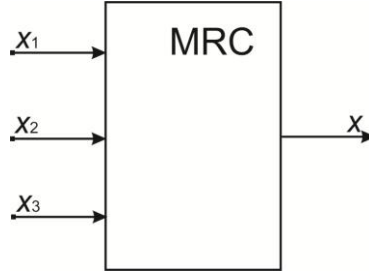


Silka 2.56. Kapacitet kanala na izlazu iz MRC prijemnika sa dva ulaza u zavisnosti od parametra oštine fedinga m .

Kapacitet kanala u zavisnosti od parametra m za različite vrednosti parametra sistema je prikazan na Slici 2.56. Za veće vrednosti parametra m sa povećanjem parametra a i μ dolazi do smanjenja kapaciteta kanala.

2.7. Performansi MRC prijemnika sa tri ulaza u prisustvu Nakagami- m , Rajsovog i α - μ fedinga

Razmatra se MRC prijemnik sa tri ulaza, model sistema prikazan je na Slici 2.57.



Silka 2.57. MRC prijemnik sa tri ulaza.

Signali na ulazima su označeni sa x_1 , x_2 i x_3 , a signal na izlazu je označen sa x . Signal na prvom ulazu ima Nakagami- m raspodelu, signal na drugom ulazu ima Rajsovu raspodelu i signal na trećem ulazu ima α - μ raspodelu. Kvadrat signala na izlazu iz MRC prijemnika jednak je zbiru kvadrata signala na ulazima:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2, \quad x = (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2}, \quad x_1^2 = x^2 - x_2^2 - x_3^2, \quad x_1 = (x^2 - x_2^2 - x_3^2)^{1/2}. \quad (2.177)$$

Gustina verovatnoće od x_1 Nakagami- m raspodele jednaka je [53]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 \geq 0. \quad (2.178)$$

Gustina verovatnoće od x_2 Rjasove raspodele jednaka je [55]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_2^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2}, \quad x_2 \geq 0. \quad (2.179)$$

Gustina verovatnoće od x_3 α - μ raspodele jednaka je [100]:

$$p_{x_3}(x_3) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu x_3^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha}, \quad x_3 \geq 0. \quad (2.180)$$

Kumulativna verovatnoća od x_1 , x_2 i x_3 je [55]:

$$F_{x_1}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_1} x_1^2 \right). \quad (2.181)$$

$$F_{x_2}(x_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_2} x_2^2 \right). \quad (2.182)$$

$$F_{x_3}(x_3) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega_3} \right)^\mu \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\Omega_3}{\mu} \right)^\mu \gamma \left(\mu, \frac{\mu}{\Omega_3} x_3^\alpha \right). \quad (2.183)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika jednaka je:

$$p_x(x/x_2x_3) = \left| \frac{dx_1}{dx} \right| p_{x_1} \left(\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2} \right). \quad (2.184)$$

gde je: $\frac{dx_1}{dx} = \frac{x}{\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2}}.$

Zamenom se dobija:

$$p_x(x/x_2x_3) = \frac{x}{\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2}} p_{x_1} \left(\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2} \right). \quad (2.185)$$

Usrednjavanjem se dobija izraz za gustinu verovatnoće signala na izlazu iz MRC prijemnika jednaka [63]:

$$p_x(x) = \int_0^\infty dx_2 \int_0^\infty dx_3 p_{x_2}(x_2) p_{x_3}(x_3) \frac{x}{\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2}} p_{x_1} \left(\left(x^2 - x_2^2 - x_3^2 \right)^{1/2} \right). \quad (2.186)$$

Srednji broj osnih preseka od x je:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2, \quad \dot{x}^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2. \quad (2.187)$$

Prvi izvod od x je:

$$2x\dot{x} = 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + \frac{4}{\alpha} y_3^{4/\alpha-1} \dot{y}_3. \quad (2.188)$$

$$\dot{x} = \frac{1}{x} \left(x_1\dot{x}_1 + x_2\dot{x}_2 + \frac{4}{\alpha} y_3^{4/\alpha-1} \dot{y}_3 \right). \quad (2.189)$$

Prvi izvod od Nakagami- m slučajne promenljive je Gausova slučajne promenljiva. Na osnovu ovoga x ima uslovnu Gausovu gustinu verovatnoće. Srednja vrednost od \dot{x} je:

$$\overline{\dot{x}} = \frac{1}{x} \left(x_1 \overline{\dot{x}_1} + x_2 \overline{\dot{x}_2} + \frac{2}{\alpha} y_3^{4/\alpha-1} \overline{\dot{y}_3} \right) = 0. \quad (2.190)$$

Pošto je: $\overline{\dot{x}_1} = \overline{\dot{x}_2} = \overline{\dot{y}_3} = 0.$

Varijansa od \dot{x} je:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} \left(x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2 \sigma_{\dot{x}_2}^2 + \frac{16}{\alpha^2} y_3^{8/\alpha-2} \sigma_{\dot{y}_3}^2 \right). \quad (2.191)$$

gde je:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_1}{m}, \quad \sigma_{\dot{x}_2}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_2}{\kappa+1}, \quad \sigma_{y_3}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega_3}{\mu}. \quad (2.192)$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{x}}^2 &= \frac{\pi^2 f_m^2}{x^2} \left(x_1^2 \frac{\Omega_1}{m} + x_2^2 \frac{\Omega_2}{\kappa+1} + \frac{16}{\alpha^2} y_3^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_3}{\mu} \right) = \\ &= \frac{\pi^2 f_m^2}{x^2} \left((x^2 - x_2^2 - x_3^2)^{1/2} \frac{\Omega_1}{m} + x_2^2 \frac{\Omega_2}{\kappa+1} + \frac{16}{\alpha^2} y_3^{8/\alpha-2} \frac{\Omega_3}{\mu} \right). \end{aligned} \quad (2.193)$$

Združena gustina verovatnoće od x , \dot{x} , x_2 i y_3 je:

$$p_{x\dot{x}x_2y_3}(x\dot{x}x_2y_3) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xx_2y_3) p_{x_2y_3}(xx_2y_3) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/xx_2y_3) p_{y_3}(y_3) p_{x_2}(x_2) p_x(x/x_2y_3). \quad (2.194)$$

Uslovna gustina verovatnoće $p_x(x/x_2y_3)$ je jednaka:

$$p_x(x/x_2y_3) = \left| \frac{dx_1}{dx} \right| p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2} \right). \quad (2.195)$$

gde je:
$$\frac{dx_1}{dx} = \frac{x}{(x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2}}.$$

Zamenom se dobija:

$$p_x(x/x_2y_3) = \frac{x}{(x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2} \right). \quad (2.196)$$

Združena gustina verovatnoće od x , \dot{x} , x_2 i y_3 je

$$\begin{aligned} p_{x\dot{x}x_2y_3}(x\dot{x}x_2y_3) &= p_{\dot{x}}(\dot{x}/xx_2y_3) p_{y_3}(y_3) p_{x_2}(x_2) \\ &\times \frac{x}{(x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2} \right). \end{aligned} \quad (2.197)$$

Združena gustina verovatnoće od x , \dot{x} je:

$$\begin{aligned} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \int_0^\infty dx_2 \int_0^\infty dy_3 p_{x\dot{x}x_2y_3}(x\dot{x}x_2y_3) = \int_0^\infty dx_2 \int_0^\infty dy_3 p_{\dot{x}}(\dot{x}/xx_2y_3) p_{y_3}(y_3) p_{x_2}(x_2) \\ &\times \frac{x}{(x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2}} p_{x_1} \left((x^2 - x_2^2 - y_3^{4/\alpha})^{1/2} \right). \end{aligned} \quad (2.198)$$

Srednji broj osnih preseka od x je [72]:

$$N_x = \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}). \quad (2.199)$$

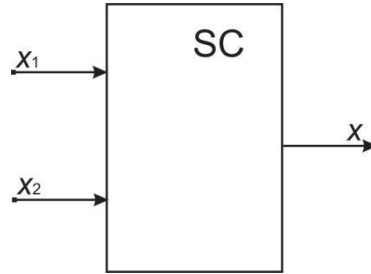
3. PERFORMANSE SC PRIJEMNIKA U PRISUSTVU NEZAVISANIH, NEKORELISANIH, VREMENSKI PROMENLJIVIH FEDIINGA NA PRIJEMNIM GRANAMA (VREMESNKI RAZLOMLJENE RASPODELE)

Kako se menjaju atmosferske prilike pri prenosu mobilnog signala može da se desi da nivou signala u posmatranom vremenskom intervalu odgovara jedan tip raspodele, a da u drugom vremenskom intervalu nivou mobilnog signala odgovara drugi tip raspodele. Ovakav slučaj je moguć za signale koji imaju veliki propagacioni put pa prolaze kroz različite tipove atmosfere na svom putu do prijemnika. U tom slučaju poboljšanje performansi na prijemu se takođe može postići primenom SC kombinera.

3.1. Slučaj prostiranja u Rajs/Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju

Signali na ulazima SC kombinera su označeni sa x_1 i x_2 , dok je signal na izlazu je označen sa x . Ako je signal na prvom ulazu x_1 veći od signala x_2 na drugom ulazu onda je signal na izlazu x jednak signal x_1 na prvom ulazu. Ako je signal na drugom ulazu x_2 veći od signala na prvom ulazu x_1 onda je signal na izlazu x jednak signal x_2 na drugom ulazu [72]. Na osnovu ovog pravila određuje se gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika. Signali na njegovim ulazima mogu da budu modelovani pomoću opisanih vremenski razlomljenih raspodela signala. Tada gustina raspodele verovatnoće signala x_1 ima jednu funkciju u jednom intervalu vremena, a u drugom intervalu vremena ima drugu funkciju. Takođe, gustina raspodele verovatnoće signala x_2

na drugom ulazu se modeluje na ovakav način. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.1.



Slika 3.1. SC prijemnik sa dva ulaza.

Pomoću ovako definisane funkcije gustine verovatnoće može se predstaviti princip konbinovanja vremenski razlomljen raspodele signala u obliku:

$$p_{x_1}(x_1) = \begin{cases} p_{x_{11}}(x_1), & t \in (0, T_1) \\ p_{x_{12}}(x_1), & t > T_1 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \begin{cases} p_{x_{21}}(x_2), & t \in (0, T_2) \\ p_{x_{22}}(x_2), & t > T_2 \end{cases}$$

Uzmimo da signali x_{11} , x_{12} , x_{21} i x_{22} imaju sledeće gustine raspodele verovatnoće [55], [72]:

$$p_{x_{11}}(x_1) = \frac{2(\kappa+1)x_1}{e^\kappa \Omega_1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2} I_0 \left(2\sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}} x_1 \right). \quad (3.2)$$

$$p_{x_{12}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} x_1^2}. \quad (3.3)$$

$$p_{x_{21}}(x_2) = \frac{2(\kappa+1)x_2}{e^\kappa \Omega_3} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_3} x_2^2} I_0 \left(2\sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_3}} x_2 \right). \quad (3.4)$$

$$p_{x_{22}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_4} \right)^m x_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_4} x_2^2}. \quad (3.5)$$

Ovaj scenario propagacije odgovara slučaju kada zbog promenljivih parametara prenosa i neujednačenih karakteristika medijuma-atmosfere, u određenom vremenskom intervalu postoji LOS komponenta signala i optička vidljivost dok u drugom vremenskom intervalu ne postoji dominantna komponenta signala.

Signal na izlazu SC kombinerax je jednak:

$$x = \max(x_1, x_2). \quad (3.6)$$

Dok je njegova gustina raspodele verovatnoće od x data sa:

$$p_x(x) = p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x). \quad (3.7)$$

Kumulativna verovatnoća signala date su pomoću [29], [55], [72], [96]:

$$F_{x_{11}}(x_1) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x_1^2 \right). \quad (3.8)$$

$$F_{x_{12}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} x_1^2 \right). \quad (3.9)$$

$$F_{x_{21}}(x_2) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_3} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_3} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\kappa+1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_3} x_2^2 \right), \quad (3.10)$$

$$F_{x_{22}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_4} x_2^2 \right). \quad (3.11)$$

Izrazi za gustine raspodele verovatnoće na izlazu iz SC kombinera u zavisnosti od vremenskog trenutka posmatranja su u tom slučaju:.

$$t \in (0, T_1), \quad 0 < T_1 < T_2 < \infty; \quad (3.12)$$

$$p_x(x) = p_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{11}}(x).$$

$$t \in (T_1, T_2); \quad (3.13)$$

$$p_x(x) = p_{x_{12}}(x)F_{x_{21}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{12}}(x).$$

$$t \in (T_2, \infty); \quad (3.14)$$

$$p_x(x) = p_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x) + p_{x_{22}}(x)F_{x_{12}}(x).$$

Zamenom prethodnih izraza dobijamo PDF na izlazu iz SC za slučaj $t \in (0, T_1)$:

$$p_x(x) = \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2} I_0 \left(2 \sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}} x \right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\kappa+1} \right)^{i_2+1} \\ \times \gamma \left(i_2+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_3} x^2 \right) + \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_2} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_2} x^2} I_0 \left(2 \sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_2}} x \right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \\ \times \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (3.15)$$

za slučaj $t \in (T_1, T_2)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{12}}(x)F_{x_{21}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{12}}(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}x^2} \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_3} \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_3} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\kappa+1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_3} x^2 \right) + \frac{2(\kappa+1)x}{e^\kappa \Omega_3} e^{-\frac{\kappa+1}{\Omega_3}x^2} \\
&\times I_0 \left(2 \sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_3}} x \right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.16}$$

i za slučaj $t \in (T_2, \infty)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{21}}(x)F_{x_{22}}(x) + p_{x_{22}}(x)F_{x_{21}}(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \\
&\times \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_4} x^2 \right) + \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_4} \right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_4}x^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na prvom i dugom ulazu u SC prijemnik. Kumulativne verovatnoće na svakom ulazu se računaju pomoću gustine verovatnoće signala na svakom ulazu u SC prijemnik. Uzimajući u obzir različite parametre sistema u posmatranim vremenskim intervalima dobijamo:

$$F_x(x) = F_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x), \quad t \in (0, T_1). \tag{3.18}$$

$$F_x(x) = F_{x_{12}}(x)F_{x_{21}}(x), \quad t \in (T_1, T_2). \tag{3.19}$$

$$F_x(x) = F_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x), \quad t \in (T_2, \infty). \tag{3.20}$$

Zamenom prethodnih izraza dobijamo CDF na izlazu iz SC za slučaj $x \in (0, x_{T_1})$:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_1} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa+1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_1} x^2 \right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_3} \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_3} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\kappa+1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_3} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.21}$$

Zatim se računa kumulativna verovatnoća signala u intervalu $t \in (T_1, T_2)$. Ova kumulativna verovatnoća je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća signala u intervalu $t \in (T_1, T_2)$. Analogno tome, karakteristična funkcija, prvi moment ili srednja vrednost signala, drugi moment ili srednja kvadratna vrednost signala, treći moment ili srednja kubna vrednost signala i varijansa signala u intervalu $t \in (T_1, T_2)$ se računaju pomoću gustine verovatnoće signala u intervalu $t \in (T_1, T_2)$. Zamenom prethodnih izraza dobijamo CDF na izlazu iz SC za posmatrani slučaj u obliku [29]:

$$F_x(x) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2\right) \frac{2(\kappa+1)}{e^\kappa \Omega_3} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa(\kappa+1)}{\Omega_1}\right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\kappa+1}\right)^{i_2+1} \gamma\left(i_2+1, \frac{\kappa+1}{\Omega_3} x^2\right). \quad (3.22)$$

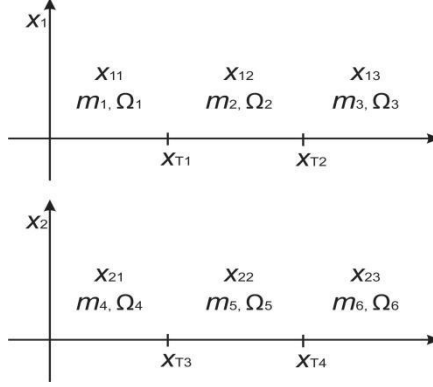
Na kraju se računa kumulativna verovatnoća signala u intervalu $t \in (T_2, \infty)$. Ova kumulativna verovatnoća je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na ulazima SC kombinera u interval $t \in (T_2, \infty)$, [29]:

$$F_x(x) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_4} x^2\right). \quad (3.23)$$

3.2. Slučaj prostiranja u Nakagami- m /Nakagami- m /Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju

Razmatra se SC prijemnik sa dva nekorelisana nezavisna ulaza, koji su označeni sa x_1 i x_2 . Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.1. Slučajne promenljiva x_1 i x_2 imaju Nakagami- m raspodelu u odgovarajućim intervalima. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.2. Parametri Nakagami- m raspodele su različiti u tri vremenska intervala. U prvom vremenskom intervalu vremena $t \in (0, T_1)$, parametri Nakagami- m fedinga koji se javljaju na prvoj ulaznoj grani su m_1 i Ω_1 , pa je odgovarajuća PDF data pomoću [53], [55], [72]:

$$p_{x_{11}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2}. \quad (3.24)$$



Slika 3.2. Model sisitema prenosa na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza u vremenski razlomljenom Nakagami- m frding okruženju

Slično se definišu parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na prvoj ulaznoj grani u vremenskom intervalu $t \in (T_1, T_2)$:

$$p_{x_{12}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x_1^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x_1^2}. \quad (3.25)$$

i u vremenskom intervalu $t \in (T_2, \infty)$:

$$p_{x_{13}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x_1^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x_1^2}. \quad (3.26)$$

U prvom vremenskom intervalu vremena $t \in (0, T_3)$, parametri Nakagami- m fedinga koji se javljaju na drugoj ulaznoj grani su m_4 i Ω_4 , pa je odgovarajuća PDF data pomoću:

$$p_{x_{21}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x_2^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x_2^2}. \quad (3.27)$$

Slično se definišu parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na drugoj ulaznoj grani u vremenskom intervalu $t \in (T_3, T_4)$:

$$p_{x_{22}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x_2^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x_2^2}. \quad (3.28)$$

i u vremenskom intervalu $t \in (T_4, \infty)$:

$$p_{x_{23}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6} \right)^{m_6} x_2^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6}{\Omega_6} x_2^2}. \quad (3.29)$$

Može se odrediti kumulativna verovatnoća izlomljene Nakagami- m raspodele na izlazu iz SC kombinera. Ova kumulativna verovatnoća se određuje pomoću izlomljenih Nakagami- m gustine verovatnoće na ulazu prijemnika. Pomoću izlomljene Nakagami- m gustine verovatnoće na izlazu SC kombinera se mogu odrediti karakteristična funkcija izlomljene Nakagami- m raspodele, prvi moment ili srednja vrednost od izlomljene Nakagami- m slučajne promenljive. Za svaki od ovih intervala može se odrediti i Nakagami- m slučajni proces. Za ovaj slučajni proces može se odrediti srednji broj osnih preseka i srednje vreme trajanja otkaza. Odgovarajući izrazi za CDF signala na ulaznim granama su dati za odgovarajuće posmatrane vremenske intervale pomoću [29], [72]:

Kada je $t \in (0, T_1)$

$$F_{x_{11}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2\right). \quad (3.30)$$

Kada je $t \in (T_1, T_2)$:

$$F_{x_{12}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x_1^2\right). \quad (3.31)$$

Kada je $t \in (T_2, \infty)$:

$$F_{x_{13}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x_1^2\right). \quad (3.32)$$

Kada je $t \in (0, T_3)$:

$$F_{x_{21}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x_2^2\right). \quad (3.33)$$

Kada je $t \in (T_3, T_4)$:

$$F_{x_{22}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x_2^2\right). \quad (3.34)$$

Kada je $t \in (T_4, \infty)$:

$$F_{x_{23}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x_2^2\right). \quad (3.35)$$

Posmatrajmo slučaj:

$$T_1 < T_3 < T_2 < T_4 \quad (3.36)$$

Gustina verovatnoće od x na izlazu iz SC prijemnika u intervalu $t \in (0, T_1)$ može se zapisati kao suma dva člana [29], [72]:

$$p_x(x) = p_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{11}}(x) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \times \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right) + \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (3.37)$$

Gustina verovatnoće od x na izlazu iz SC prijemnika u intervalu $t \in (T_1, T_3)$ može se zapisati kao suma dva člana [29], [72]:

$$p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right) + \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right). \quad (3.38)$$

Gustina verovatnoće od x na izlazu iz SC prijemnika u intervalu $t \in (T_3, T_2)$ može se zapisati kao suma dva člana [29], [72]:

$$p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) + \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right). \quad (3.39)$$

Gustina verovatnoće od x na izlazu iz SC prijemnika u intervalu $t \in (T_2, T_4)$ može se zapisati kao suma dva člana [29], [72]:

$$p_x(x) = p_{x_{13}}(x)F_{x_{22}}(x) + p_{x_{22}}(x)F_{x_{13}}(x) = \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_5)} \times \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) + \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right). \quad (3.40)$$

Gustina verovatnoće od x na izlazu iz SC prijemnika u intervalu $t \in (T_4, \infty)$ može se zapisati kao suma dva člana [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma \left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6} \right)^{m_6} x^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6}{\Omega_6} x^2} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.41}$$

Kumulativna verovatnoće signala u intervalu $t \in (0, T_1)$ na izlazu iz SC prijemnika je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća od x_{11} i x_{21} , [29], [72]:

$$F_x(x) = F_{x_{11}}(x) F_{x_{21}}(x) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right). \tag{3.42}$$

Kumulativna verovatnoće signala u intervalu $t \in (T_3, T_2)$ na izlazu iz SC prijemnika je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća od x_{12} i x_{21} , [29], [72]:

$$F_x(x) = F_{x_{12}}(x) F_{x_{21}}(x) = \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right). \tag{3.43}$$

Kumulativna verovatnoće signala u intervalu $t \in (T_2, T_4)$ na izlazu iz SC prijemnika je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća od x_{13} i x_{22} , [29], [72]:

$$F_x(x) = F_{x_{13}}(x) F_{x_{22}}(x) = \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right). \tag{3.44}$$

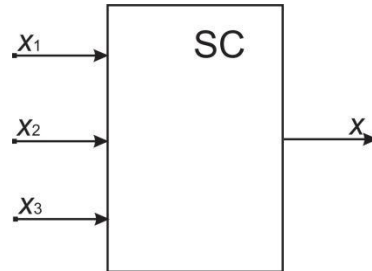
Kumulativna verovatnoće signala u intervalu $t \in (T_4, \infty)$ na izlazu iz SC prijemnika je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća od x_{13} i x_{23} , [29], [72]:

$$F_x(x) = F_{x_{13}}(x) F_{x_{23}}(x) = \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma \left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2 \right). \tag{3.45}$$

U izrazima za kumulativnu verovatnoću signala na izlazu iz SC prijemnika sadržane po dve potpuna i dve nepotpuna Gama funkcija.

3.3. Prostiranje u Nakagami- m /Nakagami- m vremenski promenljivom okruženju za slučaj prijema pomoću SC prijemnika sa tri ulaza

Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.3. SC prijemnik ima tri ulaza. Ulazi su označeni sa x_1 , x_2 i x_3 . Signal na izlazu je označen sa x .



Slika 3.3. SC prijemnik sa tri ulaza.

Parametri Nakagami- m raspodele su različiti u dva vremenska intervala. U prvom vremenskom intervalu vremena $t \in (0, T_1)$, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na prvoj ulaznoj grani su m_1 i Ω_1 . U drugom vremenskom intervalu, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na prvoj ulaznoj grani su m_2 i Ω_2 . Signal na drugom ulazu je označen sa x_2 . U prvom vremenskom intervalu vremena $t \in (0, T_2)$, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na drugoj ulaznoj grani su m_3 i Ω_3 . U drugom vremenskom intervalu, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na prvoj ulaznoj grani su m_4 i Ω_4 . Signal na trećem ulazu je označen sa x_3 . U prvom vremenskom intervalu vremena $t \in (0, T_3)$, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na drugoj ulaznoj grani su m_5 i Ω_5 . U drugom vremenskom intervalu, parametri Nakagami- m fedinga koji se javlja na prvoj ulaznoj grani su m_6 i Ω_6 . Odgovarajuće PDF funkcije su date pomoću, [29], [72]:

Za $t \in (0, T_1)$:

$$p_{x_{11}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2}. \quad (3.46)$$

Za $t > T_1$:

$$p_{x_{12}}(x_1) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x_1^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x_1^2}. \quad (3.47)$$

Za $t \in (0, T_2)$:

$$p_{x_{21}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x_2^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x_2^2}. \quad (3.48)$$

Za $t > T_2$:

$$p_{x_{22}}(x_2) = \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x_2^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x_2^2}. \quad (3.49)$$

Za $t \in (0, T_3)$

$$p_{x_{31}}(x_3) = \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x_3^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x_3^2}. \quad (3.50)$$

Za $t > T_3$:

$$p_{x_{32}}(x_3) = \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6} \right)^{m_6} x_3^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6}{\Omega_6} x_3^2}. \quad (3.51)$$

Odgovarajuće CDF funkcije su date pomoću [29], [72]:

Za $t \in (0, T_1)$:

$$F_{x_{11}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x_1^2 \right). \quad (3.52)$$

Za $t > T_1$:

$$F_{x_{12}}(x_1) = \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x_1^2 \right). \quad (3.53)$$

Za $t \in (0, T_2)$:

$$F_{x_{21}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x_2^2 \right). \quad (3.54)$$

Za $t > T_2$:

$$F_{x_{22}}(x_2) = \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x_2^2 \right). \quad (3.55)$$

Za $t \in (0, T_3)$

$$F_{x_{31}}(x_3) = \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x_3^2 \right). \quad (3.56)$$

Za $t > T_3$:

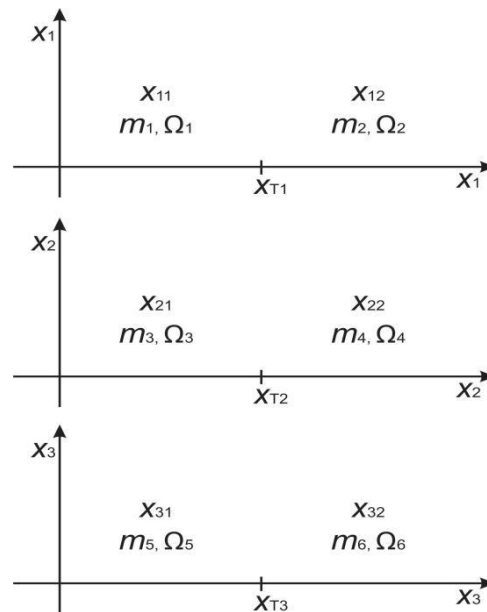
$$F_{x_{32}}(x_3) = \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x_3^2\right). \quad (3.57)$$

Razmatran je slučaj kada je:

$$0 < T_1 < T_2 < T_3. \quad (3.58)$$

Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 3.4.

Gustina raspodele verovatnoće signala na ulazima u sva tri ulaza u SC prijemnik je izlomljena Nakagami- m raspodela. Gustina verovatnoće raspodele signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza ima tri sabirka. Prvi sabirak jednak je proizvodu gustine verovatnoće signala na prvom ulazu, kumulativne verovatnoće signala na drugom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na trećem ulazu. Drugi sabirak jednak je proizvodu gustine verovatnoće signala na drugom ulazu, kumulativne verovatnoće signala na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na trećem ulazu. Treći sabirak jednak je proizvodu gustine verovatnoće signala na trećem ulazu, kumulativne verovatnoće signala na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na drugom ulazu.



Slika 3.4. Model sistema prenosa na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza u okruženju vremenski razlomljenom Nakagami- m raspodelom fadinga.

Gustina verovatnoće raspodele signala na izlazu iz SC prijemnika x data je pomoću:

Kada je $t \in (0, T_1)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{11}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{31}}(x)F_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.59}$$

Kada je $t \in (T_1, T_2)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{12}}(x)F_{x_{21}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{21}}(x)F_{x_{12}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{31}}(x)F_{x_{21}}(x)F_{x_{12}}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.60}$$

Kada je $t \in (T_2, T_3)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{22}}(x)F_{x_{12}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{31}}(x)F_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.61}$$

Kada je $t \in (T_3, \infty)$:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= p_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x)F_{x_{32}}(x) + p_{x_{22}}(x)F_{x_{32}}(x)F_{x_{31}}(x) + p_{x_{32}}(x)F_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x) = \\
&= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4}\right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6}\right)^{m_6} x^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6}{\Omega_6}x^2} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.62}$$

Takođe, možemo odrediti funkciju kumulativne verovatnoću na izlazu iz SC prijemnik sa tri ulaza. Ona je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća signala za svaki ulaz i za svaki opseg. Kumulativna verovatnoća za svaki opseg jednaka je količniku tri nepotpune Gama funkcije i tri potpune Gama funkcije. Nepotpuna Gama funkcija ima dva člana. Prvi član je jednak Nakagami- m parametru m . Drugi član sadrži razlomak, u imeniocu je Nakagami- m parametru m i kvadrat signala, a u brojiocu je snaga Nakagami- m slučajne promenljive Ω . Kumulativna verovatnoće signala x za opseg $t \in (0, T_1)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= F_{x_{11}}(x)F_{x_{21}}(x)F_{x_{31}}(x) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.63}$$

Kumulativna verovatnoće signala x za opseg $t \in (T_1, T_2)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= F_{x_{12}}(x)F_{x_{21}}(x)F_{x_{31}}(x) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.64}$$

Kumulativna verovatnoće signala x za opseg $t \in (T_2, T_3)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= F_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x)F_{x_{31}}(x) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right).
\end{aligned} \tag{3.65}$$

Kumulativna verovatnoće signala x za opseg $t \in (T_3, \infty)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= F_{x_{12}}(x)F_{x_{22}}(x)F_{x_{32}}(x) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m_2)}\gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_4)}\gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_6)}\gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6}x^2\right). \tag{3.66}
\end{aligned}$$

Može se odrediti i karakteristične funkcije signala na sva tri ulaza za zadati opseg, kao i moment signala na ulazima u SC prijemnik za zadati opseg.

Združena gustina verovatnoće od signala na izlazu iz SC prijemnika i njegovog prvog izvoda signala na izlazu iz SC prijemnika potrebna je zbog određivanja srednjeg broja osnih preseka na izlazu iz SC prijemnika. Svaka gustina signala na ulazima u SC prijemnik može se podeliti na više delova i svaki deo se aproksimativno predstavlja sa Nakagami- m raspodelom sa odgovarajućim vrednostima parametara m i srednjom snagom signala Ω . Srednja snaga signala je jednaka sa srednjom kvadratnom vrednošću. Na ovaj način je gustina verovatnoće signala aproksimira izlomljenom Nakagami- m raspodelom. Parametri m_1 , m_2 i m_3 se određuju na taj način da su odstupanja minimalna.

Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} kada $t \in (0, T_1)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \frac{2}{\Gamma(m_1)}\left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{11}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{11}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_3)}\gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_5)}\gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)}\left(\frac{m_3}{\Omega_3}\right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{21}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{21}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)}\gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_5)}\gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \tag{3.67} \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)}\left(\frac{m_5}{\Omega_5}\right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{31}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{31}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)}\gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_3)}\gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right).
\end{aligned}$$

Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} kada $t \in (T_1, T_2)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)}\left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{12}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{12}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_3)}\gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_5)}\gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)}\left(\frac{m_3}{\Omega_3}\right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{21}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{21}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)}\gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_5)}\gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5}x^2\right) \tag{3.68} \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)}\left(\frac{m_5}{\Omega_5}\right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5}x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}_{31}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{31}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)}\gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2}x^2\right)\frac{1}{\Gamma(m_3)}\gamma\left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3}x^2\right).
\end{aligned}$$

Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} kada $t \in (T_2, T_3)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2 x^2}{\Omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{12}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{12}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4 x^2}{\Omega_4}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{22}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{22}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma\left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2\right) \quad (3.69) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5 x^2}{\Omega_5}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{31}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{31}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2\right).
\end{aligned}$$

Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} kada $t \in (T_3, \infty)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2 x^2}{\Omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{12}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{12}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2\right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4 x^2}{\Omega_4}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{22}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{22}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma\left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2\right) \quad (3.70) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6} \right)^{m_6} x^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6 x^2}{\Omega_6}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_{32}}}} e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_{32}}^2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2\right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma\left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2\right).
\end{aligned}$$

Može se odrediti srednja vrednost signala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza. Ova srednja vrednost signala ima takođe tri člana. Može se odrediti srednja kvadratna vrednost. Ova srednja kvadratna vrednost ima tri sabirka. Svaki sabirak se dobija odgovarajućom integracijom. Na sličan način se računa srednja kubna vrednost i srednja varijansa.

Srednji broj osnih preseka se računa kao proivod prvog izvoda signala i združene gustine verovatnoće signala na izlazu iz SC prijmnika sa tri ulaza, srednji broj osnih preseka od x je [29], [72]:

$$N_x = \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}). \quad (3.71)$$

Srednji broj osnih preseka od x kada $t \in (0, T_1)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
N_x(x) &= \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1} \right)^{m_1} x^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{\Omega_1} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_1^{1/2}}{m_1^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_3^{1/2}}{m_3^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_5^{1/2}}{m_5^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma \left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.72}$$

Srednji broj osnih preseka od x kada $t \in (T_1, T_2)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
N_x(x) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_2^{1/2}}{m_2^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_3)} \left(\frac{m_3}{\Omega_3} \right)^{m_3} x^{2m_3-1} e^{-\frac{m_3}{\Omega_3} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_1^{1/2}}{m_3^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_5^{1/2}}{m_5^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_3)} \gamma \left(m_3, \frac{m_3}{\Omega_3} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.73}$$

Srednji broj osnih preseka od x kada $t \in (T_2, T_3)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
N_x(x) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_2^{1/2}}{m_2^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_4^{1/2}}{m_4^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_5)} \gamma \left(m_5, \frac{m_5}{\Omega_5} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_5)} \left(\frac{m_5}{\Omega_5} \right)^{m_5} x^{2m_5-1} e^{-\frac{m_5}{\Omega_5} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_5^{1/2}}{m_5^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.74}$$

Srednji broj osnih preseka od x kada $t \in (T_3, \infty)$ je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
N_x(x) &= \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} x^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_2^{1/2}}{m_2^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma \left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_4)} \left(\frac{m_4}{\Omega_4} \right)^{m_4} x^{2m_4-1} e^{-\frac{m_4}{\Omega_4} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_4^{1/2}}{m_4^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_6)} \gamma \left(m_6, \frac{m_6}{\Omega_6} x^2 \right) \\
&+ \frac{2}{\Gamma(m_6)} \left(\frac{m_6}{\Omega_6} \right)^{m_6} x^{2m_6-1} e^{-\frac{m_6}{\Omega_6} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \pi f_m \frac{\Omega_6^{1/2}}{m_6^{1/2}} \frac{1}{\Gamma(m_2)} \gamma \left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} x^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m_4)} \gamma \left(m_4, \frac{m_4}{\Omega_4} x^2 \right).
\end{aligned} \tag{3.75}$$

4. MAKRODIVERZITI SISTEM SA DVA I TRI MIKRODIVERZITI SC KOMBINERA

Makrodiverziti sistem sastoji se od makrodiverziti prijemnika i dva ili više mikrodiverziti prijemnika [96]. Makrodiverziti prijemnik se koristi da se smanji uticaj sporog Gama fedinga na peroformanse sistema. Mikrodiverziti prijemnici mogu da budu SSC, EGC, SC ili MRC kombiner [16], [52], [57], [68], [79], [85]. Mikrodiverziti SC prijemnik bira granu sa najvećom snagom korisnog signala. Signal na izlazu iz EGC prijemnika jednak je zbiru signala na njegovim ulazima. Signali na ulazima u EGC prijemnik moraju biti dovedeni u istu fazu. Takođe, signali na ulazima u MRC prijemnike moraju biti dovedeni u istu fazu. Kvadrat signala na izlazu iz MRC prijemnik jednak je zbiru kvadrata anvelope signala na njegovim ulazima. Performanse sistema sa MRC prijemnikom daju najbolje performanse. Performanse EGC prijemnika su bolje od performansi SC prijemnika, a gore su od performansi MRC prijemnika. Performanse SC prijemnika su gore od performansi MRC i EGC prijemnika. Za realizaciju je najjednostavniji SC prijemnik, a najkomplicovaniji je MRC prijemnik. EGC prijemnik je jednostavniji od MRC prijemnika, a komplikovaniji od SC prijemnika za praktičnu realizaciju. MRC prijemnik analizira grupu implusa na svim svojim ulazima i određuje odnos signal i šum na svim ulazima. SSC prijemnik je jednostavniji za realizaciju. Kod SSC prijemnika signal je na jednom ulazu sve dok je signal na tom ulazu veći od praga.

Mikrodiverziti prijemnici su raspoređeni geografski u ćelijama, ćeliska konfiguracija mreže. Ćeliska konfiguracija mreže se koristi da se poveća informacioni kapacitet kanala [69]. Makrodiverziti SC prijemnik kombinuje signal sa više antena postavljenih na baznim stanicama. Mikrodiverziti SC prijemnik kombinuje signale sa više antena postavljenih na jednoj baznoj stanici. Snaga anvelope kada je prisutan spori feding je opisana sa Gama raspodelom. Spori feding je uvek veliki zbog toga što iste prepreke zaklanja dve ili više bazne stanice. Signal na ulazima u mikrodiverziti prijemnik može da bude korelisan ili nekorelisan. Kod sistema sa ćeliskom konfiguracijom dominantna smetanja je međukanalna interferenca. U ovom slučaju

potrebno je odrediti gustinu verovatnoće, kumulativnu verovatnoću i srednji broj osnih preseka odnosa signala i interference. Pomoću ovih funkcija se određuje gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća i srednji broj osnih preseka odnosa signala i interference na ulazima u mikrodiverziti prijemnik. Zatim se određuju gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća i srednji broj osnih preseka odnosa signala i interference na ulazu u makrodiverziti SC prijemnik.

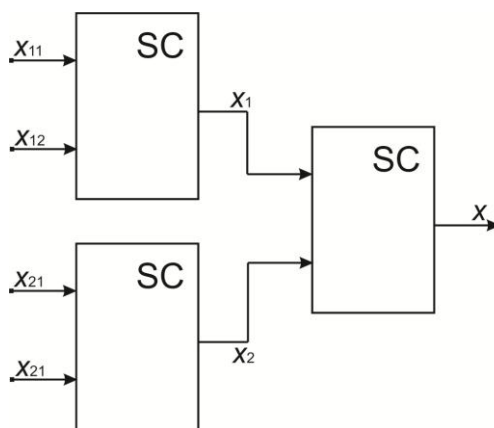
U ovoj glavi razmatraće se makrodiverziti sistemi sa dva i tri mikrodiverziti sistema. Makrodiverziti sistem sastoji se od jednog makrodiverziti selektivnog SC prijemnika i dva, tri ili višemikrodiverziti SC prijemnika. Makrodiverziti prijemnik smanjuje uticaj sporog fedinga na verovatnoću otkaza i verovatnoću greške sistema, a mikrodiverziti prijemnik smanjuje uticaj brzog fedinga na performanse sistema. Na ulazima u mikrodiverziti sistem se može pojavljivati brzi feding, a na ulazima u makrodiverziti sistem se pojavljuje spori Gama feding. Na ulazima se može pojavljivati i jedan brzi i jedan spori feding.

4.1. Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu korelisane Gama senke i α - μ fedinga

Spori feding i brzi feding degradiraju sistemske performanse bežičnih telekomunikacionih sistema i limitiraju kapacitet kanala i spektralnu efikasnost [63]. Fizičke pojave kao što su refleksija, refrakcija, difrakcija i rasipanje radio talasa uzrokuju prostiranje signala po više puteva, što rezultira varijacijom anvelope signala, dok velike prepreke između predjanika i prijemnika uzrokuju efekat senke, što rezultira varijaciju snage signala anvelope [32], [72]. Postoje mnogo statističkih modela koje se mogu koristiti za opisivanje varijacije anvelope signala ili sporog fedinga kada se signal prostire po više puteva, u zavisnosti od postojanja komponente optičke vidljivosti, nelinearnosti okruženja, broja klastera i nejednakost snaga komponenti u kvadraturi. Najčešće korišćeni statistički modeli su: Rejljev, Rajsov, Nakagami- m i Nakagami- q koje uzimaju u obzir pretpostavku homogenosti polja. α - μ raspodela opisuje nelinearne sredine izazvane prostornim koreliranim površinama, što bolje odgovara eksperimentalnim podacima [15], [100]. α - μ raspodela je opšta raspodela, što znači da uključuje prethodno pomenute raspodele kao posebne slučajeve.

Log-normalna i Gama raspodela mogu se koristiti za opisivanje velikih varijacija snage anvelope prouzrokovane efektom senke u komunikacionom kanalu [96]. S obzirom da spori feding i efekat senke koegzistirjau u bežičnim telekomunikacionim sistemima, moraju se uzeti istovremeno u obzir. Spori feding može se ublažiti primenom diverziti tehnika na jednoj baznoj stanici pomoću mikrodiverziti sistema, dok makrodiverziti sistem se obično primenjuje kako bi se ublažio efekat senke [52], [67]. Srednji broj osnih preseka je jedna od najvažnijih mera statističkih performansi drugog reda bežičnih telekomunikacionih sistema koja je već našla primenu u modeliranju i dizajnu komunikacionih sistema, ali i dizajnu kodova za korekciju greške, optimizaciji veličine interlivera i analizi protokola. Srednji broj osnih preseka slučajnog procesa može se dobiti kao prosečna vrednost prvog izvoda slučajnog procesa. Važno je utvrditi koliko spori feding i brzi feding utiču na srednji broj osnih preseka bežičnih telekomunikacionih sistema. U literaturi postoji više radova koji razmatraju statističke mere prvog i drugog reda makrodiverziti sistema sa dva ili više mikrodiverziti prijemnika koji rade u prisustvu efekta senke u feding kanalu [44], [66], [69], [57].

U ovom delu doktorske disertacije razmatraćemo makrodiverziti strukturu sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu korelisane senke i brzog fedinga. Primljeni signal izložen je Gama sporom fedingu i α - μ brzom fedingu koji uzrokuju degradaciju performansi sistema. Makrodiverziti SC prijemnik se koristi kako bi se smanjio uticaj efekta Gama senke, dok mikrodiverziti SC prijemnik se koristi za ublažavanje α - μ brzog fedinga na performansi telekomunikacionog sistema. Razmatrani i izračunati su izrazi za srednji broj osnih preseka i kumulativnu verovatnoću. Moedel predloženog sistema prikazan je na Slici 4.1.



Silka 4.1. Model makarodverziti sistem.

α - μ raspodela se koristi za opisivanje male varijacije anvelope signala u nelinearnim sredinama i sredinama gde nepostoji optička vidljivost u feding okruženju, sastoji se od parametra α i μ . Parametar α uzima u obzir nelinearnost sredine, dok je parametar μ povezan sa brojem klastera propagacionog polja. α - μ raspodela slučajnog procesa x može se definisati kao:

$$x = y^{2/\alpha}, \quad x^\alpha = y^2. \quad (4.1)$$

gde je y Nakagami- m slučajni proces. Kvadrat Nakagami- m slučajne promenljive je definisan kao zbir 2μ kvadrata međusobno nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih sa varijansom σ^2 :

$$y^2 = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{2\mu}^2. \quad (4.2)$$

zatim, prvi izvod vremenski zavisnog procesa se može napisati kao:

$$\dot{y} = \frac{1}{y} (y_1 \dot{y}_1 + y_2 \dot{y}_2 + \dots + y_{2\mu} \dot{y}_{2\mu}). \quad (4.3)$$

gde su: $y_i, i=1, 2, \dots, 2\mu$ Gausovi slučajni procesi. Prvi izvod vremenski zavisnog α - μ slučajnog procesa $x(t)$ može se napisati kao:

$$\dot{x} = \frac{2}{\alpha x^{\alpha-1}} (y_1 \dot{y}_1 + y_2 \dot{y}_2 + \dots + y_{2\mu} \dot{y}_{2\mu}). \quad (4.4)$$

Linerana transformacija Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva, tada u odnosu na jednačinu (4.4), prvi izvod od x takođe ima uslovnu Gausovu raspodelu [42]. Srednja vrednost od prvog izvoda α - μ slučajne promenljive je nula, prvi izvod od 2μ Gausove slučajne promenljive ima srednju vrednost nula. Varijansa \dot{x} može se zapisati kao:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{4}{\alpha^2 x^{2\alpha-2}} (y_1^2 \sigma_{\dot{y}_1}^2 + y_2^2 \sigma_{\dot{y}_2}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2). \quad (4.5)$$

gde je:

$$\sigma_{\dot{y}_1}^2 = \sigma_{\dot{y}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega}{\mu}. \quad (4.6)$$

gde je: f_m maksimalna Doplerova frekvencija i $\Omega = \overline{y^2}$ je prosečna snaga signala Nakagami- m anvelope. Nakon zamene jednačine (4.6) u jednačini (4.5) izraz za varijansu je:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{4}{\alpha^2 x^{2\alpha-2}} \pi^2 f_m^2 \frac{\Omega}{\mu} (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{2\mu}^2) = \frac{4\pi^2 f_m^2 \Omega}{\alpha^2 x^{2\alpha-2} \mu}. \quad (4.7)$$

Funkcija združene gustine verovatnoće α - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - μ slučajne promenljive je:

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{\dot{x}}(\dot{x}/x) p_x(x). \quad (4.8)$$

gde je $p_x(x)$ gustina verovatnoće od α - μ slučajne promenljive [72]:

$$p_x(x) = \frac{\alpha}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{\mu}{\Omega} \right)^\mu x^{\alpha\mu-1} e^{-\frac{\mu}{\Omega} x^\alpha}, \quad x \geq 0. \quad (4.9)$$

U predhodnom izrazu, $\Omega = \overline{y^2}$ je srednja snaga signala za y , dok m označava Nakagami- m oštrinu fedinga i $\Gamma(\cdot)$ predstavlja Gama funkciju [29]. Uslovna gustina verovatnoće može biti prikazana u obliku [32]:

$$p_{\dot{x}}(\dot{x}/x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}}} e^{-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}}. \quad (4.10)$$

Srednji broj osnih preseka može se definisati kao brzina kojom anvelopa signala prelazi nivo x u pozitivnom ili negativnom smeru u feding okruženju. Srednji broj osnih preseka α - μ slučajnog procesa može se izračunati kao prosečna vrednost od prvog izvoda α - μ slučajnog procesa x sledećom matematičkom formulom [42].

$$N_x = \int_0^\infty p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) d\dot{x} = \frac{\sigma_{\dot{x}}}{\sqrt{2\pi}} p_x(x) = \sqrt{2\pi} f_m \frac{1}{\Gamma(\mu)} \frac{\mu^{\mu-1/2}}{\Omega^{\mu-1/2}} x^{\alpha\mu-\alpha/2} e^{-\frac{\mu}{\Omega} x^\alpha}. \quad (4.11)$$

Jednačina (4.11) može se koristiti za izračunavanje srednjeg vremena trjanja fedinga preko kojeg radi bežični mobilni telekomunikacioni sistem u prisustvu α - μ fedinga. Kako je poznato SC prijemnik bira granu sa najjačim signalom u svakom vremenskom trenutku [15]. Združeni gustina verovatnoće za SC prijemnik sa dva ulaza izlaznog signala anvelope i njegovog prvog izvoda, kada se posmatraju identična raspodla α - μ feding na granama, može se odrediti prema [72]:

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x}) F_{x_1}(x) = 2p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x). \quad (4.12)$$

gde su: x_1 i x_2 označavaju anvelopu ulaznog signala u SC prijemnik, a $F_{x_2}(x)$ je kumulativna verovatnoća od α - μ slučajne promenljive [72]:

$$F_{x_2}(x) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \gamma\left(\mu, \frac{\mu}{\Omega} x^\alpha\right). \quad (4.13)$$

gde je $\gamma(\alpha, x)$ nepotpuna Gama funkcija [29]. Srednji broj osnih preseka SC prijemnika sa dva ulaza koji je izložen identičnom i nezavisnom α - μ fedingom, izlazni signal anvelope jednak je:

$$N_{x_1} = \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = 2F_{x_2}(x)N_x. \quad (4.14)$$

gde je: N_x dat u jednačini (4.11) i $F_{x_2}(x)$ u jednačini (4.13). Jednačina (4.14) može se koristiti za izračunavanje srednjeg vremena trajanja fedinga bežičnog telekomunikacionog sistema sa SC prijemnikom koji radi okruženju izloženom α - μ fedingu.

Makrodiverziti sistem sa SC prijemnikom na makro nivou i dva SC prijemnika na makro nivou se u daljem delu doktorske disertacije razmatrani. Primeljeni signal je istovremeno izložen sporom Gama fedingu i α - μ brzom fedingu, što rezultira varijaciju anvelope signala i varijaciju snage signala anvelope. Mikrodiverziti SC prijemnici kombinuju anvelopu signala sa više antenna na baznoj stanici što rezultira smanjivanjem efekta brzog fedinga, dok makrodiverziti SC prijemnik kombinuje signale sa dve ili više baznih stanica što rezultira smanjivanje uticaja efekta sporog fedinga. Mikrodiverziti SC prijemnik bira na izlazu granu sa najčom anvelopom signala, a makrodiversiti SC prijemnik bira mikrodiverziti SC prijemnik sa najvećom snagom anvelope signala. Signal anvelope na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika označeni su sa x_1 i x_2 , dok signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je označen sa x . Prosečna snaga signala na ulazu u mikrodiverziti SC prijemnik je označena sa Ω_1 i Ω_2 , koji prati korelisanu Gama raspodelu [68], [69]:

$$\begin{aligned} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) &= \frac{(\Omega_1\Omega_2)^{(c-1)/2}}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} I_{c-1}\left(\frac{2\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\sqrt{\Omega_1\Omega_2}\right) = \\ &= \frac{1}{\Gamma(c)} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i}\Omega_1^{i+c-1}\Omega_2^{i+c-1}}{\Omega_0^{2i+2c}(1-\rho^2)^{2i+c} i!\Gamma(i+c)}. \end{aligned} \quad (4.15)$$

gde je: ρ koeficijent korelacije, c je parametar Gama raspodele, Ω_0 je srednja snaga od Ω_1 i Ω_2 . $I_n(x)$ je modifikovana Beselova funkcija prve vrste i n -tog reda. Srednji broj osnih preseka makrodiverziti SC prijemnika anvelope izlaznog signala jednak je srednjem broju osnih preseka mikrodiverziti SC prijemnika izlaznog signala stim da bira izlaz na osnovu najveće srednje snage na ulazu. Dakle, srednji broj osnih preseka makrodiverziti SC prijemnika anvelope izlaznog signala može se napisati na sledeći način:

$$\begin{aligned}
N_x &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x_1\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 N_{x_2\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= 2 \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x_1\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2).
\end{aligned} \tag{4.16}$$

gde je: $N_{x_1\Omega_1}$ dat u jednačini (4.14), a nakon zamene jednačine (4.12)-(4.15) u jednačini (4.16), izraz za srednji broj osnih preseka makrodiverziti SC prijemnika anvelope izlaznog signala postaje [29]:

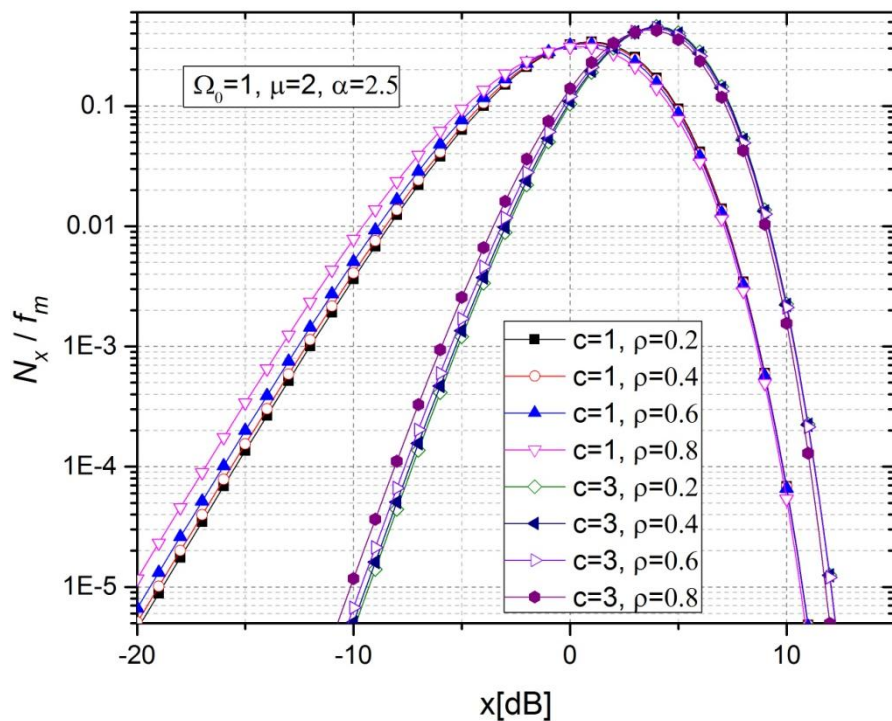
$$\begin{aligned}
N_x &= \frac{4\sqrt{2\pi}f_m\mu^{\mu-1/2}}{\Gamma(\mu)^2} x^{\alpha\mu-\alpha/2} \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i}}{\Omega_0^{2i+2c} (1-\rho^2)^{2i+c} i! \Gamma(i+c)^0} \int d\Omega_1 \Omega_1^{i+c-1-\mu-1/2} \\
&\times e^{\frac{\mu x^\alpha}{\Omega_1} - \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \left(\Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i+c} \gamma\left(\mu, \frac{\mu x^\alpha}{\Omega_1}\right) \gamma\left(i+c, \frac{\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right) = \\
&= \frac{4\sqrt{2\pi}f_m\mu^{\mu-1/2}}{\Gamma(\mu)^2} x^{\alpha\mu-\alpha/2} \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i}}{\Omega_0^{2i+2c} (1-\rho^2)^{2i+c} i! \Gamma(i+c)} \left(\Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i+c} \\
&\times \mu^{\mu-1/2} x^{\alpha\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(\mu+1)_{(j_1)}} \mu^{j_1} x^{j_1\alpha} \frac{1}{i+c} \frac{1}{\left(\Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i+c}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(i+c+1)_{(j_2)}} \\
&\times \frac{1}{\left(\Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{j_2}} \left(\mu x^\alpha \Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i+c-\mu+j_2/2-j_1/2+1/4} K_{2i+2c-2\mu+1/2+j_2-j_1} \left(2 \sqrt{\frac{4\mu x^\alpha}{\Omega_0 (1-\rho^2)}} \right).
\end{aligned} \tag{4.17}$$

gde $K_n(\cdot)$ označava modifikovanu Beselovu funkcijun-tog reda i prve vrste.

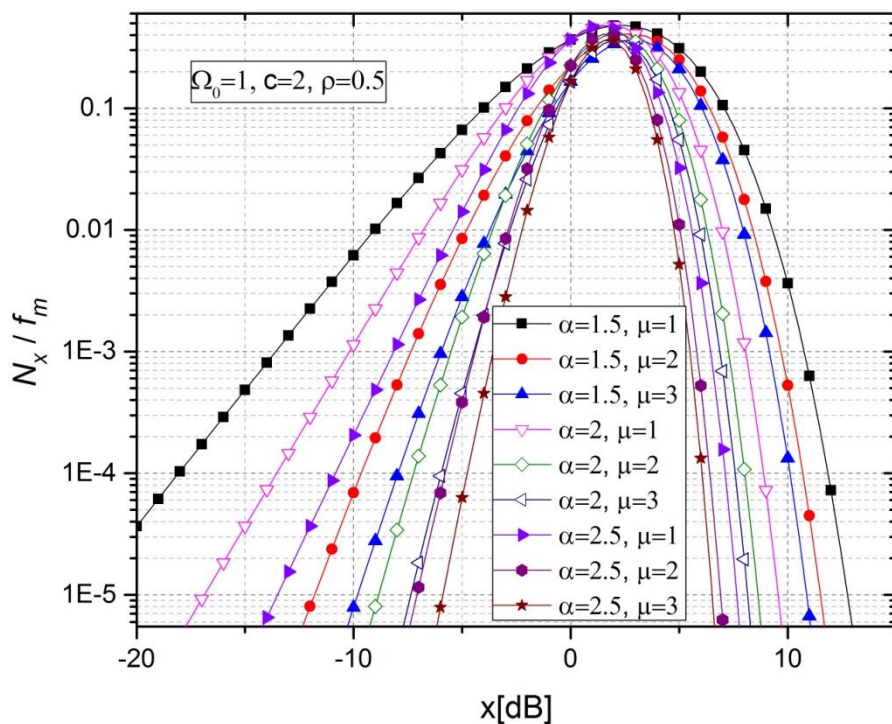
Normalizovan srednji broj osnih preska sa maksimalnom Doplerovom frekvencijom sa SC izlaznog signala u predloženom scenariju za različite vrednosti parametra prikazan je na Slici 4.2. i na Slici 4.3.

Sa Slike 4.2 se može zaključiti da sa povećanjem parametra c dolazi do pomeranja krivih ka većim vrednostima izlaznog signala. Sa povećanjem vrednosti parametra korelacije dolazi do blagog povećanja srednjeg broja osnih preseka.

Zatim, Slika 4.2 ukazuje da sa povećanjem vrednosti parametra nelinearnosti i broja klastera dolazi do sužavanja krivih odnosno do smanjenja srednjeg broja osnih preseka za sve vrednosti izlaznog signala.



Slika 4.2. Normalizovan srednji broj osnih preseka SC izlaznog signal za različite vrednosti parametra c i ρ .



Slika 4.3. Normalizovan srednji broj osnih preseka SC izlaznog signal za različite vrednosti parametra α i μ .

Kumulativna verovatnoća α - μ slučajne promenljive je:

$$F_{x_{11}}(x_{11}) = \int_0^{x_{11}} dt \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m t^{\alpha m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} t^\alpha} = \frac{\alpha}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m \int_0^{x_{11}} dt t^{\alpha m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_1} t^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m x_{11}^\alpha}{\Omega_1}\right). \quad (4.18)$$

Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika je:

$$F_{x_1}(x_1) = F_{x_{11}}(x_1) F_{x_{12}}(x_1) = F_{x_{11}}(x_1)^2 = \frac{1}{\Gamma(m)^2} \gamma\left(m, \frac{m x_1^\alpha}{\Omega_1}\right)^2 = \frac{1}{\Gamma(m)^2} \frac{1}{m} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m x_1^{\alpha m} \times e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^\alpha} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} \frac{m^{j_1} x_1^{j_1 \alpha}}{\Omega_1^{j_1}} \frac{1}{m} \left(\frac{m}{\Omega_1}\right)^m x_1^{\alpha m} e^{-\frac{m}{\Omega_1} x_1^\alpha} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_2)}} \frac{m^{j_2} x_1^{j_2 \alpha}}{\Omega_1^{j_2}}. \quad (4.19)$$

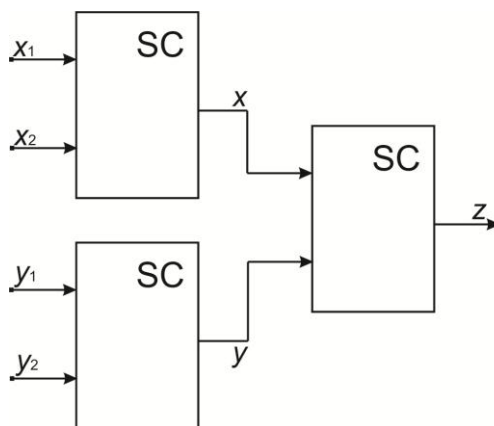
Kumulativna verovatnoća anvelope signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je:

$$F_x(x) = 2 \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 F_{x_1}(x/\Omega_1) p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(m)^2} \frac{1}{m} m^m x^{\alpha m} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} x^{j_1 \alpha} \frac{1}{m} \times m^m x^{\alpha m} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_2)}} m^{j_2} x^{j_2 \alpha} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{(c-1)/2} \Omega_0^{c+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)!} \left(\Omega_0(1-\rho^2)\right)^{i_1+c} \frac{1}{i_1+c} \left(\frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{i_1+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(i_1+c+1)_{(j_3)}} \left(\frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{j_3} \times \int_0^\infty d\Omega_1 \Omega_1^{-2m-j_1-j_2+i_1+c-1+i_1+c+j_3} e^{-\frac{2m x^\alpha}{\Omega_1} - \frac{2\Omega_1}{\Omega_0(1-\rho^2)}} = \frac{1}{\Gamma(m)^2} \frac{1}{m} m^{2m-2} x^{2\alpha m} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} \times m^{j_1} x^{j_1 \alpha} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_2)}} m^{j_2} x^{j_2 \alpha} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2) \rho^{(c-1)/2} \Omega_0^{c+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+c)!} \left(\Omega_0(1-\rho^2)\right)^{i_1+c} \frac{1}{i_1+c} \left(\frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{i_1+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(i_1+c+1)_{(j_3)}} \left(\frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{j_3} \times \left(m x^\alpha \Omega_0(1-\rho^2)\right)^{i_1+c-m-j_1/2-j_2/2+j_3/2} K_{2i_1+2c-2m-j_1-j_2+j_3} \left(2 \sqrt{\frac{4m x^\alpha}{\Omega_0(1-\rho^2)}}\right). \quad (4.20)$$

Predpostavlja se da parametar m na ulazima u oba mikrodiverziti SC prijemnika ima istu vrednost.

4.2. Makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu Relijevo, Nakagami- m fedinga i korelisane Gama senke

Razmatra se makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti prijemnika. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 4.4. Makrodiverziti sistem sa SC makrodiverziti prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika.



Silka 4.4. Model makrodiverziti sistema.

Makrodiverziti model sastoji se od makrodiverziti SC prijemnika i dva mikrodiverziti SC prijemnika. Mikrodiverziti sistem se koristi da se smanji uticaj brzog fedinga na performance sistema, a takođe i uticaj sporog fedinga na performance sistema se smanjuje na taj način što se izabere mikrodiverziti SC prijemnik na čijim je ulazima snaga smanjena. Makrodiverziti SC prijemnik razmatra snage Ω_1 i Ω_2 i bira za prenos signala prvi SC prijemnik ako je Ω_1 veće od Ω_2 i bira se prenos signala drugi SC prijemnik ako je Ω_1 manje od Ω_2 . Na ulazima u prvi mikrodiverziti SC prijemnik se pojavljuje brzi Relijevo feding, a na drugom mikrodiverziti SC prijemniku je prisutan brzi Nakagami- m feding. Relijevo feding je linearan odnosno u svakoj tački važi centralna Gausova teorema. Sketering polje je homogeno, signal se prostire u okviru jednog klastera. Zbir više talasa koji su nezavisni sa približno istom snagom ima Gausovu gustiu verovatnoće. Snage fedinga na ulazima u prvi mikrodiverziti SC prijemnik su iste i označene su sa Ω_1 , snage fedinga na drugi mikrodiverziti SC prijemnik su iste i označene su sa Ω_2 . Signal na prvom ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik označen je sa x_1 , a signal na drugom ulazu u prvi mikrodiverziti SC prijemnik označen je sa x_2 . Signal na prvom ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik označen je sa y_1 , a signal na drugom ulazu u drugi mikrodiverziti SC prijemnik označen je sa y_2 . Signal na izlazu iz prvi mikrodiverziti SC prijemnik označen je sa x , a signal na izlazu iz

drugog mikrodiverziti SC prijemnika označen je sa y . Makrodiverziti SC prijemnik bira veći signal na ulazu i propušta signal na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika. Mikrodiverziti i makrodiverziti su SC prijemnici. Makrodiverziti SC prijemnik određuje mikrodiverziti SC prijemnik preko kogase signal prenosi. Ako je snaga Ω_1 veća od snage Ω_2 onda se prvi mikrodiverziti povezuje sa kanalom, a ako je snaga Ω_1 manja od snage Ω_2 onda se drugi mikrodiverziti SC prijemnik povezuje sa kanalom. Signal na izlazu iz makrodiverziti sistema je označen sa z i jednak je x ili y .

Slučajne promenljive x_1 i x_2 imaju Rejljevu gustinu verovatnoće [72]. Snage fedinga za x_1 i x_2 su iste. Može se razmatrati i slučaj kada su snage različite. Gustina verovatnoće od x_1 i x_2 je:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2x_1}{\Omega_1} e^{-\frac{x_1^2}{\Omega_1}}, \quad x_1 \geq 0. \quad (4.21)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2x_2}{\Omega_1} e^{-\frac{x_2^2}{\Omega_1}}, \quad x_2 \geq 0. \quad (4.22)$$

Kumulativna verovatnoće od x_1 i x_2 je [72]:

$$F_{x_1}(x_1) = 1 - e^{-\frac{x_1^2}{\Omega_1}}, \quad x_1 \geq 0. \quad (4.23)$$

$$F_{x_2}(x_2) = 1 - e^{-\frac{x_2^2}{\Omega_1}}, \quad x_2 \geq 0. \quad (4.24)$$

Srednji broj osnih preseka od x_1 i x_2 je:

$$N_{x_1} = \frac{2\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{x_1}{\Omega_1^{1/2}} e^{-\frac{x_1^2}{\Omega_1}}, \quad x_1 \geq 0. \quad (4.25)$$

$$N_{x_2} = \frac{2\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{x_2}{\Omega_1^{1/2}} e^{-\frac{x_2^2}{\Omega_1}}, \quad x_2 \geq 0. \quad (4.26)$$

Slučajne promenljive y_1 i y_2 imaju Nakagami- m gustinu verovatnoće [96]. Parametar m je jednak za oba fedinga. Takođe i snage fedinga za y_1 i y_2 su iste. Može se razmatrati i slučaj kada su snage različite. Gustina verovatnoće od y_1 i y_2 je:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_1^2}, \quad y_1 \geq 0. \quad (4.27)$$

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0. \quad (4.28)$$

Kumulativna verovatnoće od y_1 i y_2 je [96]:

$$F_{y_1}(y_1) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y_1^2 \right), \quad y_1 \geq 0. \quad (4.29)$$

$$F_{y_2}(y_2) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y_2^2 \right), \quad y_2 \geq 0. \quad (4.30)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika je [96]:

$$p_x(x) = p_{x_1}(x) F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x) F_{x_1}(x) = \frac{4x}{\Omega_1} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right). \quad (4.31)$$

Kumulativna verovatnoća od x jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća od x_1 i x_2 [96]:

$$F_x(x) = F_{x_1}(x) F_{x_2}(x) = \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right)^2. \quad (4.32)$$

Združena gustina verovatnoće od signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika i prvog izvoda od signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika može se izračunati i pomoću ovog izraza, može se odrediti srednji broj osnih preseka slučajnog procesa signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika. Združena gustina verovatnoće od x i \dot{x} je [72], [96]:

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x) + p_{x_2\dot{x}_2}(x\dot{x}) F_{x_1}(x) = 2p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x). \quad (4.33)$$

Srednji broj osnih preseka od x je:

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = 2 \int_0^{\infty} d\dot{x} \dot{x} p_{x_1\dot{x}_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x) = 2N_{x_1} F_{x_2}(x) = \\ &= \frac{4\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{x}{\Omega_1^{1/2}} e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \left(1 - e^{-\frac{x^2}{\Omega_1}} \right). \end{aligned} \quad (4.34)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz prvog mikrodiverziti SC prijemnika je eksponencijalna funkcija. Sastoji se od proizvoda linearne funkcije i eksponencijalne funkcije [29].

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika y je [72]:

$$p_y(y) = p_{y_1}(y)F_{y_2}(y) + p_{y_2}(y)F_{y_1}(y) = \frac{4}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \quad (4.35)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika sadrži nepotpunu Gama funkciju, anepotpuna Gama funkcija sadrži red Gama funkcije i argument. Red Gama funkcije je najčešće ceo broj, a može da bude i razlomljen broj. Gustina verovatnoće sadrži još parametra *moštrina fedinga* i parameter Ω_2 snaga signala na ulaziam u drugi mikrodiverziti.

Kumulativna verovatnoća od y jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća od y_1 i y_2 [96]:

$$F_y(y) = F_{y_1}(y)F_{y_2}(y) = \frac{1}{\Gamma(m)^2} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right)^2. \quad (4.36)$$

Združena gustina verovatnoće od signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika i prvog izvoda od signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika može se izračunati i pomoću ovog izraza, može se odrediti srednji broj osnih preseka slučajnog procesa signala na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnika. Združena gustina verovatnoće od y i \dot{y} je [72]:

$$p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = p_{y_1\dot{y}_1}(y\dot{y})F_{y_2}(y) + p_{y_2\dot{y}_2}(y\dot{y})F_{y_1}(y). \quad (4.37)$$

Srednji broj osnih preseka od y je izračunat pomoću odgovarajuće združene gustine verovatnoće [29], [72]:

$$\begin{aligned} N_y &= \int_0^\infty d\dot{y} \dot{y} p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = F_{y_2}(y) \int_0^\infty d\dot{y} \dot{y} p_{y_1\dot{y}_1}(y\dot{y}) + F_{y_1}(y) \int_0^\infty d\dot{y} \dot{y} p_{y_2\dot{y}_2}(y\dot{y}) = \\ &= N_{y_1} F_{y_2}(y) + N_{y_2} F_{y_1}(y) = N_{y_1} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right) + N_{y_2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \end{aligned} \quad (4.38)$$

gde je:

$$\begin{aligned} N_{y_1} &= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_1^2}, \\ N_{y_2} &= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_2^2}. \end{aligned} \quad (4.39)$$

Srednji broj osnih preseka od y je:

$$N_y = \frac{4}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \quad (4.40)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz drugog mikrodiverziti SC prijemnik sadrži eksponencijalnu funkciju, potpunu Gama funkciju, nepotpunu Gama funkciju, parametar m ili oštrinu fedinga i snagu signala Ω_2 .

Gustina verovatnoće snage signala na ulazima u mikrodiverziti SC prijemnik ima Gama raspodelu. Zdužena gustina verovatnoće od Ω_1 i Ω_2 je [68], [69]:

$$p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1, \Omega_2) = \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{(c-1)/2}}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} I_{c-1} \left(\frac{2\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \sqrt{\Omega_1 \Omega_2} \right) = \quad (4.41)$$

$$\times \frac{1}{\Gamma(c)} e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i_3} \Omega_1^{i_3+c-1} \Omega_2^{i_3+c-1}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c} i_3! \Gamma(i_3+c)}.$$

Ove dve snage signala imaju združenu Gama funkciju. Ova združena Gama raspodela ima parametre c , ρ i Ω_0 . Parametar ρ je korelacioni koeficijent. Korelacioni koeficijent uzima vrednosti od nula do jedinice. Kada su snage Ω_1 i Ω_2 nezavisne onda korelacioni koeficijent ide ka nuli. Kada korelacioni koeficijent ide ka jedinici onda snage Ω_1 i Ω_2 nisu zavisne. U ovom slučaju je velika verovatnoća da su snage Ω_1 i Ω_2 iste. Parametar c može da bude konstantan ili promenljiv. Ovaj parametar može da ima neku raspodelu. Ova raspodela može da bude Relijeva, Rajsova, Nakagami- m ili κ - μ . Takođe raspodela parametra m može da bude Vejbulova ili α - μ . Parametar c u ovom slučaju može da se izračuna integracijom ili odgovarajućim usrednjavanjem. Srednja snaga Ω_0 može takođe da bude slučajna promenljiva i združena gustina verovatnoće može da se izračuna odgovarajućim usrednjavanjem. Gustina verovatnoće od Ω_0 može da bude Rajsova, Vejbulova ili α - μ . Može se izračunati združena kumulativna verovatnoća od Ω_1 i Ω_2 , združena karakteristična funkcija Ω_1 i Ω_2 i združeni produktni moment od snaga Ω_1 i Ω_2 .

Gustina verovatnoće na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika z je jednaka [69], [72], [96]:

$$p_z(z) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 p_x(z/\Omega_1) p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1, \Omega_2) + \quad (4.42)$$

$$+ \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 p_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1, \Omega_2) = J_1 + J_2.$$

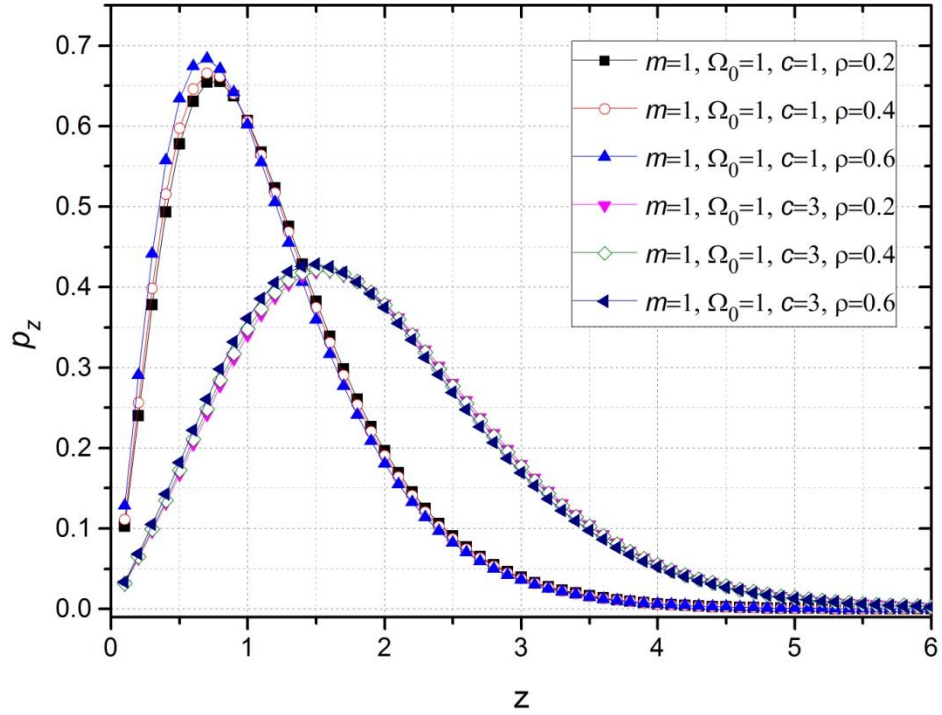
Integral J_1 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \frac{4z}{\Omega_1} e^{-\frac{z^2}{\Omega_1}} \left(1 - e^{-\frac{z^2}{\Omega_1}}\right) \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^\infty \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c}} \Omega_1^{i_3+c-1} \\
&\times \Omega_2^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} = \frac{4z}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^\infty \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_1)}} \\
&\times \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_1}} \left(\left(\frac{z^2 \Omega_0 (1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c-1/2+j_1/2} K_{2i_3+2c-1+j_1} \left(2 \sqrt{\frac{2z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right) \right) - \\
&- \left(\left(z^2 \Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i_3+c-1/2+j_1/2} K_{2i_3+2c-1+j_1} \left(2 \sqrt{\frac{4z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right) \right). \tag{4.22}
\end{aligned}$$

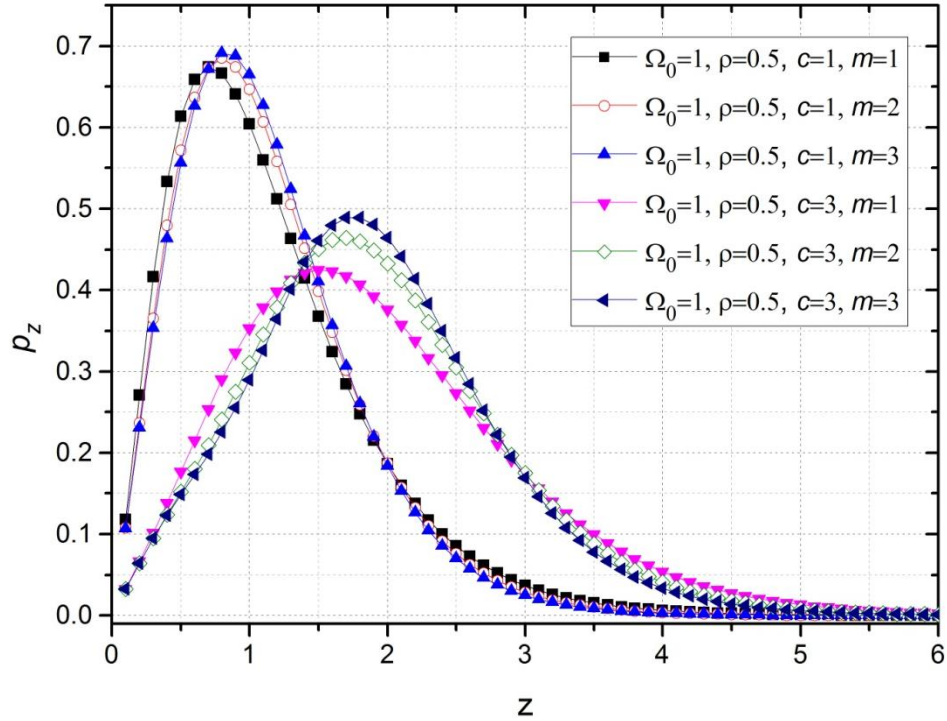
Integral J_2 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 p_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \frac{4}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2}\right)^m z^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} z^2} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma\left(m, \frac{m}{\Omega_2} z^2\right) \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^\infty \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c}} \Omega_1^{i_3+c-1} \Omega_2^{i_3+c-1} e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} = \\
&= \frac{4}{\Gamma(m)} (m)^m z^{2m-1} \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m z^{2m} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} z^{2j_1} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^\infty \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_2)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \\
&\times 2 \left(mz^2 \Omega_0 (1-\rho^2) \right)^{i_3+c+j_2/2-j_1/2-m} K_{2i_3+2c+j_2-j_1-2m} \left(2 \sqrt{\frac{4mz^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \tag{4.43}
\end{aligned}$$

Pomoću izraza (4.42) dobijaju se grafički prikazi gustine verovatnoće signala na izlazu izmakrodiverziti sistema, koji su predstavljeni na Slikama 4.5 i 4.6 za različite parametre sistema.



Silka 4.5. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i ρ .



Silka 4.6. Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i m .

Kumulativna verovatnoća od z je [69], [72], [96]:

$$F_z(z) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 F_x(z/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 F_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = J_1 + J_2. \quad (4.44)$$

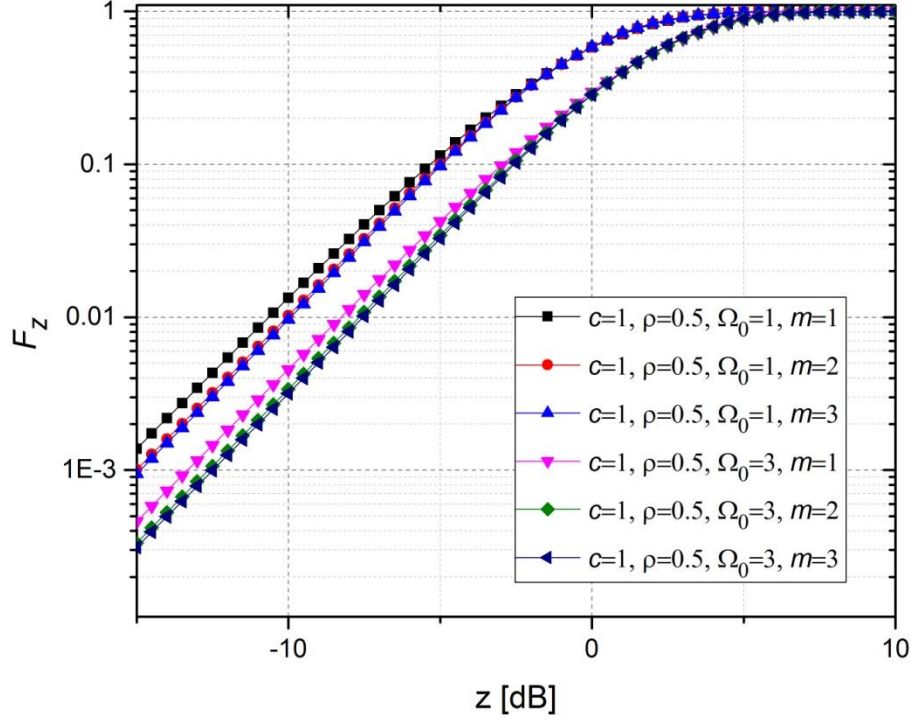
Integral J_1 je jednak [29]:

$$J_1 = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 F_x(z/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c} i_3! \Gamma(i_3+c)} \times \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_1)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_1}} \left(\frac{\Omega_0(1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c+j_1/2} \Gamma(i_3+c+j_1/2) - 2 \times \left(\frac{z^2\Omega_0(1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c+j_1/2} K_{2i_3+2c+j_1} \left(2\sqrt{\frac{2z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right) + 2 \left(\frac{z^2\Omega_0(1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c+j_1/2} K_{2i_3+2c+j_1} \left(2\sqrt{\frac{4z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \quad (4.45)$$

Integral J_2 je jednak [29]:

$$J_2 = \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 F_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(c)^2} \frac{1}{m} m^m z^{2m} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} z^{2j_1} \frac{1}{m} m^m z^{2m} \times \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_2)}} m^{j_2} z^{2j_2} \frac{1}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c} i_3! \Gamma(i_3+c)} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_3)}} \times \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_3}} \left(mz^2\Omega_0(1-\rho^2) \right)^{3i_3/2+c-m-j_1/2-j_2/2+j_3/2} K_{3i_3+2c-2m-j_1-j_2+j_3} \left(2\sqrt{\frac{4mz^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \quad (4.46)$$

Pomoću izraza (4.44) dobijaju se grafički prikazi kumulativne verovatnoće signala na izlazu izmakrodiverziti sistema. Sa slike se može zaključiti da sa povećanjem broja klastera kao i sa povećanjem srednjih snaga dolazi do smanjenja vrednosti krivih za kumulativnu verovatnoću signala. Takođe, može se zaključiti da uticaj srednjih snaga je veći od uticaja broja klastera na kumulativnu verovatnoću izlaznog signala.



Silka 4.7. Kumulativna verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra Ω_0 i m .

Srednji broj osnih preseka od z je [69], [72], [96]:

$$N_z = \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 N_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = J_1 + J_2. \quad (4.47)$$

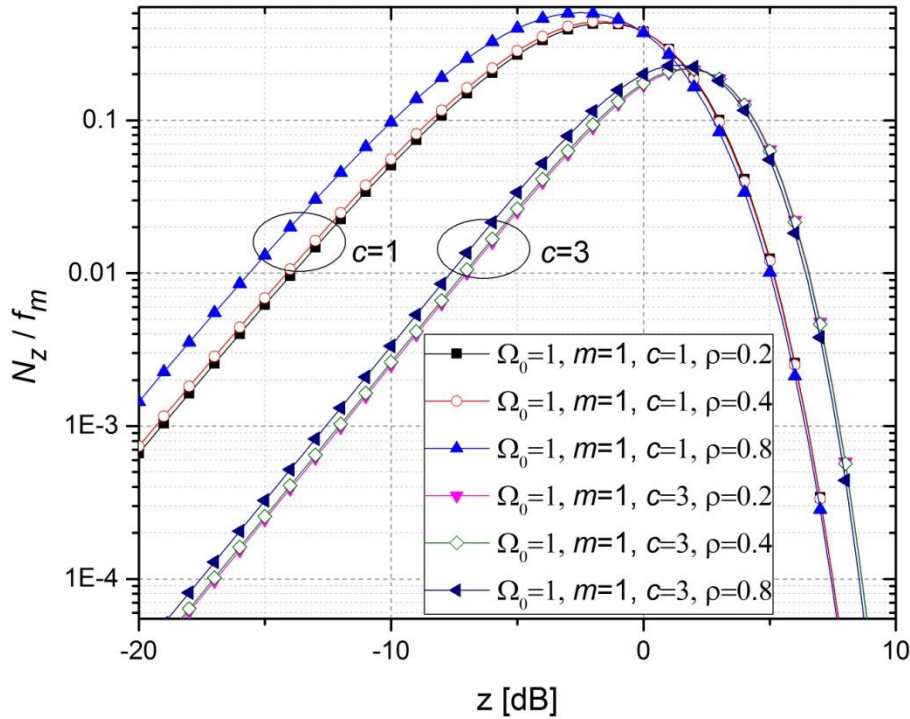
Integral J_1 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \frac{4\pi f_m}{\Gamma(c)} \sum_{i_3=0}^\infty \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c} i_3! \Gamma(i_3+c)} \\
&\times \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_1)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_1}} \left(\frac{z^2 \Omega_0 (1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c-1/4+j_1/2} \\
&\times K_{2i_3+2c-1/2+j_1} \left(2 \sqrt{\frac{2z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right) \left(\frac{2z^2 \Omega_0 (1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c-1/4+j_1/2} K_{2i_3+2c-1/2+j_1} \left(2 \sqrt{\frac{4z^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \quad (4.48)
\end{aligned}$$

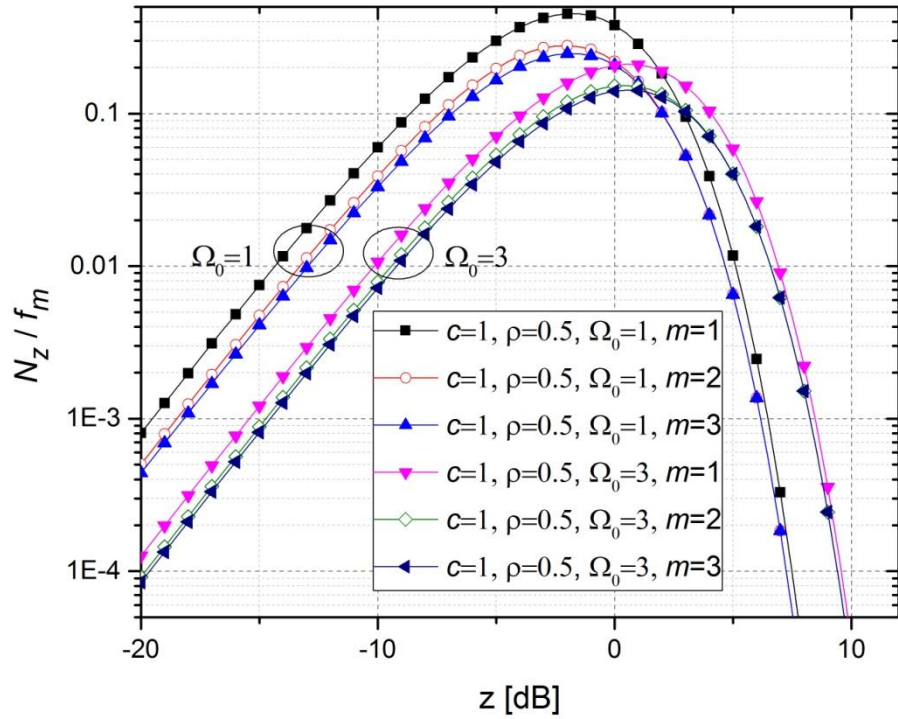
Integral J_2 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 N_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \\
&= \frac{4}{\Gamma(m)} (m)^{m-1/2} z^{2m-1} \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m z^{2m} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} z^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(c)} \\
&\times \sum_{i_3=0}^{\infty} \frac{\rho^{2i_3}}{\Omega_0^{2i_3+2c} (1-\rho^2)^{2i_3+c}} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_2)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \\
&\times \left(\frac{2mz^2\Omega_0(1-\rho^2)}{2} \right)^{i_3+c-m-1/4-j_1/2+j_2/2} K_{2i_3+2c-2m-1/2-j_1+j_2} \left(2\sqrt{\frac{4mz^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \tag{4.49}
\end{aligned}$$

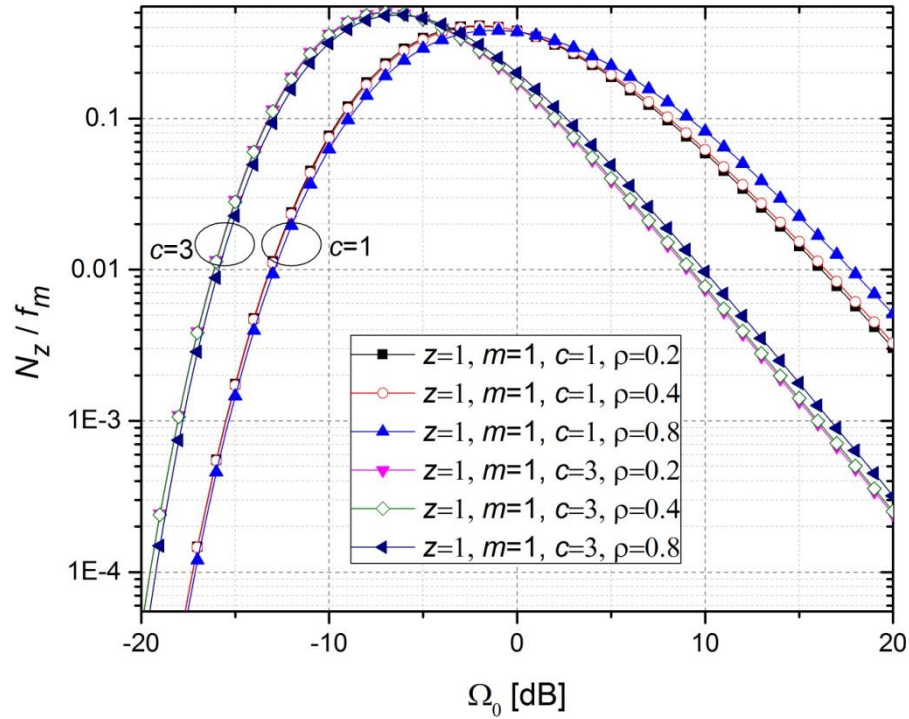
Pomoću izraza (4.49) dobijaju se grafički prikazi gustine srednjeg broja osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema. Slika 4.8 ukazuje da sa povećanjem vrednosti parametra c dolazi do suženja krivih za srednji broj osnih preseka koje je naročito evidentno za manje vrednosti izlaznog signala. Uticaj parametra korelacije ukazuje da sa povećanjem ovog parametra dolazi do povećanja srednjeg broja osnih preseka. Slika 4.8 ukazuje da sa povećanjem parametra m dolazi do smanjenja srednjeg broja osnih preseka koje je naročito izraženo za manje vrednosti izlaznog signala.



Slika 4.8. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra c i ρ .



Silka 4.9. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala z , a za različite vrednosti parametra Ω_0 i m .



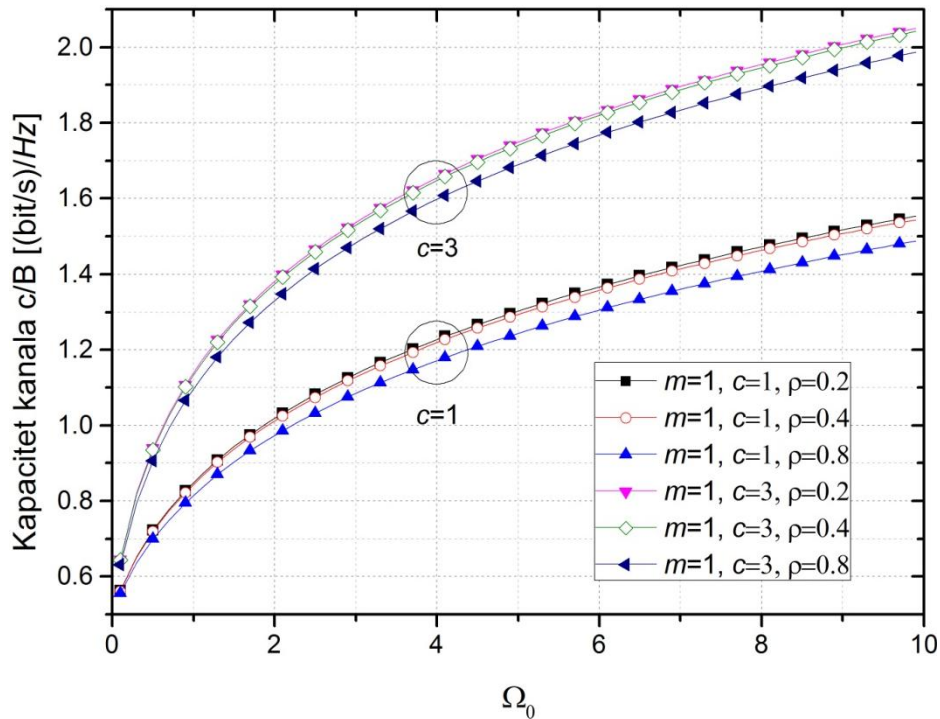
Silka 4.10. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od srednje snage signala Ω_0 , a za različite vrednosti parametra c i ρ .

Slika 4.9 prikazuje uticaj srednje snage na normalizovani srednji broj osnih preseka tako što sa porastom srednje snage dolazi do smanjenja broja osnih preseka. Na kraju, na Slici 4.10 je predstavljen i uticaj parametra c na srednji broj osnih preseka u zavisnosti od srednje snage signala.

Kapacitet kanala se računa po sledećem obrzcu [70]:

$$\frac{c}{B} = \int_0^{\infty} dx \left(\ln(1+z^2) \right) p_z(z). \quad (4.50)$$

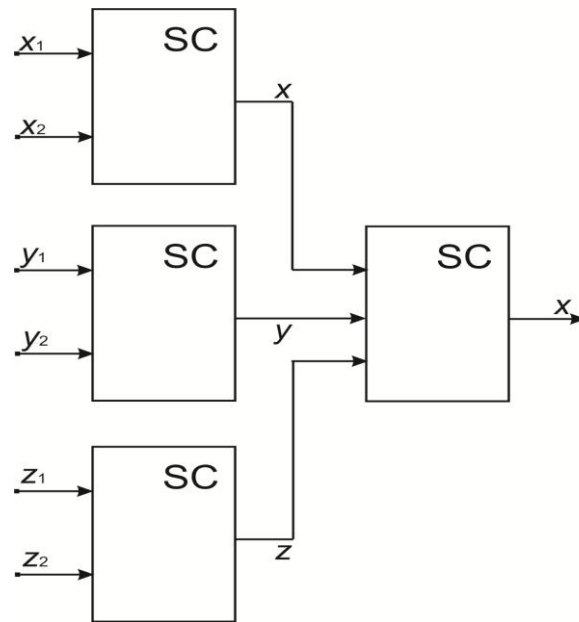
Pomoću izraza (4.50) dobijaju se grafički prikaz kapaciteta kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Slika 4.11 ukazuje da sa povećanjem parametra c dolazi do povećanja kapaciteta kanala. Zatim, sa povećanjem koeficijenta korelacije dolazi do smanjenja kapaciteta kanala.



Slika 4.11. Kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od srednje snage signala Ω_0 , a za različite vrednosti parametra c i ρ .

4.3. Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC prijemnika u prisustvu Rajsovog, Nakagami- m , κ - m fedinga i korelisane Gama senke

Razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Model sistema koji se razmatra prikazan je na Slici 4.12. Na ulazima u prvi mikrodiverziti je prisutan Rajsov nezavistan feding, na ulazima u drugi mikrodiverziti je prisutan nezavistan Nakagami- m feding i na ulazima u treći mikrodiverziti je prisutan k - μ nezavisan 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 Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 .



Silka 4.12. Makrodiverziti sistem sa tri mikrodiverziti SC kombinera.

Gustina verovatnoće od x_1 i x_2 je [55]:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1 (\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} x_1^{2i+1} e^{-\frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x_1^2}, \quad x_1 \geq 0. \quad (4.51)$$

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1 (\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^i \frac{1}{(i!)^2} x_2^{2i+1} e^{-\frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x_2^2}, \quad x_2 \geq 0. \quad (4.52)$$

Kumulativna verovatnoće od x_1 i x_2 je [55]:

$$F_{x_1}(x_1) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa_1 + 1} \right)^{i_1+1} \gamma \left(i_1 + 1, \frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x_1^2 \right), \quad x_1 \geq 0. \quad (4.53)$$

$$F_{x_2}(x_2) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa_1 + 1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2 + 1, \frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x_2^2 \right), \quad x_2 \geq 0. \quad (4.54)$$

Združena gustina verovatnoće od x_1 i \dot{x}_1 je:

$$p_{x_1 \dot{x}_1}(x_1 \dot{x}_1) = \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} x_1^{i_2+1} e^{-\frac{\kappa_1+1}{\Omega_1} x_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{x}_1}}} e^{-\frac{\dot{x}_1^2}{2\sigma_{\dot{x}_1}^2}}. \quad (4.55)$$

Srednji broj osnih preseka od x_1 je [29]:

$$N_{x_1} = \int_0^{\infty} dx_1 \dot{x}_1 p_{x_1 \dot{x}_1}(x_1 \dot{x}_1) = \frac{2(\kappa_1 + 1)^{1/2}}{e^{\kappa_1 \Omega_1^{1/2}}} \frac{\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x_1^{i_1+1} e^{-\frac{\kappa_1+1}{\Omega_1} x_1^2}. \quad (4.56)$$

Gustina verovatnoće od x je [29], [72]:

$$p_x(x) = 2p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = \frac{4(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa_1+1}{\Omega_1} x^2} \\ \times \frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa_1 + 1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2 + 1, \frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (4.57)$$

Kumulativna verovatnoće od x je [29], [72]:

$$F_x(x) = F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = (F_{x_1}(x))^2 = \left(\frac{2(\kappa_1 + 1)}{e^{\kappa_1 \Omega_1}} \right)^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \\ \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{4} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa_1 + 1} \right)^{2i_2+2} \gamma \left(i_2 + 1, \frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x^2 \right)^2. \quad (4.58)$$

Srednji broj osnih preseka od x je [29], [72]:

$$N_x = 2N_{x_1}F_{x_2}(x) = \frac{4(\kappa_1 + 1)^{1/2}}{e^{\kappa_1 \Omega_1^{1/2}}} \frac{\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} x^{2i_1+1} e^{-\frac{\kappa_1+1}{\Omega_1} x^2} \\ \times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\kappa_1(\kappa_1 + 1)}{\Omega_1} \right)^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\kappa_1 + 1} \right)^{i_2+1} \gamma \left(i_2 + 1, \frac{\kappa_1 + 1}{\Omega_1} x^2 \right). \quad (4.59)$$

Gustina verovatnoće od y_1 i y_2 je [53]:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_1^2}, \quad y_1 \geq 0. \quad (4.60)$$

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0. \quad (4.61)$$

Kumulativna verovatnoće od y_1 i y_2 je [53]:

$$F_{y_1}(y_1) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y_1^2 \right), \quad y_1 \geq 0. \quad (4.62)$$

$$F_{y_2}(y_2) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y_2^2 \right), \quad y_2 \geq 0. \quad (4.63)$$

Srednji broj osnih preseka od y_1 i y_2 je:

$$N_{y_1} = \frac{2\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y_1^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_1^2}, \quad y_1 \geq 0. \quad (4.64)$$

$$N_{y_2} = \frac{2\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y_2^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0. \quad (4.65)$$

Gustina verovatnoće od y je [29], [96]:

$$p_y(y) = 2p_{y_1}(x)F_{y_2}(x) = 2 \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^m y^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \quad (4.66)$$

Kumulativna verovatnoća od y je [29], [96]:

$$F_y(y) = F_{y_1}(y)F_{y_2}(y) = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right) \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \quad (4.67)$$

Srednji broj osnih preseka od x je:

$$N_y = 2N_{y_1}F_{y_2}(y) = \frac{4\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega_2} \right)^{m-1/2} y^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{m}{\Omega_2} y^2 \right). \quad (4.68)$$

Gustina verovatnoće od z_1 i z_2 je [55]:

$$p_{z_1}(z_1) = \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+\mu-1} \times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} z_1^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z_1^2}, \quad z_1 \geq 0. \quad (4.69)$$

$$\begin{aligned}
p_{z_2}(z_2) &= \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_2+\mu-1} \\
&\quad \times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} z_2^{2i_2+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z_2^2}, \quad z_2 \geq 0.
\end{aligned} \tag{4.70}$$

Kumulativna verovatnoće od z_1 i z_2 je [55]:

$$\begin{aligned}
F_{z_1}(z_1) &= \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \\
&\quad \times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2+1)} \right)^{i_1+\mu} \gamma \left(i_1+\mu, \frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z_1^2 \right), \quad z_1 \geq 0.
\end{aligned} \tag{4.71}$$

$$\begin{aligned}
F_{z_2}(z_2) &= \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \\
&\quad \times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left(i_2+\mu, \frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z_2^2 \right), \quad z_2 \geq 0.
\end{aligned} \tag{4.72}$$

Gustina verovatnoće od z je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
p_z(z) &= 2p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) = \frac{4\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \\
&\quad \times z^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z^2} \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \\
&\quad \times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left(i_2+\mu, \frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z^2 \right).
\end{aligned} \tag{4.73}$$

Kumulativna verovatnoće od z je [29], [72]:

$$\begin{aligned}
F_x(x) &= F_{x_1}(x)F_{x_2}(x) = (F_{x_1}(x))^2 = \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1+\mu-1} \\
&\quad \times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2+1)} \right)^{i_1+\mu} \gamma \left(i_1+\mu, \frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z^2 \right) \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \\
&\quad \times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2+1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2+1)} \right)^{i_2+\mu} \gamma \left(i_2+\mu, \frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} z^2 \right).
\end{aligned} \tag{4.74}$$

Združena gustina verovatnoće od z_1 i \dot{z}_1 je:

$$p_{z_1 \dot{z}_1}(z_1 \dot{z}_1) = \frac{2\mu(\kappa_2 + 1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2 \mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1 + \mu - 1} \times \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} z_1^{2i_1 + 2\mu + 1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3} z_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\dot{z}_1}^2}} e^{-\frac{\dot{z}_1^2}{2\sigma_{\dot{z}_1}^2}}. \quad (4.75)$$

gde je: $\sigma_{\dot{z}_1}^2 = \pi^2 f_m \frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2 + 1)}$. Srednji broj osnih preseka od z_1 je:

$$N_{z_1} = \int_0^{\infty} d\dot{z}_1 \dot{z}_1 p_{z_1 \dot{z}_1}(z_1 \dot{z}_1) = \frac{\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{2\mu^{1/2} (\kappa_2 + 1)^{\mu/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2 \mu} \Omega_3^{\mu/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1 + \mu - 1} \frac{z_1^{2i_1 + 2\mu - 1}}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} e^{-\frac{\mu(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3} z_1^2}. \quad (4.76)$$

Srednji broj osnih preseka od z je [29], [72]:

$$N_z = 2N_{z_1} F_{z_2}(z) = \frac{\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{4\mu^{1/2} (\kappa_2 + 1)^{\mu/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2 \mu} \Omega_3^{\mu/2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_1 + \mu - 1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu)} \times z^{2i_1 + 2\mu - 1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3} z^2} \frac{2\mu(\kappa_2 + 1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2 \mu} \Omega_3^{(\mu+1)/2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{\kappa_2(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3}} \right)^{2i_2 + \mu - 1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \times \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu(\kappa_2 + 1)} \right)^{i_2 + \mu} \gamma \left(i_2 + \mu, \frac{\mu(\kappa_2 + 1)}{\Omega_3} z^2 \right). \quad (4.77)$$

Združena gustina verovatnoće snaga Ω_1 , Ω_2 i Ω_3 je [68], [69]:

$$p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3 + c - 1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3 + c)} \times \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4 + c - 1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4 + c)} \Omega_1^{i_3 + c - 1} \Omega_2^{i_3 + i_4 + c - 1} \Omega_3^{i_4 + c - 1} e^{-\frac{\Omega_1 + (1+\rho^2)\Omega_2 + \Omega_3}{\Omega_0(1-\rho^2)}}. \quad (4.78)$$

Združena gustina verovatnoće od w je [72]:

$$p_w(w) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) + \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_y(w/\Omega_2) \times p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) + \int_0^{\infty} d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 p_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3}(\Omega_1 \Omega_2 \Omega_3) = J_1 + J_2 + J_3. \quad (4.79)$$

Integral J_1 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 p_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_1=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} w^{2i_1+2} \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_2=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+1} w^{2i_2+1} \\
&\times \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_2+1)_{(j_1)}} (\kappa_1+1)^{j_1} w^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_2)}} \\
&\times \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} 2 \left(\frac{2(\kappa_1+1)w^2\Omega_0(1-\rho^2)}{(3+\rho^2)} \right)^{-1-i_1/2-i_2/2-j_1/2+i_3+i_4+3c/3+j_2/2+j_3/2} \\
&\times \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_2} \frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)^{j_3}} K_{-2-i_1-i_2-j_1+2i_3+2i_4+3c+j_2+j_3} \left(2 \sqrt{\frac{2(\kappa_1+1)w^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \quad (4.80)
\end{aligned}$$

Integral J_2 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 p_y(w/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4}{\Gamma(m)} m^m w^{2m-1} \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m w^{2m} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} w^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \\
&\times \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+c} \quad (4.81) \\
&\times \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_2)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_3}} \\
&\times 2 \left(\frac{2mw^2\Omega_0(1-\rho^2)}{(3+\rho^2)} \right)^{i_3+i_4+3c/2-m-j_1/2+j_2/2+j_3/2} K_{2i_3+2i_4+3c-2m-1-j_1+j_2+j_3} \left(2 \sqrt{\frac{2mw^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right).
\end{aligned}$$

Integral J_3 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_3 &= \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 p_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} w^{2i_1+2\mu-1} \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+\mu} w^{2i_2+2\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(i_2+\mu+1)_{(j_1)}} (\kappa_2+1)^{j_1} w^{j_1} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_2)}} \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_2} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} \\
&\times \frac{1}{\left(\Omega_0(1-\rho^2)^{j_2} \right)^2} \left(\frac{2\mu(\kappa_2+1)(\Omega_0(1-\rho^2))}{(3+\rho^2)} \right)^{-\mu-i_1/2-i_2/2-j_1/2+j_2/2+j_3/2+i_3+i_4+3c/2} \\
&\times K_{-2\mu-i_1-i_2-j_1+j_2+j_3+2i_3+2i_4+3c} \left(\sqrt{\frac{2\mu(\kappa_2+1)(3+\rho^2)w^2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \tag{4.82}
\end{aligned}$$

Kapacitet kanala se računa po sledećem obrzcju [70]:

$$\frac{C}{B} = \int_0^\infty dx \left(\ln(1+z^2) \right) p_w(w). \tag{4.83}$$

Kumulativna verovatnoća od w je [69]:

$$\begin{aligned}
F_w(w) &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 F_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 F_y(w/\Omega_2) \\
&\times p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 F_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = J_1 + J_2 + J_3. \tag{4.84}
\end{aligned}$$

Integral J_1 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 F_x(w/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_1=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \frac{1}{i_1+1} w^{2i_1+2} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_1+2)_{(j_1)}} (\kappa_1+1)^{j_1} w^{2j_1} \\
&\times \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_2=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+1} w^{2i_2+2} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_2+1)_{(j_2)}} (\kappa_1+1)^{j_2} w^{2j_2} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_3)}} \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_2} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_4=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_4)}} \\
&\times \left(\frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_4} 2 \left(\frac{2(\kappa_1+1)\Omega_0(1-\rho^2)w^2}{(3+\rho^2)} \right)^{-i_1/2-i_2/2-j_1/2-j_2/2+i_3+i_4+3c/2+j_3/2+j_4/2} \\
&\times K_{-2-2i_1-2i_2-j_1-j_2+2i_3+2i_4+3c+j_3+j_4} \left(2 \sqrt{\frac{2(\kappa_1+1)w^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right).
\end{aligned} \tag{4.85}$$

Integral J_2 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 F_y(w/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m w^{2m} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} w^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m w^{2m} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(m+1)_{(j_2)}} m^{j_2} w^{2j_2} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_3)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_3}} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_4=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_4)}} \\
&\times 2 \left(\frac{2mw^2\Omega_0(1-\rho^2)}{(3+\rho^2)} \right)^{-m+i_3/2+i_4/2+c-j_1/2-j_2/2+j_3/2+j_4/2} K_{-2m+i_3+i_4-j_1-j_2+j_3+j_4} \left(2 \sqrt{\frac{2mw^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right).
\end{aligned} \tag{4.86}$$

Integral J_3 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_3 &= \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 F_z(w/\Omega_3) p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\mu\sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \frac{1}{2} \frac{1}{i_1+\mu} w^{2i_1+2\mu} \\
&\times \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_1+\mu+1)_{(j_1)}} (\mu(\kappa_2+1))^{j_1} w^{j_1} \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\mu\sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} \\
&\times \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+\mu} w^{2i_2+2\mu} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_2+\mu+1)_{(j_2)}} (\mu(\kappa_2+1))^{j_2} w^{j_2} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_3)}} \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_3} \frac{1}{i_3+c} \sum_{j_4=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_4)}} \\
&\times \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_4}} 2 \left(\frac{2\mu(\kappa_2+1)(\Omega_0(1-\rho^2))}{(3+\rho^2)} \right)^{i_3+i_4+3c/2-\mu+j_3/2+j_4/2-j_1/2-j_2/2-i/2-i_2/2} \\
&\times K_{2i_3+2i_4+3c-2\mu-i_1-i_2-j_1-j_2+j_3+j_4} \left(\sqrt{\frac{2\mu(\kappa_2+1)(3+\rho^2)}{(\Omega_0(1-\rho^2))}} \right). \tag{4.87}
\end{aligned}$$

Srednji broj osnih preseka od z je [69]:

$$\begin{aligned}
N_w &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 N_{y/\Omega_2} \\
&\times p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) + \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 N_{z/\Omega_3} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = J_1 + J_2 + J_3. \tag{4.88}
\end{aligned}$$

Integral J_1 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_1 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_3 N_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3} (\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{\pi f_m}{\sqrt{\pi}} \frac{2(\kappa_1+1)^{1/2}}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_1=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} w^{2i_1+1} \frac{2(\kappa_1+1)}{e^{\kappa_1}} \sum_{i_2=0}^\infty (\kappa_1(\kappa_1+1))^{i_2} \frac{1}{(i_2!)^2} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+1} \\
&\times w^{2i_2+2} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(i_2+2)_{(j_1)}} (\kappa_1+1)^{j_1} w^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_2)}} \frac{1}{i_4+c} \\
&\times \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_2} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} 2 \left(\frac{2(\kappa_1+1)w^2\Omega_0(1-\rho^2)}{(3+\rho^2)} \right)^{i_3+i_4-1+3c+j_2/2+j_3/2-j_1/2-i_1/2-i_2/2} \\
&\times \frac{1}{\Omega_0(1-\rho^2)^{j_3}} K_{2i_3+2i_4+3c+j_2+j_3-j_1-2-i_1-i_2} \left(2 \sqrt{\frac{2(\kappa_1+1)w^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right). \tag{4.89}
\end{aligned}$$

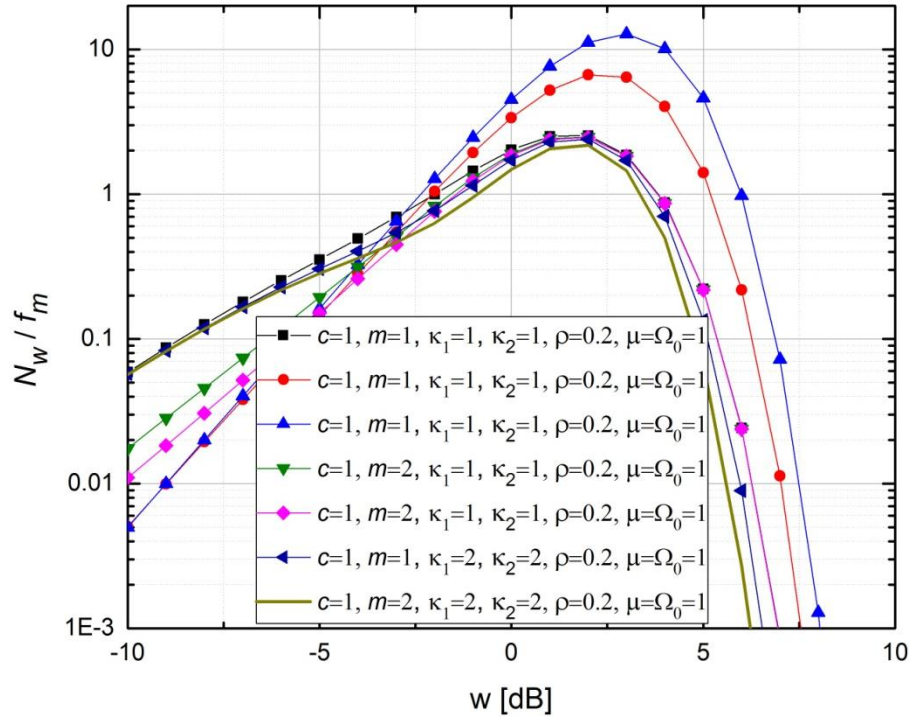
Integral J_2 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \int_0^\infty d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_3 N_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3} (\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \\
&= \frac{4\pi f_m}{\Gamma(m)} (m)^{m-1/2} w^{2m-1} \frac{1}{\Gamma(m)} \frac{1}{m} m^m w^{2m} \sum_{j_1=0}^\infty \frac{1}{(m+1)_{(j_1)}} m^{j_1} w^{2j_1} \frac{1}{\Gamma(m)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \\
&\times \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^\infty \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+c} \tag{4.90} \\
&\times \sum_{j_2=0}^\infty \frac{1}{(i_3+c+1)_{(j_2)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_2}} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_3=0}^\infty \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_3}} \\
&\times 2 \left(\frac{2mw^2\Omega_0(1-\rho^2)}{3+\rho^2} \right)^{i_3+i_4+3c/2-m-j_1/2+j_2/2+j_3/2} K_{2i_3+2i_4+3c-2m-j_1+j_2+j_3} \left(2 \sqrt{\frac{2mw^2(3+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \right).
\end{aligned}$$

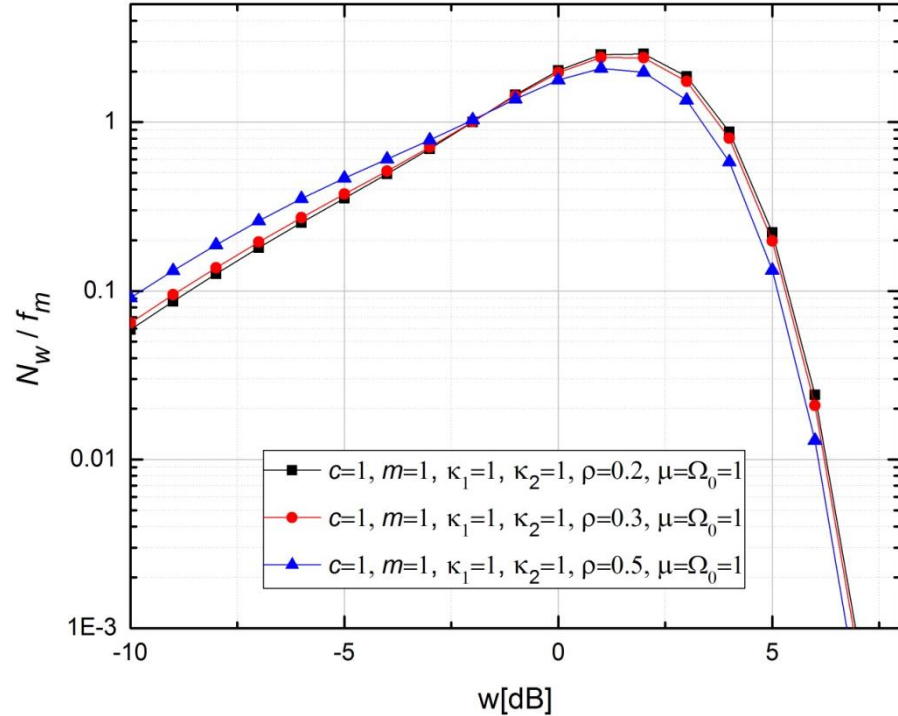
Integral J_3 je jednak [29]:

$$\begin{aligned}
J_3 &= \int_0^\infty d\Omega_3 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_3} d\Omega_2 N_{z/\Omega_3} P_{\Omega_1\Omega_2\Omega_3}(\Omega_1\Omega_2\Omega_3) = \frac{4\mu^{1/2}(\kappa_2+1)^{\mu/2} \pi f_m}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \\
&\times \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} w^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(\kappa_2+1)}{\Omega_3} w^2} \frac{2\mu(\kappa_2+1)^{(\mu+1)/2}}{\kappa_2^{(\mu-1)/2} e^{\kappa_2\mu}} \\
&\times \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\kappa_2(\kappa_2+1)} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \frac{1}{2} \frac{1}{i_2+\mu} w^{2i_2+2\mu} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(i_2+\mu+1)_{(j_1)}} \mu^{j_1} (\kappa_2+1)^{j_1} w^{j_1} \\
&\times \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)^2 \rho^{2(c-1)} \Omega_0^{c+2}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_3+c-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+c)} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{2i_4+c-1} \\
&\times \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+c)} \frac{1}{i_3+i_4+c} \sum_{j_2=0}^{\infty} \frac{1}{(i_3+i_4+c+1)_{(j_2)}} \left(\frac{(1+\rho^2)}{\Omega_0(1-\rho^2)} \right)^{j_2} \frac{1}{i_4+c} \sum_{j_3=0}^{\infty} \frac{1}{(i_4+c+1)_{(j_3)}} \\
&\times \frac{1}{\left(\Omega_0(1-\rho^2) \right)^{j_2}} 2 \left(\frac{2\mu(\kappa_2+1)w^2 \left(\Omega_0(1-\rho^2) \right)}{(3+\rho^2)} \right)^{i_3+i_4-j_1/2+j_2/2+j_3/2+i_1/2+i_2/2-\mu+1/4} \\
&\times K_{2i_3+2i_4-2c-j_1+j_2+j_3-i_1-i_2-2\mu+1/2} \left(\sqrt{\frac{2\mu(\kappa_2+1)(3+\rho^2)w^2}{\left(\Omega_0(1-\rho^2) \right)}} \right). \tag{4.91}
\end{aligned}$$

Na slici 4.13. je prikazan normalizovani srednji broj osnih preseka u zavisnosti od signala na izlazu za različite parametre c , m , μ , κ_1 i κ_2 , a za konstantne vrednosti parametra μ , ρ i Ω_0 . Sa slike se može uočiti da sa porastom parametra c dolazi do povećanja srednjeg broja osnih preseka, za veće vrednosti signala na izlazu, dok za manje vrednosti signala na izlazu dolazi do smanjenja srednjeg broja osnih preseka. Zatim, sa slike se može uvideti da povećanje parametra m dolazi do smanjenja srednjeg broja osnih preseka u čitavom opsegu izlaznog signala. Povećanjem parametra κ_1 i κ_2 evidentno je smanjenje u srednjeg broja osnih preseka u opsegu većih vrednosti izlaznog signala. Slika 4.14. daje prikaz srednjeg broja osnih preseka u zavisnosti od izlaznog signala za različite vrednosti korelacionog parametra, ρ i konstantne vrednosti parametra sistema c , m , μ , κ_1 , κ_2 , μ i Ω_0 . Povećanjem parametra ρ dolazi do blagog povećanja srednjeg broja osnih preseka za manje vrednosti izlaznog signala i smanjenja za veće vrednosti izlaznog signala. Može se zaključiti da je uticaj korelacionog parametra za priloženi model znatno manja od uticaja oštine fedinga.



Silka 4.13. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala w , a za različite vrednosti parametra c , m , μ , κ_1 i κ_2 .



Silka 4.14. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od anvelope signala w , a za različite vrednosti parametra ρ .

5. ZAKLJUČAK

U ovoj doktorskoj disertaciji su proučene performanse bežičnog prenosa signala u promenjivom propagacionom okruženju, kao i mogućnost unapređenja performansi prenosa u posmatranom okruženju primenom diverziteti tehnika. Istraživanje predstavljeno u disertaciji je izvedeno na osnovu naučnih metoda koje uključuju analitičke metode, metode modelovanja i simulacije, kao i statističke metode. Izvedeni su analitički izrazi za statističke karakteristike prvog i drugog reda mobilnih telekomunikacionih sistema, koji su potvrđeni numeričkim rezultatima, kao i metodama numeričke simulacije.

U drugoj glavi doktorske disertacije razmatrani su diverziteti prijemnici u različitim propagacionim okruženjima. Selektivni prijemnik SC može da ima dva, tri ili više ulaza. Signal na izlazu u SC prijemnik jednak je signalu sa onog ulaza koji je najveći. Prijemnici signala na ulazima mogu da budu reprezentativni problematike vozila koja su u pokretu. Zbog ovoga je moguće da su gustine verovatnoće signala na ulazima različite. Na jednom ulazu može da se pojavi Nakagami- m fading, a na drugom ulazu može da se pojavi Rajsov fading. Signal na prvom ulazu može da bude opisan Nakagami- m raspodelom, zbog toga što se u kanalu formira više klastera i nema dominantne komponente, dok se u kanalu signala na drugom ulazu formira samo jedan klaster koji ima dominantnu komponentu i koji može biti opisan Rajsovom raspodelom. Sa ovakim opisom može da se odredi gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika i kumulativna verovatnoća na izlazu iz SC prijemnika. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na njegovim ulazima. Kada je na prvom ulazu u SC prijemnik prisutan Nakagami- m fading, a na drugom ulazu u SC prijemnik je prisutan Rajsov fading, onda je kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika jednaka proizvodu ove dve kumulativne verovatnoće. Pomoću parcijalnih kumulativnih verovatnoća na ulazima može se odrediti gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika, a zatim se može odrediti karakteristična funkcija i momenti. Može se desiti da je na prvom ulazu u SC prijemnik prisutan Nakagami- m fading, a na drugom ulazu je prisutan α - μ

feeding. Prema ovome na oba ulaza je prisutan feeding sa više klastera i nema dominantne komponente. Na prvom ulazu slučajni vektor feedinga signala se može modelovati uzorcima α - μ slučajnog procesa, a slučajni vektor signala na drugom ulazu se može predstaviti uzorcima Nakagami- m slučajnog procesa. Može se dogoditi slučaj da SC prijemnik sa dva ulaza, od kojih se jedan nalazi u jednom vozilu, a drugi ulaz ima prijemnik u drugom vozilu. Prvo vozilo se može nalaziti na mestu gde nije prisutna dominantna komponenta, a drugo vozilo se nalazi na mestu gde postoji dominantna komponenta. U oba kanala se formira jedan klaster. U ovom slučaju u prvom kanalu se formira Relijev feeding, a u drugom kanalu se formira Rajsov feeding. U drugoj glavi doktorskoj disertaciji razmatrani su diverziti prijemnici. Razmatran je SC i MRC prijemnik gde se na jednom ulazu pojavljuje Nakagami- m feeding, a na drugom ulazu se pojavljuje α - μ feeding. Za ovakve diverziti sisteme izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu, kumulativna verovatnoća signala na izlazu, prvi, drugi i treći moment signala na izlazu. Zatim je određena združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC i MRC prijemnika. Pomoću ove združene gustine verovatnoće određen je srednji broj osnih preseka slučajnog procesa signala na izlazu iz SC i MRC prijemnika. Zatim su za ove primere izračunate verovatnoće otkaza, kao verovatnoća da je signala na izlazu iz SC i MRC prijemnika manji od određenog praga prijema. Gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća i momenti su performanse prijemnika prvog reda, a srednji broj osnih preseka i srednje vreme trajanja feedinga predstavljaju performanse prijemnika drugog reda. U disertaciji je razmatran SC prijemnik sa tri ulaza. Na prvom ulazu je prisutan Nakagami- m feeding, na drugom ulazu je prisutan Rajsov feeding, a na trećem ulazu je prisutan Relijev feeding. Na prvom ulazu je prisutan signal sa više klastera i bez dominantne komponente. Na drugom ulazu je prisutan signal sa jednim klasterom i sa jednom dominantnom komponentom. Na trećem ulazu je prisutan signal sa jednim klasterom i bez dominantne komponente. Za ovakav slučaj izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC prijemnika, kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika, srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz SC prijemnika. Zatim je razmatran SC i MRC prijemnik sa tri ulaza gde je na prvom ulazu prisutan Rajsov feeding, na drugom ulazu je prisutan Nakagami- m feeding, a na trećem ulazu je prisutan α - μ feeding. I za ovaj primer je izračunata gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, srednji broj osnih preseka i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz SC i MRC prijemnika. Zatim je razmatran slučaj kada je osim korisnog signala prisutna i interferencija. Na prvom ulazu

je prisutan Nakagami- m fading i Nakagami- m interferenca. Na drugom ulazu je prisutan Rajsov fading i Rajsova interferenca. Za ovaj slučaj je izračunata gustina verovatnoće odnosa signala i interference, kumulativna verovatnoća odnosa signala i interference, kapacitet kanala i srednji broj osnih preseka odnosa signala i interference. Razmatran je i SC prijemnika sa dva ulaza, kada je na ulazu prisutan korisni Rajsov signal i Nakagami- m interferenca. Uspešno su izvedeni izrazi u zatvorenom obliku za gustinu verovatnoće na izlazu iz SC prijemnika, kumulativnu verovatnoću na izlazu iz SC prijemnika, verovatnoću otkaza na izlazu iz SC prijemnika, srednjeg broja osnih preseka na izlazu iz SC prijemnika i srednje vreme trajanja fadinga na izlazu iz SC prijemnika. Numerički rezultati predstavljani su grafički u zavisnosti od parametra sistema.

U trećoj glavi doktorske disertacije formiran je razlomljen Nakagami- m model koji omogućava analizu Nakagami- m fadinga u dinamičkim uslovima. Razmatran je SC prijemnik na čijem je ulazima prisutan razlomljen Nakagami- m fading, zatim je razmatran SC prijemnik sa dva ulaza na čijem je ulazima prisutan razlomljen Nakagami- m fading. Takođe, razmatran je SC prijemnik sa tri ulaza na kojima je prisutan razlomljen Nakagami- m fading. U trećoj glavi je takođe razmatran slučaj razlomljene raspodele Rajs/Nakagami- m fadinga. Izvedeni su izrazi u za gustinu verovatnoće, kumulativnu verovatnoću i srednji broj osnih preseka.

U četvrtoj glavi doktorske disertacije je razmatran makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti sistema. Model pretpostavlja da je prisutna korelisana Gama senka, a na ulazima mikrodiverziti SC prijemnika prisutan je α - μ brzi fading. Izračunata je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća i srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Razmatran je makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika, kada je na prvom mikrodiverziti SC prijemnik prisutan Relijev fading, a na drugom mikrodiverziti SC prijemniku prisutna Nakagami- m fading. Takođe je u modelu uključena i korelisana Gama senka. Za ovaj slučaj izračunata je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, srednji broj osnih preseka i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika. Zatim je razmatran slučaj makrodiverziti sistema sa makrodiverziti SC prijemnikom i tri mikrodiverziti SC prijemnika, kada je na prvom mikrodiverziti SC prijemniku prisutan Rajsov fading, na drugom Nakagami- m fadinga i na trećem SC prijemniku je prisutan κ - μ fading. Uračunat je istovremeni uticaj korelisane Gama senke. Za ovaj slučaj izračunata je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, srednji broj osnih preseka i informacioni kapacitet kanala na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika.

U ovoj disertaciji je obavljena detaljna analiza performansi mobilnih telekomunikacionih sistema u različitim dinamički propagacionim okruženjima, uzimajući u obzir činjenicu da priroda fedinga na različitim ulazima diverziti prijemnika u opštem slučaju može biti različita. Ovakva analiza slučajeva prikazanih u disertaciji nije do sada detaljnije razmatrana u relevantnoj naučnoj literaturi, i predstavlja originalni doprinos disertacije. Dobijeni su odgovarajući analitički izrazi koji omogućavaju precizno određivanje performansi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste tehniku diverzita kako bi umanjili uticaj fedinga u složenim situacijama prenosa kakve se mogu očekivati u bližoj budućnosti. Dobijeni rezultati su relevantni za različite sisteme u opsegu od brzih mobilnih mreža koje se očekuju u budućnosti, uključujući 5G i tehnologije koje se razmatraju nakon toga, pa do mreža koje podržavaju komunikaciju između vozila u pokretu i tehnologije vozila koje ne zahtevaju prisustvo vozača.

U doktorskoj disertaciji izvršena je detaljna analizu performansi i određen je informacioni kapacitet bežičnih sistema sa prijemnim diverziti tehnikama u različitim propagacionim okruženjima. Određene su zavisnosti posmatranih standardnih mera performansi mobilnih telekomunikacionih sistema u promenljivim propagacionim okruženjima, od vrednosti karakterističnih parametara prenosa. Na taj način je omogućilo određivanje optimalnih vrednosti parametara sistema kako bi se u posmatranim promenljivim propagacionim okruženjima za date vrednosti nivoa snaga korisnog signala i signala smetnje, dobile veće vrednosti informacionog kapaciteta sistema.

6. LITERATURA

- [1] Adinoyi, A., Yanikomeroğlu, H., and Loyka, S., “Hybrid macro- and generalized selection combining microdiversity in lognormal shadowed Rayleigh fading channels”, *Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Proceedings of papers*, Vol. 1, pp. 244-248, Paris, France, 20-24 June, 2004.
- [2] Alfano G. and De Maio A., “Sum of squared shadowed-Rice random variables and its application to communication systems performance prediction”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Vol. 6, No.10, pp. 3540-3545, 2007.
- [3] Alouini S. M., Abdi A. and Kaveh M., “Sum of Gamma variates and performance of wireless communication systems over Nakagami-fading channels”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 6, pp. 1471-1480, 2001.
- [4] Bandjur, Dj., Stefanovic, M. C., and Bandjur, M., “Performance analysis of SSC diversity receivers over correlated Ricean fading channels in the presence of co-channel interference”, *Electronic Letters*, Vol. 44, No. 9, pp. 587-588, 2008.
- [5] Bandjur M., Radenković D., Milenkovic V., Suljević S. and Djosić D., “Second order statistics of SC receiver over k - μ multipath fading channel”, *Serbian journal of electrical engineering*, Vol. 11, No. 3, pp. 391-401, 2014.
- [6] Bandjur M., Jovkovic S., Djosic D., Spalevic P., Petrovic M. and Maricic S., Second order statistics of MRC receiver over k - μ fading channel, *International Scientific Conference - UNITECH 2013, Proceedings of papers*, Vol. 2, pages 131-136, Gabrovo, Bulgaria, November 2013.
- [7] Bhatnagar M. R., “On the sum of correlated squared κ - μ shadowed random variables and its application to performance analysis of MRC”. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 64, No. 6, pp. 2678-2684, 2015.

-
- [8] Bhatnagar M. R, Arti M. K., "On the closed-form performance analysis of maximal ratio combining in shadowed-Rician fading LMS channels", *IEEE Communications Letters*, Vol. 18, No. 1, pp. 54-57, 2014.
- [9] Bithas P. S., Kanatas A. G., Da Costa D. B, Upadhyay P. K. and Dias U. S., "On the double-generalized gamma statistics and their application to the performance analysis of V2V communications", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 66, No. 1, pp. 448-460, 2018.
- [10] Cheng X., Wang C., Ai B. and Aggoune, H, "Envelope Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Non-Isotropic Vehicle-to-Vehicle Ricean Fading Channels", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 1, pp. 62-72, 2014.
- [11] Cho, Y. S., Kim, J., Yang, W. Y. and Kang, C. G., "MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB", John Wiley & Sons, 2010.
- [12] Chopra A. and Evans B., "Outage probability for diversity combining in interference-limited channels", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 12, No. 2, pp. 550-560, 2013.
- [13] Cotton, S. L., "A statistical model for shadowed body-centric communications channels: Theory and validation". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 62, No. 3, pp. 1416-1424, 2014.
- [14] Cotton S. L., Scanlon W. G. and Guy J., "The κ - μ distribution applied to the analysis of fading in body to body communication channels for fire and rescue personnel", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 7, pp. 66-69, 2008.
- [15] Da Costa B. D., Filho C. J., Yacoub D. M. and Fraidenraich G., "Crossing rates and fade durations for diversity combining schemes over α - μ fading channels," *IEEE Transactions on wireless communications*, Vol. 6, no. 12, pp. 4263-7, Nov. 2007.
- [16] Djosic D., Stefanovic D. and Stefanovic C., "Level crossing rate of macro-diversity system with two micro-diversity SC receivers over correlated Gamma shadowed α - μ multipath fading channels", *IETE Journal of Research*, Vo. 62, No. 2, pp. 140-145, 2016.
- [17] Djosic D., Milosevic N., Nikolic Z., Dimitrijevic B., Bandjur M. and Stefanovic M., "Statistics of Signal to Interference Ratio Process at Output of Mobile-to-Mobile Rayleigh Fading Channel in the Presence of Cochannel Interference", *Facta Universitatis - Series: Automatic Control and Robotics*, Vol. 16, No. 2, pp. 185-196, 2017.

-
- [18] Djosic D., Stefanovic C., Panic S., Kontrec N., Spalevic P., and Stamenkovic N., "Second order statistics of MRC receiver over α - μ multipath fading channels", *XLVIII international scientific conference on information, communication and energy systems and technologies - ICEST 2013, Proceedings of papers*, Vol. 1, pp 83-87, Ohrid, Republic of Macedonia, 26 - 29 June 2013.
- [19] Djosic D., Stefanovic C., Kontrec N., Stefanovic D., Veljkovic S. and Maricic S., "Performance analysis of dual MRC diversity system over η - μ multipath fading channel", *International Conference Mathematical and Informational Technologies, MIT-2013, Proceedings of papers*, pp 134-139, Vrnjacka Banja, Serbia, 5-9 Sep. 2013.
- [20] Djosic D., Stefanovic C., Milic D., Radenkovic D. and Spalevic P., "Level Crossing Rate of Nakagami-m Signal Envelope Subjected to Gamma Shadowing", *XLIX International scientific conference on information, communication and energy systems and technologies - ICEST 2014, Proceedings of papers*, Vol. 2, pp. 329-333, Niš, Serbia, 25-27 June, 2014.
- [21] Djosic D., Stefanovic C., Milenkovic V., Zdravkovic S. and Mekic E., "Average level crossing rate of MRC receiver output signal over fading channel derived by simulating", *21th Conference and Exhibition - YU INFO 2015, Zbornik radova*, pp. 257-261, Kopaonik, Serbia, 8-11 March, 2015.
- [22] Djosic D., Stefanovic C., Aleksic D., Milic D., Zdravkovic S. and Mekic E., "Crossing number of macrodiversity SC receiver with three microdiversity SC receivers in the presence of Rayleigh multipath fading and Gamma shadowing", *14th International Symposium INFOTEH-JAHORINA-2015, Proceedings of papers*, Vol. 14, pp. 367-370, 18-20 March, 2015.
- [23] Djosic D., Stefanovic C., Vasic S., Milic D. and Milosavljevic S., Performance of wireless communication system with diversity receiver operating over mixed Rician and Nakagami-m multipath fading channel, *16th International Symposium INFOTEH-JAHORINA-2017, Proceedings of papers*, Vol. 16, pp. 425-429, Jahorina, Bosna and Hercegovina, 22. - 24. Mar, 2017.
- [24] Davenport W. and Root W., "An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise", Wiley-IEEE Press, New York, 1987.
- [25] Dong X. and Beaulieu N., "Average level crossing rate and average fade duration of selection diversity", *IEEE Communication Letters*, Vol. 5, No. 10, pp. 396-399, 2001.

-
- [26] Ge X., Huang K., Wang C.-X., Hong X. and Yang X., “Capacity analysis of a multi-cell multi-antenna cooperative cellular network with co-channel interference,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 10, No. 10, pp. 3298-3309, Oct. 2011.
- [27] Goldsmith A. and Varaiya P., “Capacity of fading channels with channel side information”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 43, No. 6, pp. 1896-1992, 1997.
- [28] Goldsmith A., “Wireless Communications” in , Cambridge University Press, 2005.
- [29] Gradshteyn S. I., Ryzhik M. I., “*Table of Integrals, Series and Products*”, Academic Press, New York, USA, 2000.
- [30] Guan K., Zhong Z., Ai B. and Kuerner T., “Propagation Measurements and Analysis for Train Stations on High-Speed Railway at 930 MHz”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 63, No. 8, pp. 3499-3515, 2014.
- [31] Hadzi-Velkov Z., Zlatanov N. and Karagiannidis, G. K., “On the second order statistics of the multihop Rayleigh fading channel”, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 57, No. 6, pp. 1815-1823, 2009.
- [32] Lee Y. C. W., “*Mobile Communications Engineering - theory and applications*”, Mc-Graw-Hill, New York, USA, 1997.
- [33] Jakes C.W., editor. “*Microwave Mobile Communications*”, Piscataway, IEEE Press, New York, USA, 1994.
- [34] Jaksic B., Stefanovic M., Djosic D., Dimic I., Zdravkovic S. and Maricic S., “Macrodiversity with two microdiversity EGC receivers over Gamma shadowed Rayleigh multipath fading channel”, *International Scientific Conference - UNITECH 2014*, Vol. 2, pages 169-174, November 2014.
- [35] Jovkovic S., Milic D., Djosic D., Petrovic M., Veljkovic S. and Stefanovic C., “Level crossing rate of L-branch SC receiver over α -k- μ fading channel in the presence α -k- μ co-channel interference”, *WSEAS Transactions on Communications*, Vol. 13, pp. 249-255, 2014.
- [36] Jovkovic S., Milic D., Djosic D., Panic S., Veljkovic S., Stefanovic C., “Second order statistics of SC receiver output SIR in the presence of α -k- μ multipath fading and co-channel interference”, *International Conference on Communications, Signal Processing and Computers - CSCP 2014*, Interlaken, Switzerland, pp. 27-31, 22-24 February, 2014.

-
- [37] Karagiannidis, G. K., "Performance bounds of multihop wireless communications with blind relays over generalized fading channels", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 5, No. 3, pp. 498-503, 2006.
- [38] Marjanovic I., Djosic D., Djuric I., Milic D., Milenkovic M. and Stefanovic M., "Macrodiversity Reception Level Crossing Rate in the Presence of Mixed Nakagami-m and Rician Multipath Fading", *52nd International scientific conference on information, communication and energy systems and technologies - ICEST 2017*, No. 1, pp. 29-294, Niš, Serbia, 28. - 30. Jun, 2017.
- [39] Markovic A., Peric Z., Djosic D., Smilic M. and Jaksic B., "Level crossing rate of macrodiversity system over composite Gamma shadowed alpha-kappa-mu multipath fading channel", *Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics*, Vol. 14, No 2, pp. 99-109, 2015.
- [40] Matovic A, Mekic E, Sekulovic N, Stefanovic M, Matovic M. and Stefanovic C., "The distribution of the ratio of the products of two independent α - μ variates and its application in the performance analysis of relaying communication systems", *Mathematical problems in Engineering*, Article ID 147106, 2013.
- [41] Meesa-ard, E., Pattaramalai, S. and Madapatha, M. D. C., "Outage Probability of Mobility Incorporated alpha-mu Fading Distribution with Co-channel Interference in Heterogeneous Networks", *IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)*, pp. 76-80, August 2018.
- [42] Middleton D. "An Introduction to Statistical Communication Theory", McGraw-Hill, New York, 1960.
- [43] Milenkovic V., Panic S., Denic D. and Radenkovic D., "Novel Method for 5G Systems NLOS Channels Parameter Estimation", *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2017, Article ID 5236246, 2017.
- [44] Milenkovic V., Sekulovic N., Stefanovic M. and Petrovic M., "Effect of microdiversity and macrodiversity on average bit error probability in Gamma shadowed Rician fading channels", *ETRI Journal*, Vol. 32, No. 3, pp. 464-467, 2010.
- [45] Milic D., Djosic D., Stefanovic C., Panic S. and Stefanovic M., "Second order statistics of the SC receiver over Rician fading channels in the presence of multiple Nakagami-m

-
- interferers”, *International journal of numerical modelling: electronic networks, devices and fields*, Vo. 29, No. 2, pp 222–229, 2016.
- [46] Milic D, Djosic D., Stefanovic C., Smilic M. and Suljovic S., “Outage performance of multi-branch SC receiver over correlated Weibull channel in the presence of correlated Rayleigh co-channel interference”, *Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics*, Vol. 14, No 3, pp. 183–191, 2015.
- [47] Milic D., Anastasov J., Djosic D. and Seferi A., “On the availability versus transmitted power of wireless sensor networks in Rayleigh multipath fading environments”, *University Thought - Publication in Natural Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 52 - 57, 2017.
- [48] Milovanovic G., Stefanovic M., Panic S., Anastasov J. and Krstic D., “Statistical analysis of the square ratio of two multivariate exponentially correlated α - μ distributions and its application in telecommunications”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 54, No. 1-2, pp 152-159, 2011.
- [49] Milosevic N., Stefanovic C., Nikolic Z., Bandjur M. and Stefanovic M., “First-and Second-Order Statistics of Interference-Limited Mobile-to-Mobile Weibull Fading Channel”, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, Vol. 27, No. 11, 2018.
- [50] Milosevic N., Stefanovic M., Nikolic Z., Spalevic P. and Stefanovic C., “Performance Analysis of Interference-Limited Mobile-to-Mobile κ - μ Fading Channel”, *Wireless Personal Communications: Vol. 101, No. 3*, pp 1685-1701, 2018.
- [51] Mosaic A., Stefanovic M., Panic S. and Panajotovic A., “Performance Analysis of Dual-Branch Selection Combining Over Correlated Rician Fading Channels for Desired Signal and Cochannel Interference”, *Wireless Personal Communications*, Vol. 55, No. 3, pp 475-484, 2010.
- [52] Mukherjee S. and Avidor D., “Effect of microdiversity and correlated macrodiversity on outages in a cellular system”, *IEEE Trans. Wireless Technol.*, Vol. 2, No. 1, pp. 50-58, 2003.
- [53] Nakagami M., “*The m-distribution-A general formula of intensity distribution of rapid fading. In Statistical Methods in Radio Wave Propagation*”, pp. 3–36, Pergamon Press, Oxford, U.K., 1964.
- [54] Panajotovic A., Sekulovic N., Stefanovic M. and Draca D., “Average Level Crossing Rate of Dual Selection Diversity over Correlated Unbalanced Nakagami- m Fading Channels in the

-
- Presence of Cochannel Interference”, *IEEE Communication Letters*, Vol. 16, No. 5, pp. 691-693, 2012.
- [55] Panic S., Anastasov J., Stefanovic M. and Spalevic P, “*Fading and Interference Mitigation in Wireless Communications*”, CRC Press: USA, 2013.
- [56] Panic S., Stefanovic M. and Masic A., “Performance analyses of selection combining diversity receiver over α - μ fading channels in the presence of co-channel interference”, *IET Communications*, Vol. 3, No. 11, pp. 1769–1777, 2009.
- [57] Panic S., Stefanovic D., Petrovic I., Stefanovic M., Anastasov J. and Krstic D., “Second order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed k-m fading channels,” *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, Vol. 2011, no. 1, pp. 1-7, 2011.
- [58] Papanikolaou V., Ntouni G., Boulogeorgos A-A. and Karagiannidis G., “Error performance of power line communications in the presence of Nakagami-m background noise,” *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 29, No. 8, pp. 1-12, 2018.
- [59] Paulraj A., Nabar R. and Gore D., “*Introduction to Space-Time Wireless Communications*”, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.
- [60] Petkovic G., Djosic D., Milenkovic V., Radenkovic D. and Dinic I., “Level crossing rate of ratio of product two Nakagami-m random variables and Nakagami-m random variable”, *International Scientific Conference - UNITECH 2015, Proceedings of papers.*, Vol. 2, pp. 372-376, Gabrovo, Bulgaria, November 2015.
- [61] Petkovic G., Nikolic Z., Stefanovic C., Djosic D., Stefanovic D. and Caric M., “Level crossing rate of relay system over LOS multipath fading channel with one and two clusters in the presence of co-channel interference”, *15th International Symposium INFOTEH-JAHORINA-2016, Proceedings of papers*, Vol. 15, pp. 334-338, Jahorina, Bosna and Hercegovina, March 2016.
- [62] Petkovic M., Stefanovic M., Cvetkovic A., Krstic D., Mitic I. and Stefanovic C., “Outage probability analysis of system with dual selection combining over correlated Weibull fading channel in the presence of α - μ co-channel interference”, *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review)*, Vol. 89, No. 8, pp. 126-129, 2013.
- [63] Proakis J., “*Digital Communications*”, 4th Edition, McGraw-Hill: New York, 2001.

-
- [64] Proakis J. and Salehi M., “*Digital Communications*”, 5th Edition, McGraw-Hill: New York, 2007.
- [65] Rappaport T. S., “*Wireless Communications: Principles and Practice*”, Prentice-Hall: New Jersey, 2002.
- [66] Sekulovic N. and Stefanovic M., “Performance analysis of system with micro- and macrodiversity reception in correlated Gamma shadowed Rician fading channels,” *Wireless Personal Commun.*, Vol. 65, No. 1, pp. 143-156, 2012.
- [67] Shankar M. P., “Analysis of microdiversity and dual channel macrodiversity in shadowed fading channels using a compound fading model,” *AEU Int. J. Electron. Commun.*, Vol. 62, No. 6, pp. 445-449, 2008.
- [68] Shankar M. P., “Macrodiversity and microdiversity in correlated shadowed fading channels,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 58, No. 2, pp. 727-732, 2009.
- [69] Shankar, P. *Fading and Shadowing in Wireless Systems*. New York: Springer, 2012.
- [70] Smilic M., Jaksic B., Milic, D., Panic, S. and Spalevic, P. “Channel capacity of the macrodiversity sc system in the presence of kappa-mu fading and correlated slow Gamma fading”, *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, Vol. 31, No. 3, pp. 447-460, 2018.
- [71] Simon, M, Omura, J, Scholtz, R. and Levitt. B., “*Spread Spectrum Communication Handbook*”, revised edition. McGraw-Hill Inc, New York, 2002.
- [72] Simon M. and Alouini S., “*Digital Communication over Fading Channels*”, New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [73] Spalevic P., Djosic D., Stefanovic C., Markovic A., Suljevic S. and Dinic I., “Level crossing rate of macrodiversity system over Gamma shadowed Weibull multipath fading channel”, *International Scientific Conference - UNITECH 2014, Proceedings of papers*, Vol. 2, pages 187-192, Gabrovo, Bulgaria, November 2014.
- [74] Stamenkovic G., Panic S., Rancic D., Stefanovic C. and Stefanovic M, “Performance analysis of wireless communication system in general fading environment subjected to shadowing and interference” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2014. No.1. 2014.
- [75] Stavroulakis P. *Interference analysis and reduction for wireless systems*. Artech House, London, 2003.

-
- [76] Stefanovic C., Jaksic B., Spalevic P., Panic S. and Trajceviski Z, "Performance analysis of selection combining over correlated Nakagami-m fading channels with constant correlation model for desired signal and cochannel interference", *Radioengineering*, Vol. 22, No. 4, pp. 1176-1181, 2013.
- [77] Stefanovic C., Krstic D., Pesic A., Stefanovic M. and Petkovic D., "The Performance of macrodiversity system in the presence of long-term and short-term fading", *WSEAS Transaction on Communications*, Vol. 8, No. 9, pp. 992-1001, 2009.
- [78] Stefanovic C., Panic S., Stamenkovic N., Spalevic P., Djosic D. and Peric Z., "Performance analysis of SSC diversity reception over η - μ fading channel in the presence of CCI", *International Journal of Electronics Letters*, Vol. 4, pp. 302-312, 2016.
- [79] Stefanovic C. and Djosic D., "The lcr of wireless macrodiversity ssc receiver in the presence of gamma shadowed kappa-mu fading", *University Thought, Publication in Natural Science*, Vol. 6, No. 2, pp. 32 - 37, 2016.
- [80] Stefanovic C., Djosic D., Maricic S., Matovic M. and Matovic A., "Level crossing rate of the product of two random variables", *12th International Symposium INFOTEH-JAHORINA-2013, Proceedings of papers*, Vol. 12, pp. 404-407, March 2013.
- [81] Stefanovic C., Djosic D., Stefanovic D., Peric M., Stefanović M. and Maricic S., "The level crossing rate of the ratio of product of two k - μ random variables and k - μ random variable", *XLVIII international scientific conference on information, communication and energy systems and technologies - ICEST 2013, Proceedings of papers*, Vol. 1, pp. 79-83, Ohrid, Republic of Macedonia, 26 - 29 June 2013.
- [82] Stefanovic C., Djosic D., Spalevic P., Maricic S., Matovic A. and Matovic M., "Level crossing rate of the ratio of product of two α - μ random variables and α - μ random variable", *International Conference Mathematical and Informational Technologies, MIT-2013, Proceedings of papers*, pp. 677-682, Vrnjacka Banja 5-9 Sep., 2013.
- [83] Stefanovic D., Djosic D., Maricic S., Minic S., Veljkovic S., Stefanovic C., "Second order statistics of triple SC receiver over α - k - μ multipath fading in the presence of α - k - μ co-channel interference", *20th Conference and Exhibition - YU INFO 2014, Zbornik radova*, pp. 297-301, Kopaonik, March 2014.
- [84] Stefanovic C., Milic D., Djosic D., Radenkovic D. and Spalević P., "Level crossing rate of wireless system over Gamma shadowed α - μ multipath fading channel", *International*

Conference on Electrical, electronic and Computing Engineering - IcETRAN 2014, TE II.7, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2014.

- [85] Stefanovic C., Djosic D., Stefanovic D., Jovkovic S. and Stefanovic M., “The Performance Analysis of Wireless Macrodiversity Switch and Stay Receiver in the Presence of Gamma Shadowed Kappa-Mu Fading”, *International Symposium on Industrial Electronics - INDEL 2016*, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, November 3–5, 2016. DOI: 10.1109/INDEL.2016.7797802
- [86] Stefanovic C., Jovkovic S., Djosic D., Rancic D. and Stefanovic M., “On the Performance Analysis of Wireless Receiver with an AFC over Generalized-K Fading Channels in the Presence of Single CCI”, *Information Technology and Systems (ITaS 2016), Proceedings of papers*, pp. 414 - 418, 25-30 Sep. 2016.
- [87] Stefanovic C., Djosic D., Simonovic M., Milic D., Milenkovic V. and Stefanovic M., “SIR Based LCR Performance Analysis of Hybrid SC Diversity Reception in Mobile Wireless Networks over Composite Fading Channel”, 13th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services - TELSIS 2017, Proceedings of papers, pp. 393 - 396, Niš, Serbia, 18. - 20. Oct, 2017.
- [88] Stefanović C., “LCR of wireless communication system in the presence of CCI in dissimilar fading environments”, *6th International Conference on Information Society and Technology - ICIST 2016, Proceedings of papers*, pp.342-345, Kopaonik, Serbia, 28 Jan.-02 Feb. 2016.
- [89] Stefanović C., “Macrodiversity system with macrodiversity SSC receiver and two microdiversity receivers in the presence of composite fading environment”, *23rd IEEE Telecommunications forum - TELFOR 2015, Proceedings of papers*, Belgrade, Serbia, 24-26 Nov. 2015.
- [90] Stefanovic C., Antonic M., Jovkovic S., Stefanovic D. and Stefanovic M., “Second Order Statistics of SC Macrodiversity system in the presence of Gamma Shadowed nLoS short term fading and CCI”, *The 7th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference - UEMCON 2016*, pp 775-781, New York, USA, 20-22 Oct. 2016.
- [91] Stefanovic D., Peric M., Djosic D., Milenkovic V., Stefanovic M. and Marjanovic I., “Level crossing rate of macrodiversity reception operating over mixed shadowed small scale fading

-
- channel”, *16th International Symposium INFOTEH-JAHORINA-2017, Proceedings of papers*, Vol. 16, pp. 354-357, Jahorina, Bosna i Hercegovina, Mar 2017.
- [92] Stefanovic D., Stefanovic C., Rancic D. and Stefanovic M., “Outage probability of macrodiversity system in the presence of Gamma long term fading Rayleigh short term fading and Nakagami-m CCI”, *IEEE Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks - ICUFN 2016*, pp. 259-263, Vienna, Austria, 5-8 Jul 2016.
- [93] Stefanovic D. , Panic S. and Spalevic P., “Second-order statistics of SC macrodiversity system operating over Gamma shadowed Nakagami-m fading channels,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 65, No. 5, pp. 413–418, 2011.
- [94] Stefanovic M., Panic S., Simic N., Spalevic P. and Stefanovic C., “On the Macrodiversity Reception in the correlated gamma shadowed Nakagami-m fading”, *Tehnički vjesnik (Technical Gazette)*, Vol. 21, No. 3, pp. 511-515, 2014.
- [95] Stefanovic M., Krstic D., Milosevic B., Anastasov J. and Panic S., “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 - TELSIS 2009*, Vol. 2, pp. 607-610, 2009.
- [96] Stüber G. L., “*Principles of Mobile Communications*”, Kluwer Academic Publishers: Massachusetts, 1996.
- [97] Vuckovic D., Panic S., Milosevic H. and Djosic D., “Performance Analysis of Wireless Transmission Channels in the Presence of Eta-Mu Fading and Kappa-Mu Co-Channel Interference”, *International Conference Computational and Informational Technologies in Science, Engineering and Education – CITech 2015*, т.20, Вестник КазНУ, № 3(86), pp. 237-242, Almaty, Kazakhstan, 24-27 september 2015.
- [98] Wang N., Song X. and Cheng J., “Generalized method of moments estimation of the nakagami-m fading parameter,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 11, No. 9, pp. 3316–3325, 2012.
- [99] Wang D. and Hao, L., “Performance analysis for cooperative relay communication”, *Wireless Personal Communications*, Vol. 71, No. 3, pp. 1619-1631, 2013.
- [100] Yacoub D. M., “The α - μ distribution: A physical fading model for the Stacy distribution”, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 56, No. 1, pp. 27-34, 2007.
-

-
- [101] Zdravkovic S., Djosic D., Petkovic G., Marjanovic I., Milacic P. and Aleksic D., “Outage probability of macrodiversity with two microdiversity over Gamma shadowed Weibull fading channel”, *12th International Conference on Applied Electromagnetics - IIEC 2015*, Niš, Serbia, August 31 - September 02, 2015.
- [102] Zhang H. and Gulliver T. A., “Capacity and error probability analysis for orthogonal space-time block codes over fading channels”, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 4, No. 2, pp. 808-819, 2005.
- [103] Zlatanov N., Hadzi-Velkov Z., Karagiannidis G., “Level crossing rate and average fade duration of the double Nakagami-m random process and application in MIMO keyhole fading channels”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 12, No. 11, pp. 822-824, 2008.

BIOGRAFIJA AUTORA DOKTORSKE DISERTACIJE

Danijel Đošić je rođen 14.10.1983 godine u Prištini. Osnovnu školu “Dimitrije Prica” i Ekelrotehniku školu “Miladin Popović” završio je sa odličnim uspehom. Godine 2004. upisao je osnovne akademske studije na Prirodno-matematičkom fakultet, Univerzitetu u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, odsek informatika, gde je i diplomirao 30.09.2008. godine sa prosečnom ocenom 8.64 u toku studija i ocenom 10 (deset) na diplomskom radu.

Školske 2012/13. godine upisao je prvu godinu doktorskih studija na Elektronskom fakultetu u Nišu, studijski program elektrotehnika i računarstvo, smer telekomunikacije. Položio je sve ispite predviđene nastavnim planom sa prosečnom ocenom 10,00.

Danijel Đošić 2008. godine zasniva radni odnos u osnovnoj školi “Dimitrije Prica” kao nastavnik matematike. Školske 2009/10. počinje sa radom na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici, na odseku za informatiku gde i danas radi kao asistent. Nastavu izvodi na predmetima: Osnovi računarske tehnike, Arhitektura i organizacija digitalnih računarskih sistema, Uvod u WEB, Računarski alati, Programski paketi u matematici, Računarska grafika.

Autor i koautor je 40 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:

**PERFORMANSE I INFORMACIONI KAPACITET MOBILNIH
TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA SA TEHNIKOM DIVERZITA U RAZLIČITIM
PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA**

koja je odbranjena na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu:

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da ovu disertaciju, ni u celini, niti u delovima, nisam prijavljivao/la na drugim fakultetima, niti univerzitetima;
- da nisam povredio autorska prava, niti zloupotrebio intelektualnu svojinu drugih lica.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa autorstvom i 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, _____

Potpis autora disertacije:

(Danijel B. Đošić)



**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ELEKTRONSKOG I ŠTAMPANOG OBLIKA
DOKTORSKE DISERTACIJE**

Naslov disrtacije:

**PERFORMANSE I INFORMACIONI KAPACITET MOBILNIH
TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA SA TEHNIKOM DIVERZITA U RAZLIČITIM
PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA**

Izjavljujem da je elektrosnki oblik moje doktorske disertacije, koju sam predao/ za
unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**, istovetan štampanom obliku.

U Nišu, _____

Potpis autora disertacije:

(Danijel B. Đošić)



IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla” da, u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom:

PERFORMANSE I INFORMACIONI KAPACITET MOBILNIH TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA SA TEHNIKOM DIVERZITA U RAZLIČITIM PROPAGACIONIM OKRUŽENJIMA

Disertaciju sa svim priložima predao/ sam u elektronskom obliku, 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.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Nišu, _____

Potpis autora disertacije:

(Danijel B. Došić)