



UNIVERZITET U NIŠU
ELEKTRONSKI FAKULTET



Srđan Z. Milosavljević

**PERFORMANSE BEŽIČNOG
TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA
U PRISUSTVU η - μ FEDINGA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Niš, 2017.



UNIVERSITY OF NIS

FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING



Srđan Z. Milosavljević

**PERFORMANCE OF WIRELESS
TELECOMMUNICATION SYSTEM IN THE
PRESENCE OF η - μ FADING**

DOCTORAL DISSERTATION

Nis, 2017.

PODACI O MENTORU I ČLANOVIMA KOMISIJE

Mentor: dr Dejan N. Milić, redovni profesor, Elektronski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu

Komisija za odbranu disertacije:

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

Datum odbrane:

Svojoj porodici

PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Naslov: Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu η - μ fedinga

Rezime:

U ovoj disertaciji se razmatraju karakteristike bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu u kome je prisutan η - μ feding i razmatraju se diverziti tehnike pomoću kojih se smanjuje uticaj η - μ fedinga na verovatnoću otkaza sistema, verovatnoću greške sistema, kapacitet kanala, srednji broj osnih preseka i srednje vreme trajanja otkaza.

Poboljšanje performansi je veoma značajno kod radio sistema koji rade u ćelijskoj konfiguraciji mreže. Ćelijska konfiguracija mreže se koristi za povećanje kapaciteta bežičnog telekomunikacionog sistema. Sa povećanjem broja ćelija, odnosno sa smanjenjem površine ćelije povećava se kapacitet kanala. Sa povećanjem broja ćelija raste međukanalna interferencija čime se degradiraju performanse sistema. U ovom radu se traži kompromis između kapaciteta sistema i kvaliteta prijema.

Primenom diverziti tehnike poboljšavaju se performanse sistema koje su degradirane zbog sporog fedinga, brzog fedinga i međukanalne interferencije tako da je moguće smanjiti površinu ćelije i povećati kapacitet sistema.

U drugom delu doktorske disertacije predstavljene su razne raspodele koje modeluju varijacije anvelope signala u feding kanalima, istaknuto je u kojim slučajevima se koriste, predstavljene su prednosti i nedostaci pojedinih modela za određene propagacione scenarije. Date su osnovne karakteristike za Rejljev, Nakagama-m, Rajsovu, Vejbulovu, α - μ , η - μ , α - η - μ i mnoge druge raspodele.

U trećoj glavi razmatrane su statističke karakteristike prvog reda η - μ slučajne promenljive, α - η - μ slučajne promenljive i kvadrata η - μ slučajne promenljive. Za navedene promenljive izračunata je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti. Takođe, za navedene slučajeve je određen zbir dve, proizvod dve, količnik dve, maksimum i minimum dve slučajne promenljive. Dobijeni rezultati imaju primenu za određivanje performansi bežičnih prijemnika koji koriste diverziti tehniku da se smanji uticaj fedinga na performanse sistema. Na osnovu dobijenih izraza iscrtani su grafici promene gustine verovatnoće i kumulativne verovatnoće za različite vrednosti propagacionog okruženja. Grafički je predstavljena i promena gustine verovatnoće i kumulativne verovatnoće α - η - μ slučajne promenljive u odnosu na promenu parametara α i μ .

U cilju analize performansi sistema u η - μ fading okruženju u četvrtoj glavi su razmatrane transformacije tri η - μ slučajne promenljive. Na osnovu datih transformacija η - μ slučajnih promenljivih izvršena je procena performansi prenosa signala u kanalu u kome je prisutan η - μ fading. Procene performansi signala za slučajeve primene diverziti tehnike izvršene su na osnovu standardnih mera performansi signala kao što su verovatnoća otkaza (OP), srednja verovatnoća greške po bitu (ABER) za posmatrani modulacioni format prenosa i kapacitet signala. Grafički su predstavljene vrednosti ABER za različite vrednosti parametara sistema pri prenosu signala različitim modulacionim formatima. Poredeći dobijene vrednosti vidi se poboljšanje performansi signala na prijemu za slučajeve primene diverziti tehnike u odnosu na slučaj prijema bez upotrebe diverziti tehnike.

U petoj glavi razmatrane su statističke karakteristike drugog reda η - μ slučajnog procesa i slučajnih procesa koji predstavljaju različite varijante η - μ slučajnog procesa. Formirani su potpuno novi slučajni procesi koji mogu opisati fading u kanalima koji se nalaze u posebnim uslovima. Za sve ove slučajeve određen je srednji broj osnih preseka.

U šestom delu disertacije razmatraće se bežični telekomunikacioni sistemi čiji prijemnici koriste diverziti tehniku kako bi se smanjio uticaj η - μ fadinga na performanse sistema. Korišćena diverziti tehnika je prostorna. Korisni signali se primaju na antenama, anvelope ovih signala se kombinuju i odlučivanje se vrši na osnovu signala na izlazu iz kombinera. Performanse sistema biće određene za slučaj MRC i SC kombinera. Za oba slučaja određena je gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća na izlazima iz prijemnika kao i srednja verovatnoća greške po bitu za različite modulacione formate i srednji broj osnih preseka. Grafički su predstavljeni rezultati za ABER za razne modulacione formate kao i poboljšanje verovatnoće otkaza na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane. U ovom delu razmatran je i slučaj kada su η - μ raspodelom opisani i korisni signal i interferencija, kao i slučaj kada je korisni signal opisan η - μ raspodelom, a interferencija opisana κ - μ raspodelom.

U sedmoj glavi razmatran je makrodiverziti sistem sa SC prijemnikom i dva mikrodiverziti MRC kombinera. Na ulazima u mikrodiverziti kombinere prisutan je nezavisan η - μ fading, a na ulazima u makrodiverziti sistem prisutan je spori Gama fading. Za ovako modelovan sistem na izlazu iz makrodiverziti kombinera izračunata je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, varijansa, verovatnoća otkaza kao i srednji broj osnih preseka. Grafički su predstavljeni rezultati dobijeni za srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti kombinera.

Ključne reči:

η - μ feding , gustina raspodele verovatnoće, verovatnoća otkaza, srednji broj osnih preseka, diverziti tehnike, makrodiverziti tehnike.

Broj stranica: 173

Broj slika: 46

Broj tabela: 1

Broj bibliografskih jedinica: 102

Naučna oblast: Elektrotehnika i računarstvo

Uža naučna oblast: Telekomunikacije

UDK broj:

INFORMATION ABOUT DOCTORAL DISSERTATION

Title: Performance of wireless telecommunication system in the presence of η - μ fading

Summary:

In this thesis characteristics of wireless communication system operating over η - μ fading channel are considered together with diversity reception techniques which reduce the influence of η - μ fading on the system's outage probability, average bit error rate, channel capacity, level crossing rate and average fade duration.

Performance improvement is very significant within radio systems operating into cell network configuration. Cell network configuration realization could be used for increasing capacity of wireless communication system. With the increase of number of cells, i.e. with reducing the surface area of each cell, channel capacity increases. With the increase of number of cells, co-channel interference level increase, which degrades system performance values. In this work the compromise between the system capacity and reception quality is inquired.

By applying diversity reception techniques, system performance values, degraded by the influences of slow fading, multipath fading and co-channel interference, are improved, so it is possible to reduce the cell area and to increase system capacity.

In the second part of Phd thesis, various distributions for modeling the envelope variations in fading channels have been presented, cases in which these models are used have been pointed out, and advantages and imperfections of corresponding models for corresponding propagation scenarios have been presented.

In third chapter, statistical characteristics of the first order of η - μ random variable, α - η - μ random variable and squared η - μ random variable are considered. For each mentioned variables, expressions for probability density function, cumulative distributive function, characteristic function and moments have been derived. Also for each observed case sum of two random variables, product of two random variables, ratio of two random variables, maximal value of two random variables and minimum value of two random variables have been determined. Obtained results are used for determining performances of wireless reception with applied diversity technique for mitigation fading influence on system performances. Based on obtained expressions, graphs are depicted for probability density functions and cumulative distribution functions for the various values of propagation

environment parameters. Probability density function and cumulative distribution function values are also graphically presented for α - η - μ random variable in the function of α and μ parameter change.

For the purpose of performance analysis in η - μ fading environment, in the fourth chapter have been considered transformations of three η - μ random variables. Based on presented transformations of η - μ random variables, transmission performances estimation has been conducted, for the η - μ fading channel. Estimation of signal performances for the cases when diversity techniques are applied are carried out based on standard signal performance measures, i.e. outage probability (OP), average bit error probability (ABER), for observed modulation format and channel capacity. Graphically are presented ABER values for various values of system parameters when transmission is carried out with different modulation formats. By comparing obtained values it can be seen received signal performance improvement for the cases when diversity techniques are applied over the reception case when there is no diversity technique applied.

In the fifth chapter statistical characteristics of the second order of η - μ random process, and random processes which represent various variations of η - μ random process, are considered. Brand new random processes, for describing fading in special channel conditions are formed. For all these cases level crossing rates are determined.

In the sixth chapter of this Phd thesis are considered wireless communication systems with reception with applied diversity techniques for mitigating the influence of η - μ fading on system performances. Space diversity technique has been used. Useful signals are accepted at the antennas, envelopes of these signals are combined and decision is made based on the signal values at the combiner outputs. System performances are determined for the cases of SC and MRC combining. For both cases probability density function and cumulative distribution function of the signal at the combiners outputs are derived, as well as the average bit error rate for the various used modulation formats and level crossing rate. Results for ABER for various modulation formats are graphically presented as well as the improvement of the outage probability at the reception obtained by applying SC with two reception branches. In this part it has also been considered the case when both desired and interfering signal are described with η - μ distribution, as well as the case when desired signal has been described with η - μ distribution while interference has been described with κ - μ distribution.

In the seventh chapter macrodiversity system with SC reception and two MRC microdiversity combiners has been considered. At the inputs at the microdiversity combiners η - μ fading is present, while at the inputs as macrodiversity combiners slow Gamma fading is

present. For this model of system it has been calculated probability density function, cumulative distribution function, characteristic function, moments, variance, outage probability and level crossing rate for the signal at the macrodiversity combiner output. Results obtained for level crossing rate at the macrodiversity combiner output are graphically presented.

Key words:

η - μ fading , probability density function, outage probability, level crossing rate, diversity technique, macrodiversity systems.

Number of pages: 173

Number of figures: 46

Number of tables: 1

Number of bibliographic items: 102

Scientific field: Electrical Engineering and Computer Science

Major scientific area: Telecommunications

UDC:

SPISAK SLIKA

Slika 3.1: Gustina verovatnoće raspodele signala $r(t)$ za različite vrednosti parametra μ .

Slika 3.2: Gustina verovatnoće raspodele signala $r(t)$ za različite vrednosti parametra η .

Slika 3.3: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $r(t)$ za različite vrednosti parametra μ .

Slika 3.4: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $r(t)$ za različite vrednosti parametra η .

Slika 3.5: Verovatnoća otkaza sistema za različite vrednosti parametara μ i η .

Slika 3.6: Momenti signala u zavisnosti od broja klastera μ .

Slika 3.7: Gustina verovatnoće raspodele signala $z(t)$ za različite vrednosti parametra α i μ .

Slika 3.8: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $z(t)$ za različite vrednosti parametra μ i α .

Slika 4.1: Vrednosti ABER za različite vrednosti η i μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom.

Slika 4.2: Vrednosti ABER za različite vrednosti η i μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom.

Slika 4.3: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom.

Slika 4.4: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom.

Slika 4.5: Vrednosti normalizovanog kapaciteta kanala sa η - μ fedingom za različite vrednosti η i μ .

Slika 4.6: Funkcija gustine verovatnoće maksimuma dve η - μ slučajne promenljive.

Slika 4.7: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.8: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.9: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ i η pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.10: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.11: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.12: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Slika 4.13: Gustina verovatnoće zbira tri η - μ slučajne promenljive.

Slika 4.14: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.15: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.16: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.17: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.18: Funkcija gustine verovatnoće maksimuma tri η - μ slučajne promenljive.

Slika 4.19: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.20: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.21: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 4.22: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Slika 6.1: MRC kombiner sa dva ulaza.

Slika 6.2: MRC kombiner sa tri ulaza.

Slika 6.3: MRC kombiner sa četiri ulaza.

Slika 6.4: SC kombiner sa dva ulaza.

Slika 6.5: Poboljšanje verovatnoće otkaza na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Slika 6.6: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za CPSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Slika 6.7: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za CFSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Slika 6.8: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za NCFSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Slika 6.9: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za BDPSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Slika 6.10: Vrednosti ABER za BDPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .

Slika 6.11: Vrednosti ABER za BFSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .

Slika 6.12: Vrednosti ABER za CPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .

Slika 6.13: Vrednosti ABER za CPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .

Slika 7.1: Makrodiverziti sistem sa dva MRC mikrodiverziti kombinera.

Slika 7.2: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz posmatranog makrodiverziti sistema za posmatrane parametre sistema η i μ za $c=1.5$

Slika 7.3: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz posmatranog makrodiverziti sistema za posmatrane parametre sistema η i μ za $c=2.5$

SADRŽAJ

Spisak slika.....	ix
1. UVOD	1
2. MODELOVANJE ANVELOPE SIGNALA U FEDING KANALIMA	6
3. STATISTIČKE KARAKTERISTIKE η - μ SLUČAJNE PROMENLJIVE	17
3.1. Statistika prvog reda η - μ slučajne promenljive	20
3.1.1. Neke korisne transformacije η - μ slučajne promenljive.....	26
3.2. Statistika prvog reda kvadrata η - μ slučajne promenljive	30
3.2.1. Neke transformacije kvadrata η - μ slučajne promenljive.....	31
3.3. Statistika prvog reda α - η - μ slučajne promenljive.....	35
4. ANALIZA PERFORMANSI DIVERZITI PRIJEMA SIGNALA U η - μ FEDING OKRUŽENJU PRIMENOM TRANSFORMACIJE η - μ SLUČAJNIH PROMENLJIVIH	39
5. STATISTIKA DRUGOG REDA η - μ SLUČAJNE PROMENLJIVE.....	72
5.1. Srednji broj osnih preseka η - μ slučajne promenljive	74
5.2. Združena gustina verovatnoće prostih funkcija η - μ slučajnih promenljivih i njenih prvih izvoda.....	76
5.3. Srednji broj osnih preseka kvadrata η - μ slučajne promenljive	83
5.4. Srednji broj osnih preseka prostih funkcija α - η - μ slučajne promenljive.....	84
5.5. Srednji broj osnih preseka η - μ slučajnih promenljivih višeg reda	87
5.6. Srednji broj osnih preseka 1- η - μ slučajne promenljive.....	97
6. PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA SMANJENJE UTICAJA η - μ FEDINGA	109
6.1. Primena MRC diverziti tehnike za smanjenje uticaja η - μ fedinga	110
6.2. Primena SC diverziti tehnike za smanjenje uticaja η - μ fedinga	123
6.3. Performanse prijemnika koji radi u kanalu sa η - μ fedingom u prisustvu η - μ međukanalne interferencije.....	130

6.3.1. Korisni signal je opisan η - μ raspodelom, a interferencija je opisana κ - μ raspodelom	135
6.4. Korelisan η - μ feding.....	139
7. PRIMENA MAKRODIVERZITI SISTEMA ZA POBOLJŠANJE PERFORMANSI SIGNALA U η - μ FEDING OKRUŽENJU.....	142
7.1. Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema.....	157
8. ZAKLJUČAK	160
9. LITERATURA.....	164
BIOGRAFIJA.....	173

1. UVOD

Stalan razvoj servisa bežičnih telekomunikacionih sistema je razlog da se sve više izučavaju i razvijaju njihove performanse. Prilikom projektovanja ovih sistema potrebno je ispuniti određene zahteve kao što su: obezbeđivanje velikih brzina prenosa, veliki kapacitet kanala i što veći domet veze sa što manjom verovatnoćom greške. Prilikom prostiranja korisnog signala putem bežičnog medijuma dolazi do pojave mnogih neželjenih efekata. Iz tog razloga nužno je uraditi analizu smetnji koje se javljaju prilikom prenosa signala. U ovoj doktorskoj disertaciji biće analizirane performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu η - μ fedinga. Feding predstavlja jednu od dominantnih smetnji koja značajno utiče na karakteristike sistema i nastaje kao posledica interferencije između dve ili više replika istog signala koji stižu na mesto prijema u kratkim vremenskim intervalima. Ukupni feding jednog kanala predstavlja kompleksnu kombinaciju brzog i sporog fedinga. Pod brzim fedingom podrazumevaju se kratke promene amplitude signala usled prostiranja signala po više puteva. Kao posledica refleksije, difrakcije i rasejanja signala po objektima koji se nalaze između predajnika i prijemnika prostiranje signala kroz atmosferu vrši se po više puteva. Na mestu prijema dolazi do superpozicije kopija ovih signala, i kao rezultat kretanja predajnika i prijemnika nastaje signal čija se amplituda menja u vremenu. Tada dolazi do pojačanja ili slabljenja signala na mestu prijema i smatra se da je signal pod uticajem fedinga. Promena anvelope signala nastaje zbog brzog fedinga, a spori feding utiče na promenu snage signala. Spori feding nastaje kao posledica efekta senke. Efekat senke je na manjim rastojanjima od predajnika posledica postojanja zgrada, drveća i drugih objekata, dok je na većim rastojanjima posledica konfiguracije terena. U najvećem broju slučajeva spori feding je korelisan. Da bi se smanjio uticaj fedinga i drugih smetnji na performanse sistema koristi se diverzitetna tehnika. Najviše se upotrebljava prostorni diverzitet sa dve ili više grana. Prijemnik vrši kombinovanje signala sa različitih grana na neki optimalan način i na osnovu kombinovanog signala vrši odlučivanje. Postoji predeteksiono i postdeteksiono kombinovanje.

Brzi feding koji se prostire po više putanja u bežičnim komunikacijama može se modelovati sa nekoliko raspodela uključujući Vejbulovu, Nakagami-m, Hojtovu, Rejljevu i Rajsovu. Sve ove raspodele podrazumevaju rasejanje u homogenom difuznom polju. Modelovanje anvelope signala u kanalu sa sporim fedingom najčešće se vrši uz pomoć Gamma i Lognormalne raspodele.

U ovoj disertaciji analiziran je η - μ model brzog fedinga. Ovo je generalni model fedinga i koristi za modelovanje propagacije u nehomogenom okruženju, za slučaj kada ne postoji dominantna komponenta signala. η - μ raspodela se modeluje uz pomoć dva parametra, η i μ . Parametar μ , odnosi se na broj propagacionih klastera kroz koje se prostire signal i a parametar η srazmeran je odnosu srednjih snaga komponenata u fazi i kvadraturi. Kao posebne slučajeve, unutar sebe ovaj model fedinga uključuje i druge feding modele, kao što su Hoytov, Nakagami-m i jednostrani Gausov.

Kvadrat η - μ slučajne promenljive jednak je zbiru kvadrata 2μ Gausovih slučajnih promenljivih. Razmatrane Gausove slučajne promenljive su nezavisne [1, 2]. Srednje vrednosti ovih Gausovih slučajnih promenljivih su nula. Prve μ Gausove slučajne promenljive imaju varijansu σ_1^2 , a druge μ Gausove slučajne promenljive imaju varijansu σ_2^2 . Prve μ Gausove slučajne promenljive su komponente u fazi, a druge μ Gausove slučajne promenljive su komponente u kvadraturi. Zbir kvadrata prvih μ Gausovih komponenata je χ^2 slučajna promenljiva i zbir drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih je χ^2 slučajna promenljiva. Na ovaj način mogu da se odrede gustine verovatnoće prvih i drugih zbirova μ Gausovih slučajnih promenljivih [3]. Konvolucija ovih gustina verovatnoće je gustina verovatnoće kvadrata η - μ slučajne promenljive [4].

Pomoću ove gustine verovatnoće dobija se gustina verovatnoće η - μ slučajne promenljive. Analiza karakteristika funkcije gustine verovatnoće veoma je važna, kako za procenu statističkih parametara prvog reda, tako i za određivanje statističkih parametara drugog reda. U ovoj disertaciji će se pored gustine verovatnoće η - μ slučajne promenljive odrediti i kumulativna verovatnoća η - μ slučajne promenljive, karakteristična funkcija η - μ slučajne promenljive i momenti η - μ slučajne promenljive. Potom će se odrediti centralni i obični momenti η - μ slučajne promenljive. Odrediće se srednja vrednost η - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost η - μ slučajne promenljive, srednja kubna vrednost η - μ slučajne promenljive i varijansa η - μ slučajne promenljive. Predstavljene karakteristike su bitne za procenu pokazatelja performansi telekomunikacionog sistema.

Na osnovu η - μ slučajne promenljive formiraće se slučajne promenljive koje su jednake zbiru, proizvodu, količniku, maksimumu i minimumu dve η - μ slučajne promenljive. Za sve navedene slučajne promenljive biće određena gustina verovatnoće. Navedene slučajne promenljive se koriste za analizu performansi prijema bežičnih telekomunikacionih sistema za slučajeve upotrebe prostornih diverziti tehnika.

Zatim će se formirati slučajna promenljiva koja je jednaka kvadratu η - μ slučajne promenljive i biće date njene karakteristike kao i za η - μ slučajnu promenljivu. Ovakva raspodela nalazi primenu pri estimaciji nekih parametara prenosa u bežičnom telekomunikacionom sistemu.

Razmatraće se i feding koji je nastao prostiranjem elektromagnetnog talasa kroz nelinearnu sredinu. Slučajna anvelopa ovako nastalog fedinga dobija se stepenovanjem η - μ anvelope sa $2/\alpha$. Anvelopa ovako nastalog fedinga u disertaciji je nazvana α - η - μ feding. Za ovako određen feding biće razmatrana gustina verovatnoće anvelope, kumulativna verovatnoća anvelope, karakteristična funkcija anvelope i momenti anvelope, a transformacijom α - η - μ slučajne promenljive biće formirane nove slučajne promenljive zbira, proizvoda, maksimuma i minimuma dve α - η - μ slučajne promenljive. Novoformirane slučajne promenljive nalaze primenu u analizi performansi prijema bežičnih telekomunikacionih sistema za slučajevne upotrebe prostornih diverziti tehnika, kada se prenos vrši u nelinearnom feding okruženju.

U cilju analize performansi u η - μ feding okruženju razmatrane su tri η - μ slučajne promenljive. Formiraće se slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru tri η - μ slučajne promenljive i biće određene statističke karakteristike ovako određenog zbira. Ovi rezultati se koriste u analizi EGC kombinera sa tri ulaza. Potom je formirana slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu tri η - μ slučajne promenljive i izračunaće se gustina verovatnoće ove slučajne promenljive. Ovi rezultati se mogu koristiti u analizi bežičnog prijemnika u prisustvu tri η - μ brza fedinga. Transformacijom η - μ slučajnih promenljivih formiraće se nove slučajne promenljive koje su jednake zbiru kvadrata tri η - μ slučajne promenljive, zbiru jedne i proizvoda dve η - μ slučajne promenljive, zbiru jedne i količnika dve η - μ slučajne promenljive, maksimumu tri η - μ slučajne promenljive itd. U ovom delu će se na osnovu transformacija η - μ slučajnih promenljivih u prethodnom i ovom poglavlju izvršiti procena performansi prenosa signala u η - μ feding okruženju. Procena performansi signala na prijemu za slučajevne primene diverziti tehnika može biti izvršena na osnovu standardnih mera performansi kao što su verovatnoća otkaza, srednja verovatnoća greške po bitu za određeni modulacioni format i kapacitet kanala. Srednja verovatnoća greške po bitu predstavlja najvažniju performansu bežičnog telekomunikacionog sistema i dobija se usrednjavanjem uslovne verovatnoće greške. Grafički su predstavljene vrednosti srednje verovatnoće greške po bitu za različite vrednosti parametara sistema pri prenosu signala različitim modulacionim formatima.

Pored statističkih karakteristika prvog reda razmatraće se i statističke karakteristike drugog reda. Bitna statistička karakteristika drugog reda je srednji broj osnih preseka. Poznavanje ove veličine je korisno u projektovanju mobilnih radio komunikacionih sistema kao i u analizi performansi istih. Biće formirana združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz bežičnog prijemnika i njegovog prvog izvoda. Pomoću ove združene gustine verovatnoće određiće se srednji broj osnih preseka signala na izlazu, odnosno srednja vrednost prvog izvoda signala na izlazu. Na osnovu ovih rezultata moguće je odrediti srednje vreme trajanja otkaza sistema. Srednje vreme trajanja otkaza sistema jednako je količniku verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka signala [5, 6]. Srednje vreme trajanja otkaza sistema je važna karakteristika sistema [7]. Zatim će se odrediti združena gustina verovatnoće zbira, proizvoda, količnika, maksimuma i minimuma dve η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda ovih η - μ slučajnih promenljivih. Biće formirani potpuno novi slučajni procesi koji mogu opisati feding u kanalima koji se nalaze u posebnim uslovima. Za sve ove slučajeve određen je srednji broj osnih preseka.

Razmatraće se diverziti tehnika pomoću koje se smanjuje uticaj η - μ brzog fedinga na performanse sistema. Koristi se nekoliko diverziti tehnika. Koristi se diverziti tehnika sa MRC kombinovanjem, diverziti tehnika sa EGC kombinovanjem, diverziti tehnika sa SC kombinovanjem i diverziti tehnika sa SSC kombinovanjem. MRC kombineri daju najbolje rezultate ali su najkomplikovaniji za realizaciju [8, 9]. To je zbog toga što treba analizirati niz impulsa da bi se proučili parametri sistema. Takođe, potrebno je signale na ulazima u kombiner dovesti u fazu. Kod EGC kombinera anvelopa signala na izlazu iz kombinera jednaka je zbiru anvelopa signala na njegovim ulazima [10, 11]. Ovaj način kombinovanja daje nešto lošije rezultate od MRC kombinovanja ali je jednostavniji za realizaciju jer je potrebno samo signale na ulazima u kombiner dovesti u fazu, a nije potrebno proceniti parametre sistema. Kod SC-selektivnog kombinovanja signal na izlazu jednak je onom signalu na njegovim ulazima koji je najveći [12, 13]. Ovaj način kombinovanja daje lošije rezultate od EGC i MRC kombinovanja ali je jednostavniji za realizaciju jer vrši samo upoređivanje anvelopa signala sa njegovih ulaza. SSC način kombinovanja daje rezultate koji su lošiji od svih prethodno pomenutih načina kombinovanja. Ovaj kombiner je najjednostavniji za realizaciju. Kod ovog kombinovanja kombiner ispituje signal na jednoj grani. Ako je ovaj signal veći od praga prijema onda kombiner ovaj signal prosleđuje na izlaz kombinera. Ako je ovaj signal manji od praga prijema onda se signal sa druge grane prosleđuje na izlaz iz kombinera [14, 15]. Razmatraće se i bežični telekomunikacioni

prijemnik u prisustvu korisnog signala, interferencije i η - μ brzog fedinga. Biće određene statističke karakteristike odnosa anvelope korisnog signala i interference.

U disertaciji će se zatim razmatrati makrodiverziti sistem sa dva mikrodiverziti sistema na čijim se ulazima pojavljuje η - μ feding i spori Gama feding. Makrodiverziti kombiner je selektivan. Mikrodiverziti sistemi su MRC kombineri sa po dva ulaza. Mikrodiverziti kombineri se koriste da se smanji uticaj brzog η - μ fedinga na performanse sistema. Makrodiverziti kombiner se koristi da se smanji uticaj sporog Gama fedinga na performanse sistema [16, 17]. Brzi η - μ feding koji se pojavljuje na ulazima u mikrodiverziti kombinere je nekorelisan. Spori Gama feding koji se pojavljuje na ulazima u makrodiverziti kombiner je korelisan. Spori Gama feding ima uticaj na snage anvelope signala na ulazima u mikrodiverziti kombiner. Srednje kvadratne vrednosti, odnosno snage anvelopa signala na ulazima u mikrodiverziti kombiner su promenljive zbog uticaja sporog fedinga i imaju združenu Gama gustinu verovatnoće. Oštrina ovog fedinga je određena sa parametrom c . Srednja kvadratna vrednost ovog fedinga je određena sa parametrom Ω_0 [18]. Koeficijent korelacije između snaga signala na antenama je ρ . Gama feding je spor tako da korelacija između snaga anvelopa postoji iako su mikrodiverziti sistemi postavljeni u raznim baznim stanicama.

Za ovako modelovan makrodiverziti sistem biće određene gustine verovatnoće anvelope signala na izlazima iz mikrodiverziti kombinera, a pomoću njih biće određena gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera. Na sličan način biće određena kumulativna verovatnoća signala na izlazu, karakteristična funkcija signala na izlazu i momenti signala na izlazu. Zatim će biti određena srednja vrednost signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera i varijansa signala na izlazu iz kombinera. Biće izračunata verovatnoća greške sistema za koherentnu i nekoherentnu demodulaciju signala, verovatnoća otkaza sistema i kapacitet kanala. Odrediće se i srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera. Srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera. Srednje vreme trajanja otkaza je važna karakteristika sistema. Srednje vreme trajanja otkaza sistema jednako je količniku verovatnoće otkaza makrodiverziti sistema i srednjeg broja osnih preseka sistema.

2. MODELOVANJE ANVELOPE SIGNALA U FEDING KANALIMA

Anvelopa signala u kanalu predstavlja slučajni proces [19, 20]. Postoje različiti matematički modeli za modelovanje tog slučajnog procesa. U ovoj glavi predstavimo najčešće korišćene modele, naznačiti u kojim slučajevima se koriste i istaći prednosti i nedostatke pojedinih modela za određene propagacione scenarije.

Rejljeva raspodela može biti upotrebljena da opiše anvelopu signala koji je nastao zbog prostiranja signala po više putanja. Signal se prostire po više putanja zbog odbijanja, prelamanja, savijanja i rasipanja radio talasa u feding kanalu. Na ulazu u prijemnik dolazi više signala sa približno istim amplitudama i uniformno raspodeljenim fazama. Svaki od dolazećih signala može da se rastavi na dve komponente, komponentu u fazi i komponentu u kvadraturi. Model može da se razmatra tako kao da se na ulazu u prijemnik pojavljuje više komponentata u fazi i više komponentata u kvadraturi. Sve komponente u fazi mogu se sabrati i dobija se komponenta u fazi ukupnog signala. Na sličan način dobija se komponenta u kvadraturi ukupnog signala. Komponenta u fazi ukupnog signala jednaka je zbiru više sinusnih talasa sa približno istim amplitudama i uniformno raspodeljenim fazama. Prema centralnoj graničnoj teoremi ovaj zbir ima Gausovu gustinu verovatnoće sa srednjom vrednošću nula i sa varijansom koja je jednaka zbiru snaga sinusnih talasa. Gausova raspodela aproksimira dobro zbir sinusnih talasa kada je broj talasa veći od osam. Na ovaj način kvadrat ekvivalentne anvelope može da se predstavi kao zbir kvadrata dve nezavisne Gausove slučajne promenljive sa nultim srednjim vrednostima i istim varijansama. Metodom transformacije slučajnih promenljivih dobija se Rejljeva gustina verovatnoće za anvelopu signala na ulazu u prijemnik. Feding nastao na ovaj način naziva se Rejljev feding. Kada je broj komponentata signala na ulazima u prijemnik nedovoljan da bi se primenila centralna granična teorema moraju se u ovom slučaju primeniti druge metode da se odredi gustina verovatnoće ekvivalentne amplitude. Rejljeva gustina verovatnoće može se upotrebiti da opiše brzu promenu anvelope signala u feding kanalima kada je okolina linearna i ne postoji dominantna komponenta. Rejljeva raspodela ima samo jedan parametar. Taj parametar je srednja snaga fedinga. Zbog ovog Rejljeva raspodela nije uvek pogodna za opisivanje anvelope signala zbog toga što pojave prilikom prostiranja mogu da budu veoma složene. Prema eksperimentalnim rezultatima, Rejljeva raspodela dobro opisuje anvelopu signala [14, 21, 22, 23] u linearnim sredinama gde nema optičke vidljivosti i postoji samo jedan klaster.

Rajsova raspodela opisuje anvelopu signala u linearnim sredinama u kojima se signal prostire po više puteva, sa dominantnom komponentom i sa jednim klasterom [24, 25, 26]. Dominantna komponenta se najčešće pojavljuje kada postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika. Kod Rajsove raspodele se definiše Rajsov faktor. Rajsov faktor je odnos snaga dominantne komponente i rasejanih komponenti. Rajsova raspodela prelazi u Rejljevom raspodelu za $\kappa=0$. Verovatnoća greške izračunata za telekomunikacioni sistem koji radi po Rajsovom bežičnom kanalu postaje izraz za verovatnoću greške za telekomunikacioni sistem koji radi po Rejljevom kanalu kad se uzme da je $\kappa=0$. Kada Rajsov faktor raste, oštrina fedinga opada. U ovom slučaju snaga dominantne komponente raste ili snaga rasejanih komponenti opada. Rajsova raspodela ima dva parametra. Jedan parametar je Rajsov faktor, a drugi parametar je snaga Rajsove slučajne promenljive. Rajsova promenljiva i prvi izvod Rajsove slučajne promenljive su međusobno nezavisni. Prvi izvod Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva [27, 28]. Na osnovu ovoga je združena gustina verovatnoće Rajsove slučajne promenljive i prvog izvoda Rajsove slučajne promenljive jednaka proizvodu Rajsove gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće. Rajsova slučajna promenljiva je anvelopa zbir sinusnog talasa i uskopojasnog Gausovog šuma. Sinusni talas je dominantna komponenta. Uskopojasni Gausov šum ima dve nezavisne Gausove komponente. Gustina verovatnoće anvelope ovako formiranog signala ima Rajsovu gustinu verovatnoće. Mogu da se postave dva uskopojasna signala koji se sastoje od sinusnih talasa i uskopojasnog Gausovog šuma koji su korelisani. Na ovaj način može da se odredi združena gustina verovatnoće dve Rajsove slučajne anvelope. Ova gustina verovatnoće ima primenu kod telekomunikacionih sistema koji koriste diverziti tehniku sa dve antene koje nisu dovoljno razmaknute tako da su anvelope signala na antenama korelisane. Korelisani signal smanjuje doprinos diverziti tehnike na smanjenju uticaja fedinga na performanse sistema [29, 30]. Kako raste korelacioni koeficijent tako se pogoršavaju performanse sistema. Najbolji rezultati diverziti tehnike se postižu kada su antene dovoljno razmaknute tako da je korelacioni koeficijent jednak nuli. U nekim slučajevima dimenzije prijemnika su takve da se ne može postići dovoljno rastojanje između antena.

Nakagami-m raspodela može biti upotrebljena da opiše varijaciju anvelope signala u sredinama gde se signal prostire po više putanja, gde nema optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika i prostiranje se vrši pomoću više klastera [31, 32, 33]. Takođe, kanal je linearan. U okviru svakog klastera snaga signala na izlazu je jednaka zbiru kvadrata Gausove komponente u fazi i Gausove komponente u kvadraturi. Na osnovu ovoga je kvadrat Nakagami-m anvelope jednak zbiru $2m$ kvadrata nezavisne Gausove slučajne promenljive.

Više signala koji dolaze u prijemnik sa istom fazom čine jedan klaster. Matematički se može kvadrat komponente u fazi predstaviti kao zbir kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih. Takođe, kvadrat komponente u kvadraturi se može predstaviti kao zbir kvadrata Gausovih komponenata iz svakog klastera po jedna. Na ovaj način se matematički definišu komponente u fazi i komponente u kvadraturi pomoću kojih se može odrediti fazni ugao ekvivalentne amplitude. Nakagami- m raspodela je generalna raspodela. Rejljeva raspodela i jednostrana Gausova raspodela se mogu dobiti iz Nakagami- m raspodele kao specijalni slučajevi. Nakagami- m raspodela prelazi u Rejljevu raspodelu ako se uzme da je $m=1$, a jednostrana Gausova raspodela se dobija za $m=1/2$. Nakagami- m raspodela ima dva parametra, srednju snagu signala i oštrinu fedinga m . Za svaku vrednost parametra m , Nakagami- m raspodela je drugačija. Na osnovu ovoga je Nakagami- m raspodela za opisivanje fedinga više fleksibilna. Nakagami- m raspodela i njen prvi izvod su nezavisni. Prvi izvod od Nakagami- m raspodele ima Gausovu gustinu verovatnoće. Na ovaj način može da se formira združena gustina verovatnoće Nakagami- m slučajne promenljive i prvog izvoda Nakagami- m slučajne promenljive. Združena gustina verovatnoće dve Nakagami- m slučajne promenljive može biti dobijena na taj način što se prvo formiraju dve χ^2 slučajne promenljive gde su Gausove slučajne promenljive nezavisne duž svake promenljive, a odgovarajuće Gausove komponente između χ^2 slučajnih promenljivih su korelisane. Na ovaj način može da se odredi združena gustina verovatnoće dve kvadrirane Nakagami- m slučajne promenljive, a još jednom transformacijom može da se odredi združena gustina verovatnoće dve Nakagami- m slučajne promenljive. Na sličan način može da se odredi združena gustina verovatnoće za tri Nakagami- m slučajne promenljive, a takođe i združena gustina verovatnoće za n Nakagami- m slučajnih promenljivih.

Uzorci Vejbulovog slučajnog procesa mogu biti dobijeni nelinearnom transformacijom uzoraka Rejljevog slučajnog procesa [34, 35, 36]. Veoma često skatering polje nije homogeno. Površine sa kojih se talas odbija ili prelama su korelisane tako da broj komponenata koje stižu u prijemnik može da bude nedovoljan da bi važila centralna granična teorema ili su ove komponente korelisane tako da opet ne važi centralna granična teorema. U ovom slučaju se uzorci anvelope signala mogu dobiti nelinearnom transformacijom uzoraka Rejljevog signala. Na ovaj način se dobija Vejbulova raspodela. Vejbulova raspodela može biti upotrebljena za opisivanje brze promene anvelope signala u nelinearnoj sredini gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i prostiranje se vrši po jednom klasteru. Vejbulova raspodela ima dva parametra. Jedan parametar je srednja snaga, a drugi parametar je oštrina fedinga α . Za manje vrednosti α feding je više oštar. Parametar α je

povezan sa nelinearnošću sistema. Iz Weibulove raspodele može biti izvedena Rejljeva raspodela za $\alpha=2$. Združena gustina verovatnoće Weibulove slučajne promenljive i njenog prvog izvoda može biti dobijena transformacijom iz združene gustine verovatnoće Rejljeve slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda. Takođe, združena gustina verovatnoće dve Weibulove slučajne promenljive može se dobiti metodom transformacije iz združene gustine verovatnoće dve Rejljeve slučajne promenljive. Prema eksperimentalnim rezultatima Weibulova raspodela može dobro opisati anvelopu signala u zatvorenim i otvorenim fading okolinama. U literaturi je određena gustina verovatnoće Weibulove slučajne promenljive, kumulativna verovatnoća Weibulove slučajne promenljive, karakteristična funkcija Weibulove slučajne promenljive i momenti Weibulove slučajne promenljive. Takođe, određena je srednja vrednost Weibulove slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost Weibulove slučajne promenljive i varijansa Weibulove slučajne promenljive. Ovi rezultati su upotrebljeni za izračunavanje performansi bežičnih telekomunikacionih sistema koji rade u kanalu u prisustvu Weibulovog fadinga. Za ove sisteme je izračunata verovatnoća otkaza sistema, verovatnoća greške sistema i kapacitet kanala. Ovo su performanse sistema prvog reda. Performanse sistema drugog reda su srednji broj osnih preseka signala i srednje vreme trajanja otkaza sistema. Srednji broj osnih preseka signala može da se izračuna kao srednja vrednost od prvog izvoda signala. Srednje vreme trajanja otkaza signala može da se odredi kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka signala. Verovatnoća otkaza može da se odredi kao verovatnoća da je vrednost signala ispod neke određene vrednosti. U literaturi je takođe razmatran količnik dve Weibulove slučajne promenljive, zbir dve Weibulove slučajne promenljive, proizvod dve Weibulove slučajne promenljive, maksimum dve Weibulove slučajne promenljive i minimum dve Weibulove slučajne promenljive.

Uzorci Log-normalne slučajne promenljive se dobijaju eksponencijalnom transformacijom Gausove slučajne promenljive [37, 38]. Na ovaj način mogu da se odrede iz Gausovih slučajnih promenljivih, gustina verovatnoće Log-normalne slučajne promenljive, združena gustina verovatnoće dve Log-normalne slučajne promenljive, združena gustina verovatnoće više Log-normalnih slučajnih promenljivih i združena gustina verovatnoće Log-normalne slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda. Log-normalna raspodela može biti upotrebljena da opiše sporu promenu anvelope signala ili sporu promenu snage anvelope signala. Sporu promenu anvelope signala prouzrokuje spori fading ili efekat senke. Spori fading može izazvati sporu promenu anvelope signala, sporu promenu snage signala i sporu promenu dominantne komponente signala. Najčešće je na antenama prisutan i brzi i spori fading. U ovim slučajevima spori fading ima uticaj na snagu anvelope signala. Formirane su

posebne raspodele kao što su Nakagami-m-log-normalna, Rejljeva-log-normalna i Rajsova-log-normalna raspodela. Kod Nakagami-m-log-normalnog fedinga anvelope signala ima Nakagami-m raspodelu sa promenljivom srednjom kvadratnom vrednošću koja ima log-normalnu raspodelu. Odgovarajućom integracijom dobija se gustina verovatnoće ekvivalentne anvelope. Na sličan način se formiraju i druge kompozitne raspodele. Log-normalna raspodela se veoma dobro slaže sa dobijenim eksperimentalnim rezultatima u sredinama gde se pojavljuje spori feding. Interesantno je razmatrati zbir log-normalnih slučajnih promenljivih zato što je ovaj zbir eksponencijalno povezan sa proizvodom Gausovih slučajnih promenljivih. Ovaj zbir je interesantan zbog toga što je na izlazu iz EGC kombinera jednak zbiru signala sa njegovih ulaza. Takođe je interesantno razmatrati količnik dve log-normalne slučajne promenljive, proizvod dve log-normalne slučajne promenljive, maksimum dve log-normalne slučajne promenljive i minimum dve log-normalne slučajne promenljive. Matematička analiza performansi sistema u kanalima sa sporim log-normalnim fedingom je veoma komplikovana zbog teškoća koje nastaju pri integraciji logaritamske funkcije.

Uzorci Gama slučajnog procesa se dobijaju kvadriranjem uzoraka Nakagami-m slučajnog procesa [39, 40]. Gama raspodela može da se upotrebi za opisivanje spore promene anvelope signala. Spore promene anvelope signala nastaju zbog uticaja sporog fedinga ili efekta senke. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je pogodnije koristiti log-normalnu raspodelu za opisivanje anvelope signala u sredinama sa sporim fedingom nego Gama raspodelu. Gama raspodela ima dobre analitičke osobine. Gama raspodela se dobija kvadriranjem Nakagami-m raspodele. Gama slučajna promenljiva može da se napiše kao zbir $2m$ kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih. Na ovaj način može da se odredi gustina verovatnoće Gama slučajne promenljive, združena gustina verovatnoće Gama slučajne promenljive i prvog izvoda Gama slučajne promenljive i združena gustina verovatnoće dve Gama slučajne promenljive. Gama raspodela dobro opisuje promenu srednje snage anvelope signala u feding kanalima. Log normalna raspodela bolje opisuje promenu snage anvelope signala nego Gama raspodela. Gama raspodela se više koristi od log normalne raspodele za opisivanje snage anvelope signala zbog toga što se u ovom slučaju dobijaju performanse sistema u zatvorenom obliku. Veoma često se dešava da su istovremeno prisutni u kanalu i brzi i spori feding. I u ovom slučaju se formiraju razne kompozitne raspodele. Veoma često se analizira Nakagami-m-Gama raspodela. U ovom slučaju anvelope signala ima Nakagami-m amplitudu sa promenljivom srednjom kvadratnom vrednošću. Za ovu raspodelu mogu da se dobiju zatvoreni oblici za gustinu verovatnoće anvelope, kumulativnu raspodelu anvelope,

karakterističnu funkciju anvelope i momente anvelope. Dobijeni rezultati mogu da se iskoriste za određivanje verovatnoće greške i verovatnoće otkaza sistema koji radi u kanalu sa brzim i sporim fadingom i koji koristi prostornu diverzitetnu tehniku da se smanji uticaj brzog i sporog fadinga na performanse sistema. U ovom slučaju se koristi makro diverzitetni sistem. Makro diverzitetni sistem se sastoji od makro diverzitetnog prijemnika i dva ili više mikro diverzitetnih prijemnika. Makro diverzitetni prijemnik se koristi da se smanji uticaj sporog fadinga na performanse sistema, a mikro diverzitetni prijemnici se koriste da se smanji uticaj brzog fadinga na performanse sistema.

Uzorci α - μ slučajnog procesa mogu biti dobijeni nelinearnom transformacijom Nakagami- m slučajnog procesa [41, 42, 43]. α - μ raspodela može opisati anvelopu signala u nelinearnim sredinama gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i gde se prostiranje vrši kroz više klastera. α - μ raspodela ima parametre α i μ . Parametar μ određuje broj klastera u propagaionoj sredini. Parametar α je povezan sa nelinearnošću propagacione okoline. α - μ je nelinearna raspodela. Rejlijeva, Vejbulova i Nakagami- m raspodela mogu biti dobijene iz α - μ raspodele kao specijalni slučajevi. α - μ raspodela prelazi u Vejbulovu raspodelu za $\mu=1$, a Nakagami- m raspodela je dobijena iz α - μ raspodele za $\alpha=2$. α - μ raspodela aproksimira Rejlijevu raspodelu za $\alpha=2$ i $\mu=1$. Statističke karakteristike α - μ raspodele mogu biti izvedene transformacionom metodom pomoću statističkih karakteristika Nakagami- m raspodele. Na ovaj način se dobija gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive, karakteristična funkcija α - μ slučajne promenljive, kumulativna verovatnoća α - μ slučajne promenljive i momenti α - μ slučajne promenljive. Zatim, može da se odredi srednja vrednost α - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost α - μ slučajne promenljive i varijansa α - μ slučajne promenljive. Združena gustina verovatnoće α - μ slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda može da se upotrebi za izračunavanje srednjeg broja osnih preseka α - μ slučajne promenljive. Srednji broj osnih preseka α - μ slučajne promenljive se dobija kao srednja vrednost prvog izvoda α - μ slučajne promenljive. Srednje vreme trajanja otkaza sistema se dobija kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka. Može takođe da se odredi združena gustina verovatnoće dve α - μ slučajne promenljive, združena kumulativna funkcija dve α - μ slučajne promenljive, združena karakteristična funkcija dve α - μ slučajne promenljive i produkti momenti dve α - μ slučajne promenljive. Združena gustina verovatnoće dve α - μ slučajne promenljive može da se upotrebi za određivanje statističkih karakteristika kodne reči od dva simbola.

κ - μ slučajna promenljiva može da opiše anvelopu signala koji se prostire u sredini u kojoj se signal prostire po više puteva, postoji optička vidljivost između predajnika i

prijemnika i prostiranje se vrši sa više klastera [44, 45, 46]. Kvadrat κ - μ slučajne promenljive može da se napiše kao zbir 2μ Gausovih slučajnih promenljivih. Ove Gausove slučajne promenljive su nezavisne, imaju neke srednje vrednosti i iste varijanse. Na osnovu ovoga može da se smatra da je kvadrat κ - μ slučajne promenljive χ^2 raspodela. Na osnovu ovoga može da se odredi gustina verovatnoće κ - μ slučajne promenljive, kumulativna verovatnoća κ - μ slučajne promenljive, karakteristična funkcija κ - μ slučajne promenljive i momenti κ - μ slučajne promenljive. Zatim, može da se odredi srednja vrednost κ - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost κ - μ slučajne promenljive i varijansa κ - μ slučajne promenljive. κ - μ slučajna promenljiva ima tri parametra κ , μ i srednju snagu signala. Parametar κ se naziva Rajsov faktor. Rajsov faktor je definisan kao količnik snage dominantne komponente i snage rasejanih komponenti. Kada je Rajsov faktor manji, feding je više oštar. Feding je više oštar kada je snaga dominantnih komponentata manja ili kada je snaga rasejanih komponentata veća. Parametar μ je povezan sa brojem klastera u propagacionoj sredini. Kod κ - μ fedinga klasteri imaju dominantnu komponentu. κ - μ raspodela je generalna raspodela. Iz ove raspodele mogu da budu izvedene neke druge raspodele kao što su Rajsova, Nakagami-m i Rejljeva. κ - μ raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu za $\mu=1$. Nakagami-m raspodela može biti izvedena iz κ - μ raspodele za $\kappa=0$. κ - μ raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu za $\kappa=0$ i $\mu=1$. Kod κ - μ raspodele su određene statističke karakteristike dva količnika od dve κ - μ slučajne promenljive. Ove karakteristike su potrebne kada se analizira telekomunikacioni sistem koji se prostire u kanalu sa κ - μ fedingom, a prisutna je i međusobna interferencija. Za povećanje kapaciteta sistema se koristi ćelijski sistem. Ćelijski sistem se sastoji od više ćelija. Udaljene ćelije mogu imati iste noseće frekvencije. U ovom slučaju je ograničena veličina međukanalne interferencije. U odgovarajućoj ćeliji feding kanali imaju dominantnu komponentu tako da anvelope mogu da budu opisane sa κ - μ raspodelom. Anvelope međukanalne interferencije koje nastaju na udaljenoj lokaciji nemaju dominantnu komponentu i na taj način mogu biti opisane sa Rejljevom ili Nakagami-m raspodelom.

η - μ raspodela može biti upotrebljena za opisivanje anvelope signala u sredinama gde se signal prostire po više puteva, gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i signal se prostire pomoću više klastera i snage komponentata u fazi i kvadraturi su različite [47, 48, 49, 50]. η - μ raspodela ima dva parametra, η i μ . Parametar η je jednak količniku snaga komponente u fazi i komponente u kvadraturi. Parametar μ određuje broj klastera u propagacionoj okolini. η - μ raspodela je generalna raspodela. Rajsova, Nakagami-m i Nakgami-q raspodela mogu se dobiti iz η - μ raspodele kao specijalni slučajevi. η - μ raspodela

prelazi u Nakagami-m raspodelu za $\eta=1$, a Nakagami-q raspodela je dobijena iz η - μ raspodele za $\mu=1$. η - μ raspodela aproksimira Rajsovu raspodelu za $\eta=1$ i $\mu=1$. Kvadrirana η - μ slučajna promenljiva može da se napiše kao zbir 2μ kvadriranih Gausovih slučajnih promenljivih. Ove Gausove slučajne promenljive su nezavisne i imaju srednje vrednosti nula. Prve μ Gausove slučajne promenljive imaju varijansu σ_1^2 , a druge μ Gausove slučajne promenljive imaju varijansu σ_2^2 . Iz ove definicije može da se odredi gustina verovatnoće η - μ slučajne promenljive i združena gustina verovatnoće η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda od η - μ slučajne promenljive. Zatim, može da se odredi srednji broj osnih preseka η - μ slučajne promenljive kao srednja vrednost od prvog izvoda η - μ slučajne promenljive. Zatim, može da odredi srednji broj osnih preseka od količnika dve η - μ slučajne promenljive, proizvoda dve η - μ slučajne promenljive, maksimuma dve η - μ slučajne promenljive i minimuma dve η - μ slučajne promenljive. U literaturi su razmatrani telekomunikacioni sistemi koji rade u kanalu sa η - μ fedingom, a koristi se prostorna diverziteti tehnika sa dve ili više antena da smanji uticaj η - μ fedinga na performanse sistema. Može da se koristi MRC prijemnik, EGC prijemnik ili SC prijemnik. MRC prijemnik obezbeđuje najbolje performanse, a SC prijemnik omogućava najprostiju realizaciju.

Rajsov-Gama feding može biti upotrebljen da opiše brzu promenu anvelope signala u sredinama gde postoji optička vidljivost, gde se prostire jedan klaster i gde se pojavljuju istovremeno i brzi i spori feding [51, 52]. Brzi Rajsov feding ima uticaj na anvelopu signala. Spori Gama feding može uticati na anvelopu signala, dominantnu komponentu i na srednju kvadratnu vrednost signala. Kada spori Gama feding ima uticaj na anvelopu signala onda se ekvivalentna amplituda predstavlja kao proizvod dve slučajane promenljive od kojih jedna ima Rajsovu gustinu verovatnoće a druga slučajana promenljiva ima Gama gustinu verovatnoće. Gustina verovatnoće ekvivalentne amplitude dobija se odgovarajućom transformacijom. Kada spori Gama feding utiče na dominantnu komponentu signala, ekvivalentna amplituda ima Rajsovu gustinu verovatnoće sa slučajnom dominantnom komponentom koja ima Gama gustinu verovatnoće. Usrednjavanje se dobija gustinom verovatnoće ekvivalentne anvelope. Pomoću ove gustine verovatnoće može da se odredi kumulativna verovatnoća ekvivalentne anvelope, karakteristična funkcija ekvivalentne anvelope i momenti ekvivalentne anvelope. Prema trećem modelu ekvivalentna anvelopa ima Rajsovu gustinu verovatnoće sa promenljivom srednjom snagom koja ima Gama gustinu verovatnoće. Gustina verovatnoće ekvivalentne anvelope u ovom slučaju se dobija odgovarajućom transformacijom. Rajsova gustina verovatnoće ima u imeniocu eksponenta

srednju snagu signala i Gama gustina verovatnoće ima u brojiocu eksponenta srednju snagu signala. Zbog ovoga se prilikom integracije u rezultatu za gustinu verovatnoće dobija modifikovana Beselova funkcija. Spori Gama feding može imati istovremeno uticaj na snagu anvelope i dominantnu komponentu anvelope, na anvelopu i na snagu anvelope kao i na anvelopu i na dominantnu komponentu anvelope. U svim ovim slučajevima mogu se izračunati statističke karakteristike u zatvorenom obliku.

Uzorci α -R (Rice) raspodele se mogu dobiti nelinearnom transformacijom Rajsove slučajne promenljive. Ova raspodela može opisati anvelopu signala u sredinama gde se signal prostire po više puteva, postoji domanantna komponenta i sredina u kojoj se signal prostire je nelinearna. U ovom slučaju su komponente signala u prijemniku ili korelisane ili ih nema dovoljan broj da bi važila centralna granična teorema.

Statističke karakteristike α -R raspodele mogu da se dobiju iz Rajsove raspodele metodom transformacije. Na ovaj način mogu da se dobiju gustina verovatnoće α -R raspodele, kumulativna verovatnoća α -R raspodele, karakteristična funkcija α -R raspodele i momenti α -R raspodele. Takođe mogu da se izračunaju srednja vrednost α -R raspodele, srednja kvadratna vrednost α -R raspodele i varijansa α -R raspodele. Ova raspodela ima dva parametra. Parametar α je u relaciji sa nelinearnošću sistema, a parametar κ (Rajsov faktor) je jednak količniku snage dominantne komponente i sketering komponente. α -R raspodela je generalna raspodela. Iz ove raspodele mmogu se dobiti Rejljeva, Vejbulova i Rajsova raspodela kao specijalni slučajevi. α -R raspodela prelazi u Vejbulovu raspodelu sa $\kappa=0$, a Rajsova raspodela se može dobiti sa $\alpha=2$. α -R raspodela aproksimira Rejljevu raspodelu sa $\alpha=2$ i $\kappa=0$. Srednji broj osnih preseka α -R raspodele može se dobiti pomoću združene gustine verovatnoće α -R slučajne promenljive i njenog prvog izvoda.

α -R-G slučajna promenljiva može opisati anvelopu signala u sredinama koje su nelinearne, signali se prostiru po više puteva i prisutni su brzi Rajsov feding i spori Gama feding. I u ovom slučaju spori Gama feding može uticati na anvelopu signala, na dominantnu komponentu signala ili na srednju snagu signala. Ova raspodela se dobija nelinearnom tranformacijom RG raspodele. Na ovaj način može da se dobije gustina verovatnoće α -R-G raspodele, kumulativna verovatnoća α -R-G slučajne promenljive, karakteristična funkcija i momenti α -R-G slučajne promenljive. Ova slučajna promenljiva ima tri parametra. Parametar α je povezan sa nelinearnošću sistema, parametar κ je Rajsov faktor, a parametar c je oštrina Gama fedinga. Performanse sistema se poboljšavaju kada se parametri α , K i c povećavaju. Verovatnoća greške i verovatnoća otkaza rastu kada parametri α , κ i c opadaju. α -R-G

raspodela je generalna raspodela. Ova raspodela prelazi u RG raspodelu za $\alpha=2$, u α -R raspodelu za $c \rightarrow \infty$ i prelazi u Weibulovu raspodelu za $\kappa=0$ i $c \rightarrow \infty$. Za $\alpha=2$, $\kappa=0$ i $c \rightarrow \infty$, α -R-G raspodela prelazi u Rejljev u raspodelu.

κ - μ -G raspodela može biti upotrebljena da opiše anvelopu signala u sredinama u kojima se signal prostire po više puteva kada se u propagacionoj okolini pojavljuje više klastera i kada su prisutni Rajsov brzi feding i spori Gama feding [53,54]. Rajsov brzi feding ima uticaj na anvelopu signala. Spori Gama feding ima uticaj na anvelopu signala ili na snagu signala ili na dominantnu komponentu signala. Spori feding može zahvatiti sve klaster pri prostiranju signala ali može zahvatiti i samo jedan klaster ili više klastera. U okviru jednog klastera spori feding može zahvatiti samo sketering komponente ili samo dominantnu komponentu ili i sketering komponente i dominantnu komponentu. Zbog ovga je važno odrediti širinu zahvatanja efekta senke. U ovom slučaju anvelopa ima gustinu verovatnoće Rajsovog fedinga gde su snage dominantnih komponenta promenljive i snage sketering komponenta su promenljive. Promenljiva snaga dominantne komponente i snaga sketering komponente imaju Gama gustinu verovatnoće. Na ovaj način može da se odredi gustina verovatnoće κ - μ -G slučajne promenljive, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti κ - μ -G slučajne promenljive. Ova slučajna promenljiva ima tri parametra. Rajsov faktor κ , broj klastera μ i oštrinu Gama fedinga c . κ - μ -G je generalna raspodela. Ova raspodela prelazi u μ -G raspodelu za $\kappa=0$, zatim prelazi u R-G raspodelu za $\mu=1$ i prelazi u κ - μ raspodelu za $c \rightarrow \infty$. Takođe, κ - μ -G raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu za $\mu=1$ i $c \rightarrow \infty$, a prelazi u Nakagami-m raspodelu za $\kappa=0$. κ - μ -G raspodela prelazi u Rejljev u raspodelu za $\kappa=0$, $\mu=1$ i $c \rightarrow \infty$. Mogu se formirati κ - μ -G raspodele sa 2 i 3 klastera. U ovom slučaju se dobijaju raspodele κ -2-G i κ -3-G. U ovom slučaju postoje dve dominantne komponente, odnosno, 3 dominantne komponente. Spori Gama feding može uticati na obe dominantne komponente ili samo na jednu dominantnu komponentu. Takođe, spori Gama feding može uticati na snagu u jednom klasteru ili na snagu u oba klastera.

α - k - μ raspodela može se upotrebiti da se opiše promenu amplitude signala u nelinearnim sredinama gde se signal prostire po više puteva, postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i prostiranje se vrši po više klastera [55,56]. Uzorci α - κ - μ slučajnog procesa mogu biti dobijeni nelinearnom transformacijom uzoraka κ - μ slučajnog procesa. Ova raspodela ima tri parametra. Parametar α određuje nelinearnost sistema, Rajsov faktor κ je definisan kao odnos snage dominantnih komponenta i snage sketering komponenta. Parametar μ je broj klastera u propagacionoj okolini. Broj klastera može da bude 2 i 3 i u

tom slučaju se dobijaju raspodele α - κ -2 i α - κ -3. α - κ - μ raspodela je generalna raspodela. Više raspodela se može izvesti iz α - κ - μ raspodele kao specijalni slučajevi. Za $\alpha=2$, α - κ - μ raspodela prelazi u k - μ raspodelu, za $\kappa=0$, α - κ - μ raspodela prelazi u α - μ raspodelu i za $\mu=1$, α - κ - μ raspodela prelazi u α - κ raspodelu. Za $\alpha=2$ i $\kappa=0$, α - κ - μ raspodela prelazi u Nakagami-m raspodelu, a za $\alpha=2$ i $\mu=1$ ova raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu. Za $\kappa=0$ i $\mu=1$, α - κ - μ raspodela prelazi u Weibulovu raspodelu. Za $\alpha=2$, $\kappa=0$ i $\mu=1$, α - κ - μ raspodela prelazi u Rejljevu raspodelu. α - κ - μ raspodela se slaže sa eksperimentalnim rezultatima dobijenim u sredinama sa više klastera kada postoji više dominantnih komponenta.

η - μ -G slučajna promenljiva može opisati anvelopu signala u sredinama gde se signal prostire po više puteva, nema dominantne komponente, prostiranje se vrši po više klastera i prisutan je spori Gama fading [57, 58]. Ova raspodela ima tri parametra. Parametar η je količnik snaga komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi. Parametar c je oštrina Gama sporog fadinga. Kada parametar μ i c rastu, poboljšava se kvalitet prenosa. Ako je zbir snaga komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi isti, onda se najbolji rezultati postižu kada parametar $\eta \rightarrow 1$. Spori fading ima uticaj na anvelopu signala ili na srednju snagu signala. η - μ -G raspodela je generalna raspodela. Ova raspodela prelazi u η - μ raspodelu za $\rightarrow \infty$. η - μ -G raspodela prelazi u Nakagami-q-G raspodelu za $\mu=1$, a u Nakagami-m-G raspodelu za $\eta=1$.

Uzorci α - η - μ raspodele mogu biti dobijeni nelinearnom transformacijom uzoraka η - μ raspodele [59, 60]. α - η - μ raspodela može biti upotrebljena za opisivanje anvelope signala u nelinearnim sredinama kada se signal prostire po više puteva, gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i snage komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi su različite. Ova raspodela ima tri parametra. Parametar α zavisi od nelinearnosti sredine. Parametar η je odnos snage komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi. Parametar μ određuje broj klastera u propagacionoj okolini. α - η - μ raspodela je generalna raspodela. Ova raspodela prelazi u η - μ raspodelu za $\alpha=2$, u α - μ raspodelu za $\eta=1$ a u α -Nakagami-q raspodelu za $\mu=1$. Za $\eta=1$ i $\mu=1$ α - η - μ raspodela prelazi u Weibulovu raspodelu, za $\alpha=2$ i $\eta=1$ ova raspodela prelazi u Nakagami-m raspodelu i za $\alpha=2$ i $\mu=1$ ova raspodela prelazi u Nakagami-q raspodelu. Za $\alpha=2$, $\eta=1$ i $\mu=1$ α - η - μ raspodela prelazi u Rejljevu raspodelu. α - η - μ fading se formira kada su površine sa kojih se vrši odbijanje i prelamanje talasa korelisane tako da kada se vrši sabiranje komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi na prijemu ne važi centralna granična teorema. Za 2 i 3 klastera se formiraju raspodele α - η -2 i α - η -3. Može se takođe formirati i raspodela α - η - κ - μ , α - η - κ - μ -G, η - κ - μ i η - κ - μ -G.

3. STATISTIČKE KARAKTERISTIKE η - μ SLUČAJNE PROMENLJIVE

U ovoj glavi razmatra se η - μ slučajna promenljiva. Kvadrat η - μ slučajne promenljive jednak je zbiru 2μ kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih [61, 62]. Sve Gausove slučajne promenljive su međusobno nezavisne i imaju srednju vrednost nula. Varijanse prvih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_1^2 , a varijanse drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_2^2 . Na ovaj način je definisana η - μ slučajna promenljiva. Ova slučajna promenljiva veoma dobro opisuje promenu amplitude signala u prisustvu brzog fedinga u nekim sredinama. Brzi feding čija je promena amplitude opisana η - μ raspodelom naziva se η - μ feding. η - μ feding je generalni oblik fedinga. Za $\mu = 1$, η - μ feding se redukuje u Nakagami-q feding [63, 64]. Za $\eta = 1$, varijanse σ_1^2 i σ_2^2 su jednake i η - μ feding se redukuje u Nakagami-m feding. Za $\eta = 1$ i $\mu = 1$, η - μ feding se redukuje u Rejljev feding.

U ovom delu su predstavljeni izrazi za gustinu verovatnoće η - μ fedinga, karakterističnu funkciju η - μ fedinga, kumulativnu verovatnoću η - μ fedinga kao i za momente η - μ fedinga. Poznavajući momente η - μ slučajne promenljive mogu se odrediti centralni momenti ove slučajne promenljive. Takođe, poznavajući centralne momente η - μ slučajne promenljive mogu se odrediti obični momenti η - μ slučajne promenljive. Potom je određena srednja vrednost ili prvi moment η - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost ili drugi moment η - μ slučajne promenljive i srednja kubna vrednost η - μ slučajne promenljive ili treći moment. Zatim je određena varijansa η - μ slučajne promenljive ili drugi centralni moment η - μ slučajne promenljive. Za sve ove izraze u disertaciji je dobijen zatvoren oblik. Ovo je omogućeno razvijanjem Beselove funkcije u red, integracijom odgovarajućih funkcija. Takođe, razmatrana je i slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru dve η - μ slučajne promenljive. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće. Ovaj rezultat može da se primeni za određivanje performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa dva ulaza na kojima se pojavljuje nezavisan η - μ feding. Ova diverziti tehnika se koristi da se smanji uticaj fedinga na verovatnoću greške sistema. Signal na izlazu iz EGC kombinera jednak je zbiru anvelope signala na ulazima u EGC kombiner. U bežičnim kanalima kada je interferencija dominantna smetnja u odnosu na Gausov šum, odnos anvelope korisnog signala i interferencije je važan parametar bežičnog telekomunikacionog sistema [65, 66]. Zato je razmatran količnik dve η - μ slučajne promenljive. Određena je gustina verovatnoće ovako dobijene slučajne promenljive. Rezultati

dobijeni u ovoj disertaciji mogu se primeniti za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i kapaciteta kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi preko η - μ feding kanala u prisustvu međukanalne interferencije korumpirane η - μ fedingom.

U ovoj glavi je zatim razmatrana slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu dve η - μ slučajne promenljive. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće. Dobijeni rezultat ima primenu u analizi sistema kod kojih su istovremeno prisutna dva brza η - μ fedinga. U ovom slučaju je amplituda signala jednaka proizvodu dve slučajne promenljive od kojih jedna modeluje jedan η - μ brzi feding, a druga modeluje drugi η - μ brzi feding. Formirana je i slučajna promenljiva koja je jednaka maksimumu dve η - μ slučajne promenljive. Određena je gustina verovatnoće ove slučajne promenljive. Ovaj rezultat se može upotrebiti kod bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste diverziti tehniku sa selektivnim (SC) kombinerom sa dva ulaza na kojima je prisutan η - μ brzi feding za smanjenje uticaja fedinga na performanse sistema, za izračunavanje verovatnoće greške i verovatnoće otkaza sistema. Nakon toga razmatran je minimum dve η - μ slučajne promenljive. Određena je gustina verovatnoće minimuma dve η - μ slučajne promenljive i koristi se za određivanje verovatnoće otkaza ovog sistema kod relejnih sistema sa dve deonice.

U drugom delu ove glave formirana je slučajna promenljiva koja je jednaka kvadratu η - μ slučajne promenljive. Kod telekomunikacionih sistema kvadrat η - μ slučajne promenljive predstavlja srednju snagu signala. Zbog toga je ova slučajna promenljiva veoma važna. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti kvadrata η - μ slučajne promenljive. Zatim je određena srednja vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive, srednja kubna vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive i varijansa kvadrata η - μ slučajne promenljive. Razmatran je i zbir dva kvadrata η - μ slučajne promenljive. Za ovaj zbir u radu je određena gustina verovatnoće. Ovaj rezultat se može primeniti kod bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste diverziti tehniku sa MRC kombinerom sa dva ulaza na kojima je prisutan η - μ feding, za smanjenje uticaja η - μ fedinga na performanse sistema, za izračunavanje verovatnoće greške sistema, verovatnoće otkaza sistema i kapaciteta kanala. Predstavljena je i slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu kvadrata dve η - μ slučajne promenljive i određena je gustina verovatnoće ovog proizvoda. Ovaj rezultat se može koristiti kod relejnih sistema sa dve deonice kod kojih je šum zanemarljiv. Kod ovih sistema snaga na uzlazu jednaka je proizvodu dva kvadrata η - μ slučajne promenljive. Da bismo mogli uraditi analizu bežičnog prijemnika u prisustvu η - μ

fedinga koji radi u interferencijom ograničenoj okolini formirana je slučajna promenljiva koja je jednaka količniku kvadrata dve η - μ slučajne promenljive. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće ovog količnika. I na kraju ovog dela razmatra se slučajna promenljiva koja je jednaka maksimumu dva kvadrata η - μ slučajne promenljive i slučajna promenljiva koja je jednaka minimumu dva kvadrata η - μ slučajne promenljive. Za navedene slučajne promenljive određene su gustine verovatnoće.

U trećem delu ove glave formirana je slučajna promenljiva koja ima α - η - μ raspodelu. Slučajna promenljiva α - η - μ raspodele se dobija stepenovanjem η - μ slučajne promenljive sa $2/\alpha$ [67, 68]. Ova raspodela može da opiše anvelopu signala u nelinearnoj okolini. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti. Određena je i srednja vrednost α - η - μ slučajne promenljive, srednja kvadratna vrednost α - η - μ slučajne promenljive i varijansa α - η - μ slučajne promenljive. Dati su izrazi za gustinu verovatnoće zbira dve α - η - μ slučajne promenljive, proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive, maksimuma dve α - η - μ slučajne promenljive i gustinu verovatnoće minimuma dve α - η - μ slučajne promenljive.

3.1. Statistika prvog reda η - μ slučajne promenljive

η - μ raspodela može biti upotrebljena za opisivanje anvelope signala u sredinama gde se signal prostire po više puteva, gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i signal se prostire pomoću više klastera i snage komponentata u fazi i kvadraturi su različite. Ova raspodela ima dva parametra, η i μ . Parametar η je jednak količniku snaga komponente u fazi i komponente u kvadraturi. Parametar μ određuje broj klastera u propagacionoj okolini. η - μ raspodela je generalna raspodela čijom se transformacijom mogu dobiti i druge raspodele.

Gustina verovatnoće (PDF) η - μ slučajne promenljive je data sledećim izrazom [1]:

$$p_r(r) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_0} \left(\frac{r}{\Omega_0}\right)^{2\mu} \exp\left[-2\mu h \left(\frac{r}{\Omega_0}\right)^2\right] \cdot I_{\mu-\frac{1}{2}}\left[2\mu H \left(\frac{r}{\Omega_0}\right)^2\right] \quad (3.1)$$

gde je [1]:

$$\begin{aligned} \Omega_0 &= \sqrt{\overline{R^2}} \\ \mu &= \frac{\overline{R^2}^2}{2 \text{Var}(R^2)} \left[1 + \left(\frac{H}{h}\right)^2\right] \end{aligned} \quad (3.2)$$

Feding model za η - μ raspodelu razmatra signal sastavljen od klastera višeputajnog talasnog prostiranja u nehomogenoj okolini. Komponenta u fazi signala i komponenta u kvadraturi signala međusobno su nezavisne i različite su snage. Neka je η odnos snaga komponente u fazi i komponente u kvadraturi u svakom klasteru. U tom slučaju je [1]:

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{4} \left(2 + \frac{1}{\eta} + \eta\right) \\ H &= \frac{1}{4} (\eta^{-1} - \eta) \\ \frac{H}{h} &= \frac{1 - \eta}{1 + \eta} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Ako je η korelacioni koeficijent između komponentata u fazi i komponentata u kvadraturi (snage komponentata u fazi i kvadraturi su jednake) onda je [1]:

$$\begin{aligned} H &= \frac{\eta}{1 - \eta^2}; \quad h = \frac{1}{1 - \eta^2} \\ \frac{H}{h} &= \eta \end{aligned} \quad (3.4)$$

Neka je:

$$\frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_0} \cdot \frac{1}{\Omega_0^{2\mu}} = a$$

$$\alpha = \frac{2\mu H}{\Omega_0^2} \quad (3.5)$$

$$b = \frac{\mu H}{\Omega_0^2}$$

Gustina verovatnoće η - μ slučajne promenljive je nakon zamene:

$$p_r(r) = ar^{2\mu} e^{-ar^2} \cdot I_{\mu-\frac{1}{2}}(2br^2), \quad r \geq 0$$

$$p_r(r) = ar^{2\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b^{2i+\mu-\frac{1}{2}} \cdot \frac{r}{i! \left(i + \mu + \frac{1}{2}\right)} \cdot r^{4i+2\mu-1} \quad (3.6)$$

$$= ar^{2\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot r^{4i+2\mu-1}$$

Poznavajući gustinu verovatnoće η - μ slučajne promenljive može da se odredi kumulativna verovatnoća signala (CDF). Ovo je važna karakteristika sistema. Dobija se integracijom gustine verovatnoće. Kumulativna verovatnoća η - μ slučajne promenljive je [69]:

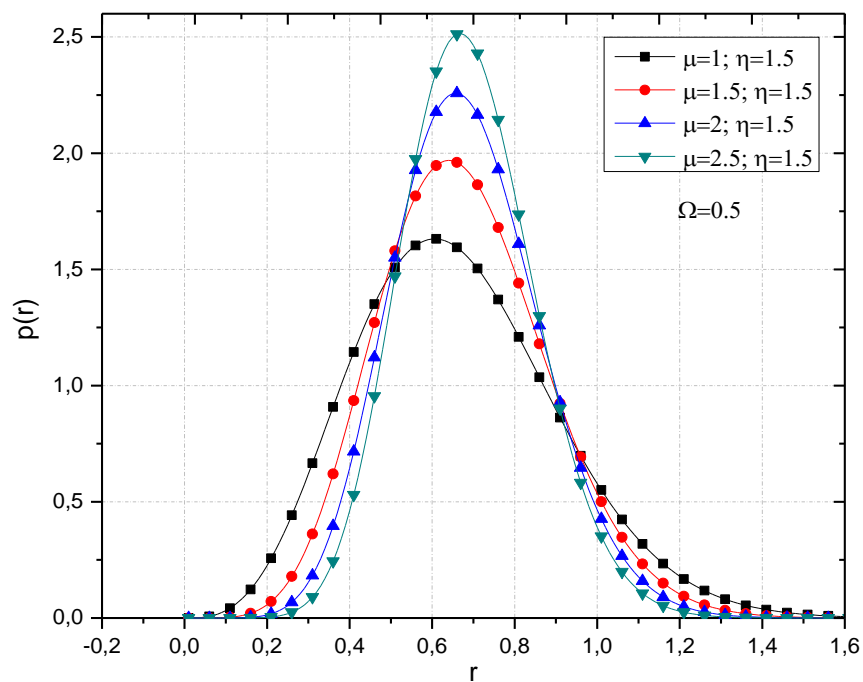
$$F_r(r) = \int_0^r p_r(x) dx = \int_0^r ax^{2\mu} e^{-ax^2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot x^{4i+2\mu-1}$$

$$= a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^r x^{4i+2\mu-1} e^{-ax^2} dx = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i+2\mu} \gamma(2i+2\mu, \alpha r^2) \quad (3.7)$$

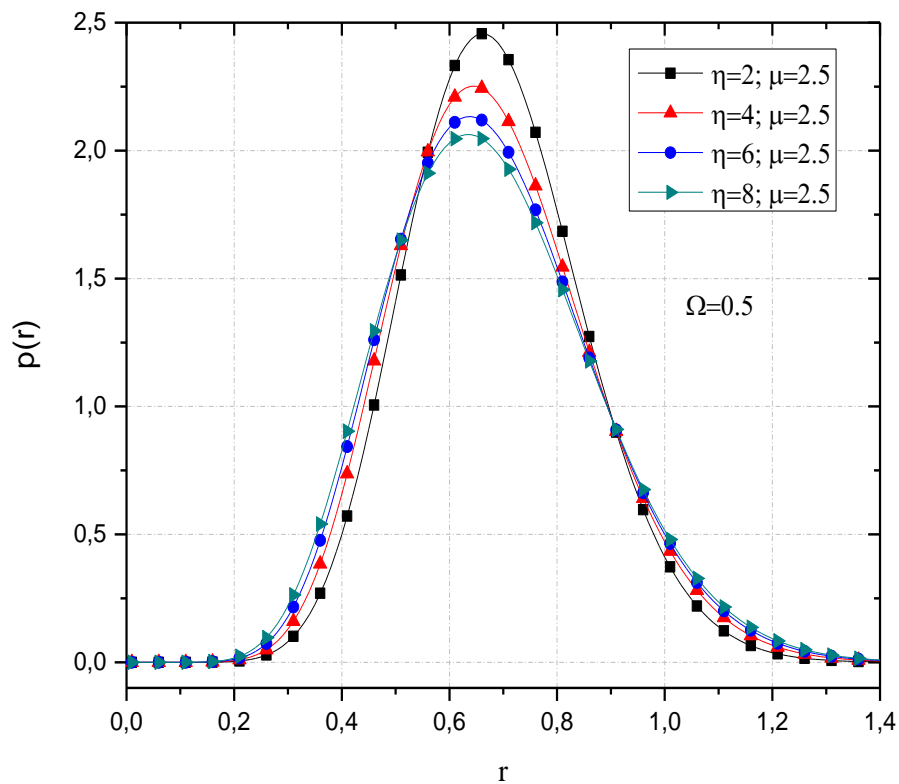
Na osnovu izraza za kumulativnu verovatnoću moguće je za određenu vrednost praga odrediti verovatnoću otkaza sistema (OP – Outage Probability). Verovatnoća otkaza se definiše kao verovatnoća da je signal manji od praga otkaza [5]:

$$P_{out} = \int_0^{x_{th}} f_x(t) dt = F_x(x_{th}) \quad (3.8)$$

Na slikama 3.1 i 3.2 prikazane su krive gustine verovatnoće η - μ raspodele signala za određene vrednosti parametara propagacionog okruženja.

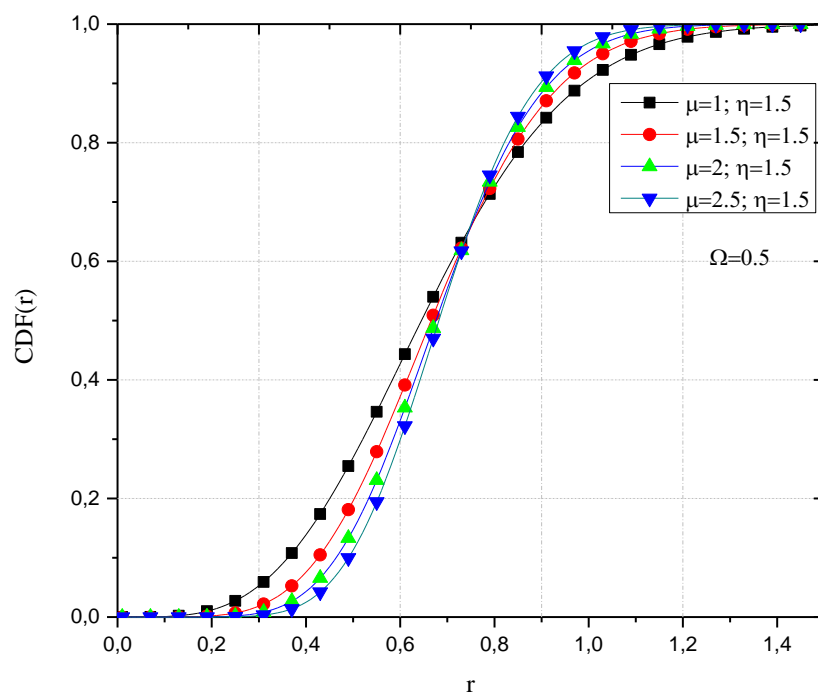


Slika 3.1: Gustina verovatnoće raspodele signala $r(t)$ za različite vrednosti parametra μ .

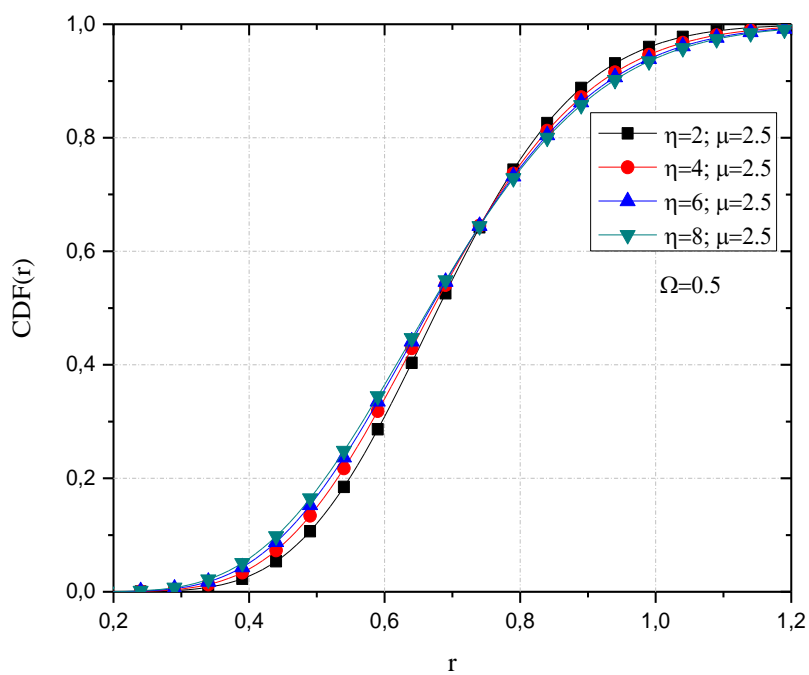


Slika 3.2: Gustina verovatnoće raspodele signala $r(t)$ za različite vrednosti parametra η .

Na slikama 3.3 i 3.4 prikazane su krive funkcije kumulativne raspodele signala za različite vrednosti parametara μ i η .

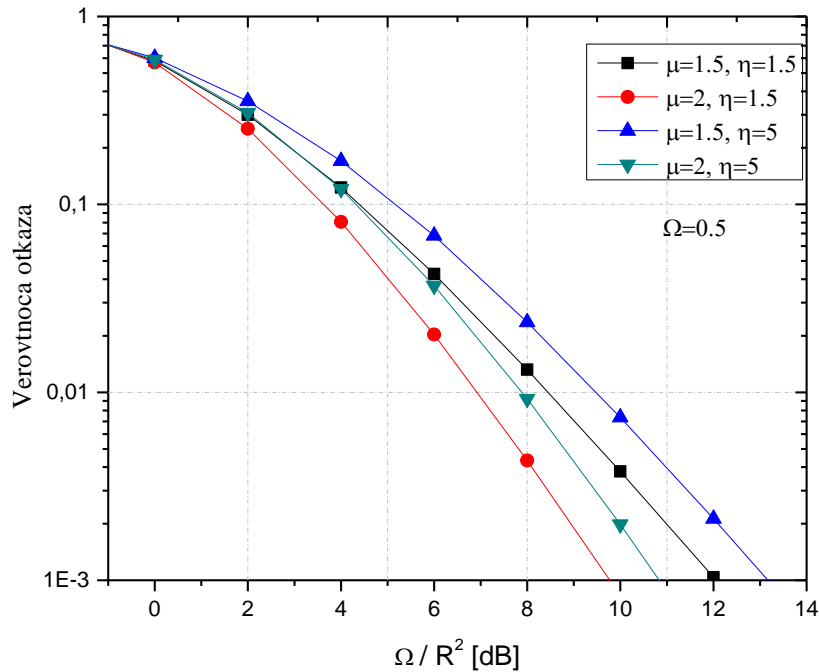


Slika 3.3: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $r(t)$ za različite vrednosti parametra μ



Slika 3.4: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $r(t)$ za različite vrednosti parametra η

Na osnovu izraza za verovatnoću otkaza na slici 3.5, prikazana je verovatnoća otkaza sistema za različite vrednosti parametara propagacionog okruženja. Sa slike se može videti da sa povećanjem parametra μ opada verovatnoća otkaza, dok sa porastom parametra η raste verovatnoća otkaza.



Slika 3.5: Verovatnoća otkaza sistema za različite vrednosti parametara μ i η

Karakteristična funkcija amplitude signala jednaka je srednjoj vrednosti eksponencijalne funkcije amplitude signala [69]:

$$\begin{aligned}
 M_r(s) &= \overline{e^{sr}} = \int_0^{\infty} e^{sr} p_r(r) dr = \int_0^{\infty} dr \sum_{j=1}^{\infty} \frac{s^j r^j}{j!} \cdot ar^{2\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot r^{4i+2\mu-1} \\
 &= a \sum_{j=1}^{\infty} \frac{s^j}{j!} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} dr r^{2i+2\mu+2i+2\mu-1} e^{-ar^2} \\
 &= a \sum_{j=1}^{\infty} \frac{s^j}{j!} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i+2\mu+\frac{j}{2}} \Gamma\left(2i+2\mu+\frac{j}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Moment n -tog reda η - μ slučajne promenljive je [69]:

$$\begin{aligned}
 m_n &= \overline{r^n} = \int_0^{\infty} r^n p_r(r) dr = \int_0^{\infty} dr r^n ar^{2\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot r^{4i+2\mu-1} e^{-ar^2} \\
 &= a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} dr r^{n+4\mu+4i-1} e^{-ar^2} = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a}\right)^{2\mu+2i+\frac{n}{2}} \Gamma\left(2\mu+2i+\frac{n}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Momenti predstavljaju srednje vrednosti koje se često koriste u analizama performansi bežičnih telekomunikacionih sistema. Obični momenti koji imaju veliki značaj u analizi sistema su srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i srednja kubna vrednost signala i predstavljaju važne performanse bežičnog telekomunikacionog sistema.

Srednja vrednost η - μ slučajne promenljive je jednaka [69]:

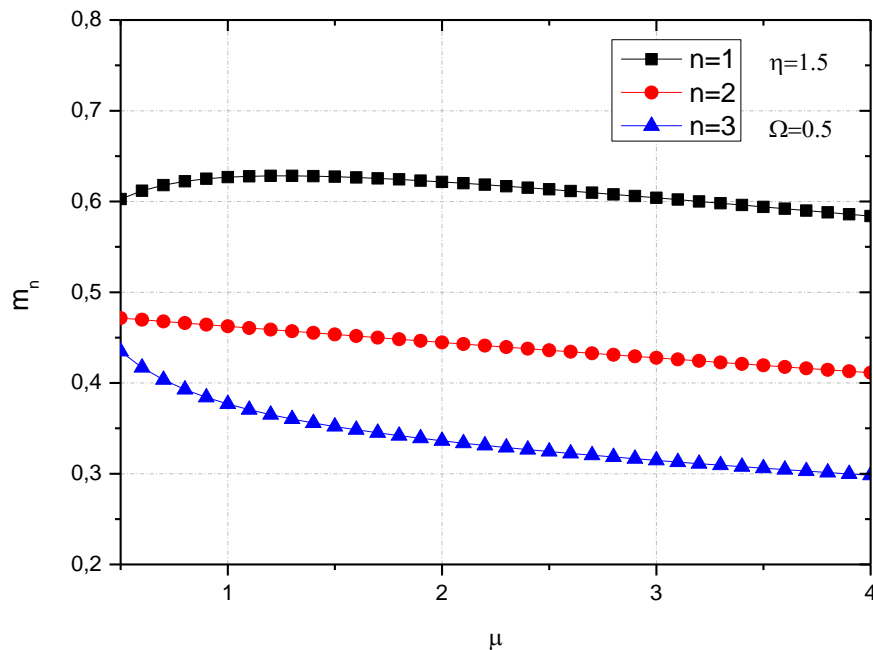
$$m_1 = \bar{r} = \int_0^{\infty} r p_r(r) dr = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+\frac{1}{2}} \Gamma(2\mu + 2i + \frac{1}{2}) \quad (3.11)$$

Srednja kvadratna vrednost η - μ slučajne promenljive je [69]:

$$m_2 = \overline{r^2} = \int_0^{\infty} r^2 p_r(r) dr = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+1} \Gamma(2\mu + 2i + 1) \quad (3.12)$$

Srednja kubna vrednost η - μ slučajne promenljive je [69]:

$$m_3 = \overline{r^3} = \int_0^{\infty} r^3 p_r(r) dr = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+\frac{3}{2}} \Gamma\left(2\mu + 2i + \frac{3}{2}\right) \quad (3.13)$$



Slika 3.6: Momenti signala u zavisnosti od broja klastera μ .

Na slici 3.6, dat je grafički prikaz promene prvog, drugog i trećeg momenta signala u zavisnosti od broja klastera μ . Sa povećanjem parametra μ vrednosti momenata blago opadaju. Pad vrednosti momenata je približno konstantan za sva tri reda momenata. Najviše vrednosti momenata se dobijaju za prvi red momenata, $n=1$

Veoma važan parametar sistema je varijansa sistema. Dobija se na način kada se od srednje kvadratne vrednosti oduzme srednja vrednost na kvadrat i predstavlja drugi centralni moment signala. Varijansa η - μ slučajne promenljive je jednaka [69]:

$$\begin{aligned}\sigma_r^2 &= \mu_2 = \overline{(r - \bar{r})^2} = \overline{r^2 - 2r\bar{r} + \bar{r}^2} = \overline{r^2} - 2\bar{r}^2 + \bar{r}^2 = \overline{r^2} - \bar{r}^2 \\ \sigma_r^2 &= \mu_2 = a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+i+1} \Gamma(2\mu + i + 1) \\ &\quad - \left(a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+\frac{1}{2}} \Gamma\left(2\mu + 2i + \frac{1}{2}\right) \right)^2\end{aligned}\tag{3.14}$$

Relacije između običnih i centralnih momenata su:

$$\begin{aligned}\mu_n &= \overline{(r - \bar{r})^n} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \bar{r}^{n-i} (-\bar{r})^i = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} m_{n-i} (-\bar{r})^i \\ m_n &= \overline{r^n} = \overline{(r - \bar{r} + \bar{r})^n} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \overline{(r - \bar{r})^{n-i}} \bar{r}^i = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \mu_{n-i} \bar{r}^i\end{aligned}\tag{3.15}$$

3.1.1. Neke korisne transformacije η - μ slučajne promenljive

U ovom delu transformacijom η - μ slučajnih promenljivih biće formirane nove slučajne promenljive zbira dve η - μ slučajne promenljive, količnika dve η - μ slučajne promenljive proizvoda dve η - μ slučajne promenljive, maksimuma dve η - μ slučajne promenljive i minimuma dve η - μ slučajne promenljive. Ove novoformirane promenljive nalaze primenu u analizi performansi prijema bežičnih telekomunikacionih sistema za slučajevne upotrebe prostornih diverziteti tehnika.

Neka su r_1 i r_2 η - μ slučajne promenljive sa gustinom verovatnoće:

$$\begin{aligned}p_{r_1}(r_1) &= a e^{-\alpha r_1^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \cdot r_1^{4i_1+4\mu-1}, \quad r_1 \geq 0 \\ p_{r_2}(r_2) &= a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1}, \quad r_2 \geq 0\end{aligned}\tag{3.16}$$

Radi dalje analize performansi bežičnih telekomunikacionih sistema razmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka zbiru dve η - μ slučajne promenljive.

Neka je:

$$\begin{aligned} r &= r_1 + r_2 \\ r_1 &= r - r_2 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Uslovna gustina verovatnoće zbira dve η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r(r/r_2) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r - r_2) \quad (3.18)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \quad (3.19)$$

Gustina verovatnoće zbira dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^r p_{r_1}(r - r_2) p_{r_2}(r_2) dr_2 = \\ &= \int_0^r a e^{\alpha(r-r_2)^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r - r_2)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \alpha e^{\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} r_2^{4i_2+4\mu-1} \\ &= a^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \int_0^r (r - r_2)^{4i_1+4\mu-1} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} e^{-\alpha(r-r_2)^2} e^{-\alpha r_2^2} dr_2 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Prethodni rezultat može da se primeni u analizi performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa dva ulaza na kojima se pojavljuje nezavisan η - μ feding. Ova diverziti tehnika se koristi da se smanji uticaj fedinga na verovatnoću greške sistema. Signal na izlazu iz EGC kombinera jednak je zbiru anvelope signala na ulazima u EGC kombiner.

Odnos anvelope korisnog signala i interferencije kada je interferencija dominantna smetnja u odnosu na Gausov šum je važan parametar bežičnog telekomunikacionog sistema. Iz tog razloga je formirana slučajna promenljiva koja je jednaka količniku dve η - μ slučajne promenljive i određena je gustina verovatnoće ovako dobijene slučajne promenljive. Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji mogu se primeniti za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i kapaciteta kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi preko η - μ feding kanala u prisustvu međukanalne interferencije korumpirane η - μ fedingom. Posmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka količniku dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$r = \frac{r_1}{r_2}, \quad r_1 = r \cdot r_2 \quad (3.21)$$

Uslovna gustina verovatnoće količnika dve η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r(r/r_2) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r \cdot r_2) \quad (3.22)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = r_2 \quad (3.23)$$

zamenom se dobija da je:

$$p_r(r/r_2) = r_2 p_{r_1}(r \cdot r_2) \quad (3.24)$$

Gustina verovatnoće količnika dve η - μ slučajne promenljive je jednaka:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^{\infty} dr_2 r_2 p_{r_1}(r \cdot r_2) p_{r_2}(r_2) = \\ &= \int_0^{\infty} dr_2 r_2 \cdot a e^{-\alpha r^2 r_2^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r \cdot r_2)^{4i_1+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \\ &= a^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_1} b_{1i_2} \cdot r^{4i_1+4\mu-1} \int_0^{\infty} dr_2 r_2^{1+4i_1+4\mu-1+4i_2+4\mu-1} e^{-\alpha r^2(r^2+1)} \\ &= a^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_1} b_{1i_2} \cdot r^{4i_1+4\mu-1} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \frac{1}{(r^2+1)^{2i_1+2i_2+4\mu}} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Dalje je posmatrana slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$r = r_1 \cdot r_2, \quad r_1 = \frac{r}{r_2} \quad (3.26)$$

Uslovna gustina verovatnoće proizvoda dve η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r(r/r_2) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}\left(\frac{r}{r_2}\right) \quad (3.27)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = \frac{1}{r_2} \quad (3.28)$$

Gustina verovatnoće proizvoda dve η - μ slučajne promenljive nakon zamene postaje:

$$p_r(r) = \int_0^{\infty} \frac{1}{r_2} p_{r_1}\left(\frac{r}{r_2}\right) p_{r_2}(r_2) =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{\infty} dr_2 \frac{1}{r_2} \cdot a e^{-\alpha \left(\frac{r}{r_2}\right)^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{r}{r_2}\right)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \alpha e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} r_2^{4i_2+4\mu-1} \\
&= a^2 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} r^{4i_1+4\mu-1} \cdot \int_0^{\infty} dr_2 r_2^{-1-4i_1-4\mu+1+2i_2+4\mu-1} e^{-\frac{\alpha r^2}{r_2^2}-\alpha r_2^2}
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Dobijeni izraz za gustinu verovatnoće može imati primenu u analizi sistema kod kojih su istovremeno prisutna dva brza η - μ fedinga. Tada je amplituda signala jednaka proizvodu dve slučajne promenljive od kojih jedna modeluje jedan η - μ brzi feding, a druga modeluje drugi η - μ brzi feding.

Posmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka maksimumu dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$r = \max(r_1, r_2) \tag{3.30}$$

Gustina verovatnoće maksimuma dve η - μ slučajne promenljive je [70]:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= p_{r_1}(r)F_{r_2}(r) + p_{r_2}(r)F_{r_1}(r) = 2p_{r_1}(r)F_{r_2}(r) = \\
&= 2ar^{2\mu}e^{-\alpha r^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} r^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i+2\mu} \gamma(2i+2\mu, \alpha r^2)
\end{aligned} \tag{3.31}$$

gde $\gamma(a, x)$ predstavlja donju Gama funkciju [71].

Ovaj rezultat se može upotrebiti u analizi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste diverzitetnu tehniku sa selektivnim (SC) kombinerom sa dva ulaza na kojima je prisutan η - μ brzi.

Posmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka minimumu dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$r = \min(r_1, r_2) \tag{3.32}$$

Gustina verovatnoće minimuma dve η - μ slučajne promenljive je [70]:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= p_{r_1}(r) \left(1 - F_{r_2}(r)\right) + p_{r_2}(r) \left(1 - F_{r_1}(r)\right) = 2p_{r_1}(r) \left(1 - F_{r_2}(r)\right) \\
&= 2ar^{2\mu}e^{-\alpha r^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} r^{4i_1+2\mu-1} \cdot \left(1 - \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i+2\mu} \gamma(2i+2\mu, \alpha r^2)\right)
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Primena dobijenog rezultata služi za određivanje verovatnoće otkaza sistema kod relejnih sistema sa dve deonice.

3.2. Statistika prvog reda kvadrata η - μ slučajne promenljive

U ovom delu formiraćemo novu slučajnu promenljivu koja predstavlja kvadrat η - μ slučajne promenljive. Kod telekomunikacionih sistema kvadrat η - μ slučajne promenljive predstavlja srednju snagu signala. Zbog toga je ova slučajna promenljiva veoma važna. Ovakva raspodela nalazi primenu pri estimaciji nekih parametara prenosa u bežičnom telekomunikacionom sistemu.

Neka je:

$$R = r^2; \quad r = R^{\frac{1}{2}} \quad (3.34)$$

Gustina verovatnoće kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$p_R(R) = \left| \frac{dr}{dR} \right| p_r \left(R^{\frac{1}{2}} \right) \quad (3.35)$$

gde je:

$$\frac{dr}{dR} = \frac{1}{2} R^{-\frac{1}{2}} \quad (3.36)$$

Posle zamene dobija se da je gustina verovatnoće kvadrata η - μ slučajne promenljive:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= \frac{1}{2} R^{-\frac{1}{2}} \cdot a \left(R^{\frac{1}{2}} \right)^{2\mu} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{\mu+2i_1-\frac{1}{2}} = \\ &= \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1}, \quad R \geq 0 \end{aligned} \quad (3.37)$$

Kumulativna verovatnoća kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} F_R(R) &= \int_0^R p_R(x) dx = \int_0^R dx \frac{a}{2} e^{-\alpha x} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} x^{2\mu+2i_1-1} \\ &= \frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \int_0^R x^{2\mu+2i_1-1} e^{-\alpha x} dx = \frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{1}{\alpha} \right)^{2\mu+2i_1} \gamma(2\mu + 2i_1, \alpha R) \end{aligned} \quad (3.38)$$

Karakteristična funkcija kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \overline{e^{Rs}} = \int_0^{\infty} e^{Rs} p_R(R) dR = \int_0^{\infty} e^{Rs} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} R^{2\mu+i-1} dR \\ &= \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} dR R^{2\mu+i-1} e^{-R(\alpha-s)} = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha-s} \right)^{2\mu+i} \Gamma(2\mu + i) \end{aligned} \quad (3.39)$$

Moment kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} m_n = \overline{R^n} &= \int_0^{\infty} R^n p_R(R) dR = \int_0^{\infty} R^n \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} R^{2\mu+2i-1} dR \\ &= \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \int_0^{\infty} dR R^{2\mu+2i+n-1} e^{-\alpha R} = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+n} \Gamma(2\mu + 2i + n) \end{aligned} \quad (3.40)$$

Srednja vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\bar{R} = m_1 = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+1} \Gamma(2\mu + 2i + 1) \quad (3.41)$$

Srednja kvadratna vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} \overline{R^2} = m_2 &= \int_0^{\infty} R^2 p_R(R) dR = \int_0^{\infty} R^2 \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} R^{2\mu+2i-1} dR \\ &= \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} R^{2\mu+2i+1} e^{-\alpha R} dR = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+2} \Gamma(2\mu + 2i + 2) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Srednja kubna vrednost kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} \overline{R^3} = m_3 &= \int_0^{\infty} R^3 p_R(R) dR = \int_0^{\infty} R^3 \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} R^{2\mu+2i-1} dR \\ &= \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} R^{2\mu+2i+2} e^{-\alpha R} dR = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+3} \Gamma(2\mu + 2i + 3) \end{aligned} \quad (3.43)$$

Varijansa kvadrata η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} \mu_2 = \sigma_R^2 &= \overline{(R - \bar{R})^2} = \overline{R^2 - 2R\bar{R} + \bar{R}^2} = \overline{R^2} - 2R\bar{R} + \bar{R}^2 = \\ &= \overline{R^2} - \bar{R}^2 = \left(\frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+2} \Gamma(2\mu + 2i + 2) \right) \\ &\quad - \left(\frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i+1} \Gamma(2\mu + 2i + 1) \right)^2 \end{aligned} \quad (3.44)$$

3.2.1. Neke transformacije kvadrata η - μ slučajne promenljive

U ovom delu transformacijom raspodele kvadrata η - μ slučajne promenljive, čije su karakteristike analizirane u prethodnom delu, biće formirane nove slučajne promenljive zbira

kvadrata dve η - μ slučajne promenljive, proizvoda kvadrata dve η - μ slučajne promenljive, maksimuma kvadrata dve η - μ slučajne promenljive i minimuma kvadrata dve η - μ slučajne promenljive. Ove novoformirane promenljive nalaze primenu u analizi performansi prijema bežičnih telekomunikacionih sistema za slučajeve upotrebe prostornih diverziti tehnika.

Posmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka zbiru kvadrata dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 \\ R_1 &= R - R_2 \end{aligned} \quad (3.45)$$

Uslovna gustina verovatnoće zbira kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = \left|\frac{dR_1}{dR}\right| p_{R_1}(R - R_2) \quad (3.46)$$

gde je:

$$\frac{dR_1}{dR} = 1 \quad (3.47)$$

Nakon zamene, uslovna gustina verovatnoće zbira kvadrata dve η - μ slučajne promenljive postaje:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = p_{R_1}(R - R_2) \quad (3.48)$$

Gustina verovatnoće zbira kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= \int_0^R dR_2 p_{R_1}(R - R_2) p_{R_2}(R_2) = \\ &= \int_0^R dR_2 \frac{a}{2} e^{-\alpha(R-R_2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (R - R_2)^{2\mu+2i_1+1} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} R_2^{2\mu+2i_2+1} \\ &= \frac{a^2}{4} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \int_0^R (R - R_2)^{2\mu+2i_1+1} R_2^{2\mu+2i_2+1} dR_2 \\ &= \frac{a^2}{4} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \int_0^R \sum_{k=0}^{2\mu+2i_1+1} \binom{2\mu+2i_1+1}{k} R^{2\mu+2i_1+1-k} (-1)^k R_2^k \\ &\quad \cdot R_2^{2\mu+2i_2+1} dR_2 \\ &= \frac{a^2}{4} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \sum_{k=0}^{2\mu+2i_1+1} \binom{2\mu+2i_1+1}{k} R^{2\mu+2i_2+1-k} (-1)^k \int_0^R R_2^{k+2\mu+2i_2-1} dR_2 \\ &= \frac{a^2}{4} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \sum_{k=0}^{2\mu+2i_1+1} \binom{2\mu+2i_1+1}{k} (-1)^k R^{2\mu+2i_2+1-k} \\ &\quad \cdot \frac{1}{k+2\mu+i_2} R^{k+2\mu+2i_2} \end{aligned} \quad (3.49)$$

Dobijeni izraz za gustinu verovatnoće zbira kvadrata dve η - μ slučajne promenljive može se upotrebiti u analizi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste diverziti tehniku sa MRC kombinerom sa dva ulaza na kojima je prisutan η - μ feding. Uz pomoć gore navedene gustine verovatnoće moguće je odrediti verovatnoću greške sistema, verovatnoću otkaza i kapacitet kanala.

Karakteristike slučajne promenljive koja je jednaka proizvodu kvadrata dve η - μ slučajne promenljive su bitne u analizi relejnih sistema sa dve deonice kod kojih je šum zanemarljiv. Kod ovih sistema snaga na uzlazu jednaka je proizvodu dva kvadrata η - μ slučajne promenljive.

Neka je:

$$\begin{aligned} R &= R_1 R_2 \\ R_1 &= \frac{R}{R_2} \end{aligned} \quad (3.50)$$

Uslovna gustina verovatnoće proizvoda kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = \left|\frac{dR_1}{dR}\right| p_{R_1}\left(\frac{R}{R_2}\right) \quad (3.51)$$

gde je:

$$\frac{dR_1}{dR} = \frac{1}{R_2} \quad (3.52)$$

Nakon zamene uslovna gustina verovatnoće proizvoda kvadrata dve η - μ slučajne promenljive postaje:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = \frac{1}{R_2} p_{R_1}\left(\frac{R}{R_2}\right) \quad (3.53)$$

Gustina verovatnoće proizvoda kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= \int_0^{\infty} dR_2 \frac{1}{R_2} p_{R_1}\left(\frac{R}{R_2}\right) p_{R_2}(R_2) = \\ &= \int_0^{\infty} dR_2 \frac{1}{R_2} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha \frac{R}{R_2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{R}{R_2}\right)^{2\mu+2i_1-1} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} R_2^{2\mu+2i_2-1} \\ &= \frac{a^2}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} R^{2\mu+2i_1-1} \int_0^{\infty} dR_2 R_2^{-1-2\mu-2i_1+1+2\mu+2i_2-1} e^{-\alpha R_2} \\ &= \frac{a^2}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{i_2-i_1} \Gamma(i_2-i_1) \end{aligned} \quad (3.54)$$

Posmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka količniku kvadrata dve η - μ slučajne promenljive. Neka je:

$$R = \frac{R_1}{R_2} \quad (3.55)$$

$$R_1 = R \cdot R_2$$

Uslovna gustina verovatnoće od R je:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = \left|\frac{dR_1}{dR}\right| p_{R_1}(R \cdot R_2) \quad (3.56)$$

gde je:

$$\frac{dR_1}{dR} = R_2 \quad (3.57)$$

Zamenom se dobija:

$$p_R\left(\frac{R}{R_2}\right) = R_2 p_{R_1}(R \cdot R_2) \quad (3.58)$$

Gustina verovatnoće od R je data izrazom:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= \int_0^{\infty} dR_2 R_2 p_{R_1}(R \cdot R_2) p_{R_2}(R_2) \\ &= \int_0^{\infty} dR_2 R_2 \frac{a}{2} e^{-\alpha R \cdot R_2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (R \cdot R_2)^{2\mu+2i_1-1} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} R_2^{2\mu+2i_2-1} \\ &= \frac{a^2}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \int_0^{\infty} dR_2 R_2^{1+2\mu+2i_1-1+2\mu+2i_2-1} e^{-\alpha R_2} \\ &= \frac{a^2}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \int_0^{\infty} dR_2 R_2^{4\mu+2i_1+2i_2-1} e^{-\alpha R_2} \\ &= \frac{a^2}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{4\mu+2i_1+2i_2} \Gamma(4\mu + 2i_1 + 2i_2) \end{aligned} \quad (3.59)$$

U cilju dalje analize formiraćemo slučajne promenljive koje su jednake maksimumu kvadrata dve η - μ slučajne promenljive i minimumu kvadrata dve η - μ slučajne promenljive.

Neka je:

$$R = \max(R_1, R_2) \quad (3.60)$$

Gustina verovatnoće maksimuma kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= p_{R_1}(R) F_{R_2}(R) + p_{R_2}(R) F_{R_1}(R) = 2p_{R_1}(R) F_{R_2}(R) \\ &= 2 \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i_1} \gamma(2\mu + 2i_1, \alpha R) \end{aligned} \quad (3.61)$$

Slučajna promenljiva koja je jednaka minimumu kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$R = \min(R_1, R_2) \quad (3.62)$$

Gustina verovatnoće minimuma kvadrata dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_R(R) &= p_{R_1}(R) (1 - F_{R_2}(R)) + p_{R_2}(R) (1 - F_{R_1}(R)) = 2p_{R_1}(R) (1 - F_{R_2}(R)) \\ &= 2 \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha R} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} R^{2\mu+2i_1-1} \cdot \left(1 - \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu+2i_2} \gamma(2\mu + 2i_1, \alpha R) \right) \end{aligned} \quad (3.63)$$

3.3. Statistika prvog reda α - η - μ slučajne promenljive

Transformacijom raspodele η - μ slučajne promenljive moguće je formirati novu raspodelu slučajne promenljive, α - η - μ . Ova slučajna promenljiva se dobija stepenovanjem η - μ slučajne promenljive sa $2/\alpha$. Ova raspodela se može koristiti za opisivanje anvelope signala u nelinearnim sredinama kada se signal prostire po više puteva, gde ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika i gde su snage komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi različite. Ovu raspodelu karakterišu tri parametra. Parametar α zavisi od nelinearnosti sredine, parametar η predstavlja odnos snage komponenta u fazi i komponenta u kvadraturi, a parametar μ određuje broj klastera u propagacionoj okolini.

Neka je:

$$\begin{aligned} z &= r \frac{2}{\alpha} \\ r &= z \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \quad (3.64)$$

Gustina verovatnoće α - η - μ slučajne promenljive je:

$$p_z(z) = \left| \frac{dr}{dz} \right| p_r \left(\frac{\alpha}{2} z \right) \quad (3.65)$$

gde je:

$$\frac{dr}{dz} = \frac{\alpha}{2} z^{\frac{\alpha}{2}-1} \quad (3.66)$$

zamenom se dobija:

$$p_z(z) = \frac{\alpha}{2} z^{\frac{\alpha}{2}-1} p_r \left(\frac{\alpha}{2} z \right) \quad (3.67)$$

Gustina verovatnoće α - η - μ slučajne promenljive sada dobija oblik:

$$p_z(z) = \frac{\alpha}{2} z^{\frac{\alpha}{2}-1} \cdot \frac{a}{2} e^{-\alpha_1 z^\alpha} z^{\alpha\mu} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{\alpha(2i+\mu-\frac{1}{2})} = \frac{\alpha a}{4} e^{-\alpha_1 z^\alpha} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha i+2\alpha\mu-1} \quad (3.68)$$

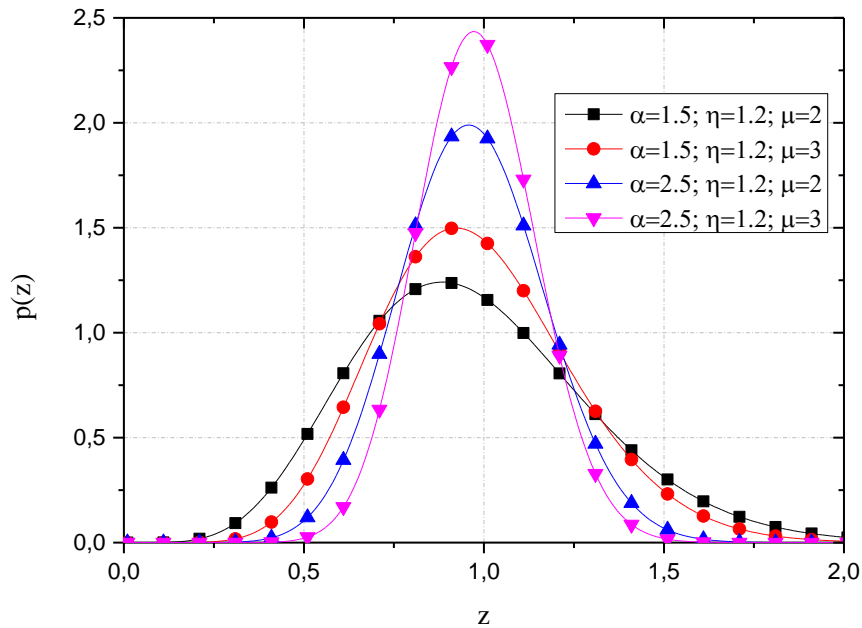
Kumulativna verovatnoća α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} F_z(z) &= \int_0^z p_z(x) dx = \int_0^z \frac{\alpha a}{4} e^{-\alpha_1 x} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} x^{2\alpha i+2\alpha\mu-1} dx \\ &= \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^z x^{2\alpha i+2\alpha\mu-1} e^{-\alpha_1 x} dx = \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2i+2\mu} \gamma(2i+2\mu, \alpha_1 z) \end{aligned} \quad (3.69)$$

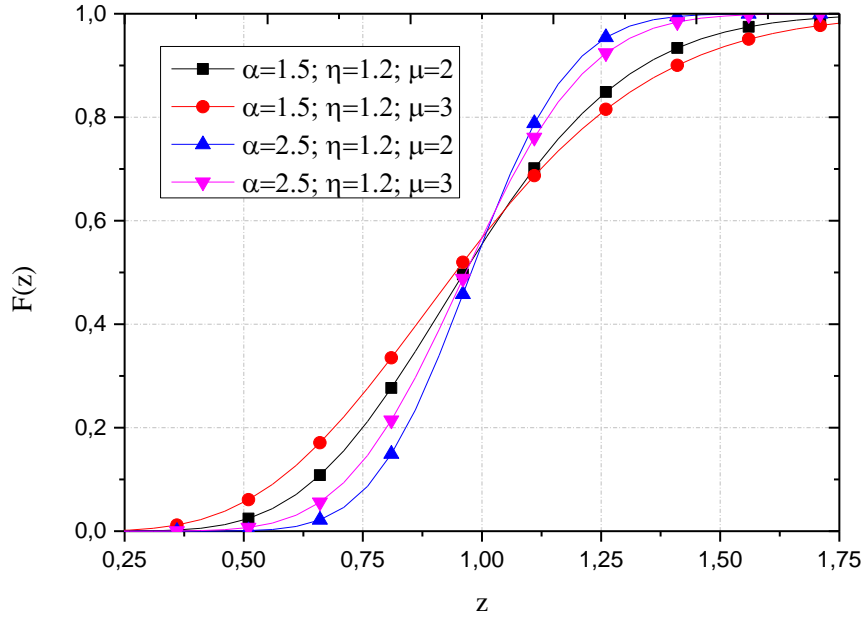
Karakteristična funkcija α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} M_z(s) &= \overline{e^{zs}} = \int_0^{\infty} e^{zs} p_z(z) dz = \int_0^{\infty} e^{zs} \cdot \frac{\alpha a}{4} e^{-\alpha_1 z} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1} dz = \\ &= \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1} e^{-z(\alpha_1-s)} dz = \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1-s}\right)^{2\mu+2i} \Gamma(2\mu+2i) \end{aligned} \quad (3.70)$$

Na slici 3.7 prikazana je kriva gustine verovatnoće α - η - μ raspodele signala za određene vrednosti parametara propagacionog okruženja, a na slici 3.8 prikazane su krive funkcije kumulativne α - η - μ raspodele slučajnog procesa za određene vrednosti parametara propagacionog okruženja.



Slika 3.7: Gustina verovatnoće raspodele signala $z(t)$ za različite vrednosti parametra α i μ .



Slika 3.8: Kumulativna funkcija raspodele slučajnog procesa $z(t)$ za različite vrednosti parametra μ i α .

Moment n -tog reda α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
 m_n = \bar{z}^n &= \int_0^{\infty} z^n p_z(z) dz = \int_0^{\infty} z^n \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1} e^{-\alpha_1 z} dz = \\
 &= \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} dz z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1+n} e^{-\alpha_1 z} = \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{n}{\alpha}} \Gamma\left(2\mu+2i+\frac{n}{\alpha}\right)
 \end{aligned} \tag{3.71}$$

Srednja vrednost α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
 m_1 = \bar{z} &= \int_0^{\infty} z p_z(z) dz = \int_0^{\infty} z \frac{\alpha a}{4} e^{-\alpha_1 z} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1} dz \\
 &= \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} z^{2\alpha\mu+2\alpha i} e^{-\alpha_1 z} dz = \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{1}{2}} \Gamma\left(2\mu+2i+\frac{1}{\alpha}\right)
 \end{aligned} \tag{3.72}$$

Srednja kvadratna vrednost α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
 m_2 = \bar{z}^2 &= \int_0^{\infty} z^2 p_z(z) dz = \int_0^{\infty} z^2 \frac{\alpha a}{4} e^{-\alpha_1 z} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha\mu+2\alpha i-1} dz \\
 &= \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} dz z^{2\alpha\mu+2\alpha i+1} e^{-\alpha_1 z} = \frac{\alpha a}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{2}{\alpha}} \Gamma\left(2\mu+2i+\frac{2}{\alpha}\right)
 \end{aligned} \tag{3.73}$$

Srednja kubna vrednost α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} m_3 &= \overline{z^3} = \int_0^{\infty} z^3 p_z(z) dz = \int_0^{\infty} z^3 \frac{a\alpha}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} z^{2\alpha\mu+2ai-1} e^{-\alpha_1 z} dz \\ &= \frac{a\alpha}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \int_0^{\infty} z^{2\alpha\mu+2ai+2} e^{-\alpha_1 z} dz = \frac{a\alpha}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{3}{\alpha}} \Gamma\left(2\mu + 2i + \frac{3}{\alpha}\right) \end{aligned} \quad (3.74)$$

Varijansa α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} \sigma_z^2 &= \mu_z = m_2 - m_1^2 = \overline{z^2} - \overline{z}^2 \\ &= \frac{a\alpha}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{2}{\alpha}} \Gamma\left(2\mu + 2i + \frac{2}{\alpha}\right) - \left(\frac{a\alpha}{4} \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{2\mu+2i+\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(2\mu + 2i + \frac{1}{\alpha}\right)\right)^2 \end{aligned} \quad (3.75)$$

U ovom delu transformacijom α - η - μ slučajnih promenljivih biće formirane nove slučajne promenljive zbira dve α - η - μ slučajne promenljive, proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive, maksimuma dve α - η - μ slučajne promenljive i minimuma dve α - η - μ slučajne promenljive. Ove novoformirane promenljive nalaze primenu u analizi performansi prijema bežičnih telekomunikacionih sistema za slučajeve upotrebe prostornih diverziteti tehnika, kada se prenos vrši u nelinearnom fading okruženju.

Zbir dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 \\ z_1 &= z - z_2 \end{aligned} \quad (3.76)$$

Uslovna gustina verovatnoće od zbira dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$p_z(z/z_2) = \left| \frac{dz_1}{dz} \right| p_{z_1}(z - z_2) \quad (3.77)$$

gde je:

$$\frac{dz_1}{dz} = 1 \quad (3.78)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/z_2) = p_{z_1}(z - z_2) \quad (3.79)$$

Gustina verovatnoće od z je:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= \int_0^z p_{z_1}(z - z_2) p_{z_2}(z_2) dz_2 = \\ &= \int_0^z dz_2 \frac{a\alpha}{4} e^{-\alpha_1(z-z_2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (z - z_2)^{2\alpha\mu+2ai_1-1} \cdot \frac{a\alpha}{4} e^{-\alpha_1 z_2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} z_2^{2\alpha\mu+2ai_2-1} \end{aligned} \quad (3.80)$$

Proizvod dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} z &= z_1 z_2 \\ z_1 &= \frac{z}{z_2} \end{aligned} \quad (3.81)$$

Uslovna gustina verovatnoće proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$p_z(z/z_2) = \left| \frac{dz_1}{dz} \right| p_{z_1} \left(\frac{z}{z_2} \right) \quad (3.82)$$

gde je:

$$\frac{dz_1}{dz} = \frac{1}{z_2} \quad (3.83)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/z_2) = \frac{1}{z_2} p_{z_1} \left(\frac{z}{z_2} \right) \quad (3.84)$$

Gustina verovatnoće proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= \int_0^\infty dz_2 \frac{1}{z_2} p_{z_1} \left(\frac{z}{z_2} \right) p_{z_2}(z_2) = \int_0^\infty dz_2 \frac{1}{z_2} \frac{a\alpha}{4} e^{-\alpha_1 \left(\frac{z}{z_2} \right)^\alpha} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \left(\frac{z}{z_2} \right)^{\alpha\mu+2\alpha i_1-1} \\ &\cdot \frac{a\alpha}{4} e^{-\alpha_1 z_2^\alpha} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} z_2^{\alpha\mu+2\alpha i_2-1} = \frac{a^2 \alpha^2}{16} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} z^{\alpha\mu+2\alpha i_1-1} \\ &\cdot \int_0^\infty z_2^{\alpha\mu+2\alpha i_1-1-\alpha\mu-2\alpha i_2+1} e^{-\alpha_1 \frac{z^\alpha}{z_2^\alpha} - \alpha_1 z_2^\alpha} dz_2 \\ &= \frac{a^2 \alpha^2}{16} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} z^{\alpha\mu+2\alpha i_1-1} \cdot \int_0^\infty z_2^{\alpha(i_1-i_2)} e^{-\frac{\alpha z^\alpha}{z_2^\alpha} - \alpha z_2^\alpha} dz_2 \end{aligned} \quad (3.85)$$

Transformacijom slučajnih promenljivih:

$$\begin{aligned} z_2^\alpha &= t, \quad z_2^{\alpha-1} dz_2 = dt, \quad z_2 = t^{\frac{1}{\alpha}} \\ dz_2 &= \frac{1}{\alpha} t^{\frac{1}{\alpha}-1} dt \end{aligned} \quad (3.86)$$

dobija se:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= \frac{a^2 \alpha^2}{16} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^\infty b_{2i_2} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \cdot \int_0^\infty t^{i_1-i_2} e^{-\frac{\alpha z^\alpha}{t} - at} \frac{1}{\alpha} t^{\frac{1}{\alpha}-1} dt \\ &= \frac{a^2 \alpha^2}{16} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^\infty b_{2i_2} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \cdot \int_0^\infty t^{i_1-i_2+\frac{1}{\alpha}-1} e^{-\frac{\alpha z^\alpha}{t} - at} dt = \end{aligned}$$

$$= \frac{\alpha a^2}{16} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \cdot \left(\frac{\alpha z^\alpha}{\alpha}\right)^{\left(i_1-i_2+\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}} K_{i_1-i_2+\frac{1}{\alpha}}\left((\alpha^2 z^\alpha)^{\frac{1}{2}}\right) \quad (3.87)$$

gde $K_\nu(x)$ predstavlja modifikovanu Besselovu funkciju druge vrste reda ν [72].

Maksimum dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$z = \max(z_1, z_2) \quad (3.88)$$

Gustina verovatnoće maksimuma dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) + p_{z_2}(z)F_{z_1}(z) \\ &= \frac{2a\alpha}{4} e^{-\alpha_1 z^\alpha} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \cdot \frac{a\alpha}{4} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \int_0^z x^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} e^{-\alpha_1 x^\alpha} dx \\ &= \frac{a\alpha}{2} e^{-\alpha_1 z^\alpha} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \cdot \frac{a\alpha}{4} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{\mu+i_1} \gamma(\mu + i_1, \alpha_1 z^\alpha) \end{aligned} \quad (3.89)$$

Minimum dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$z = \min(z_1, z_2) \quad (3.90)$$

Gustina verovatnoće minimuma dve α - η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= p_{z_1}(z) \left(1 - F_{z_2}(z)\right) + p_{z_2}(z) \left(1 - F_{z_1}(z)\right) \\ &= 2p_z(z) \left(1 - F_{z_2}(z)\right) = \frac{a\alpha}{2} e^{-\alpha_1 z^\alpha} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{\alpha\mu+\alpha i_1-1} \\ &\cdot \left(1 - \frac{a\alpha}{4} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^{\mu+i_1} \gamma(\mu + i_1, \alpha_1 z^\alpha)\right) \end{aligned} \quad (3.91)$$

4. ANALIZA PERFORMANSI DIVERZITI PRIJEMA SIGNALA U η - μ FEDING OKRUŽENJU PRIMENOM TRANSFORMACIJE η - μ SLUČAJNIH PROMENLJIVIH

U cilju analize performansi u η - μ feding okruženju u ovoj glavi razmatrane su tri η - μ slučajne promenljive. Formirana je slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru tri η - μ slučajne promenljive. Određena je gustina verovatnoće ove slučajne promenljive. Ovaj rezultat se može upotrebiti za određivanje verovatnoće greške prijemnika koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa tri ulaza na kojima se pojavljuje η - μ feding za smanjenje uticaja fedinga na performanse sistema. Slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru tri kvadrata η - μ slučajne promenljive je određena i data je gustina verovatnoće ove slučajne promenljive. Ovaj rezultat može da se primeni za određivanje performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverziti tehniku sa MRC kombinerom sa tri ulaza na kojima se pojavljuje η - μ feding da se smanji uticaj ovog fedinga na performanse sistema. U ovoj glavi je razmatrana i slučajna promenljiva koja je jednaka proizvodu tri η - μ slučajne promenljive. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće. Na osnovu dobijenog izraza za gustinu verovatnoće mogu se odrediti performanse prijemnika na koji imaju uticaj tri brza fedinga pri čemu je ekvivalentna amplituda jednaka proizvodu tri η - μ slučajne promenljive. Svaka od ove tri slučajne promenljive modelira po jedan η - μ brzi feding. Zatim je formirana slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru jedne η - μ slučajne promenljive i količnika dve η - μ slučajne promenljive i određena je njena gustina verovatnoće. Ovaj rezultat može da se primeni za određivanje verovatnoće greške bežičnog prijemnika koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa dva ulaza za smanjenje uticaja brzog η - μ fedinga i interferencije na performanse sistema. Na jednom ulazu u EGC kombiner prisutan je korisni signal izložen η - μ fedingu, a na drugom ulazu pojavljuje se korisni signal izložen η - μ fedingu i međukanalna interferencija izložena η - μ fedingu. Za ovakav kombiner signal na izlazu je jednak zbiru jedne η - μ slučajne promenljive i količnika dve η - μ slučajne promenljive. Slučajna promenljiva koja je jednaka količniku zbira dve η - μ slučajne promenljive i kvadrata jedne η - μ slučajne promenljive je takođe razmatrana. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće. Analizirana je i slučajna promenljiva koja je jednaka količniku jedne η - μ slučajne promenljive i proizvoda dve η - μ slučajne promenljive i određena je gustina verovatnoće. Ovaj rezultat ima primenu kod bežičnih telekomunikacionih sistema kod koga su prisutni korisni signal i intereferencija. Korisni signal je izložen uticaju η - μ fedinga. Signal

interferencije je izložen uticaju kaskadnog η - μ fedinga tako da se amplituda interferencije može izraziti kao proizvod dve η - μ slučajne promenljive.

Potom je razmatrana slučajna promenljiva koja je jednaka količniku proizvoda dve η - μ slučajne promenljive i jedne η - μ slučajne promenljive. Za ovu slučajnu promenljivu određena je gustina verovatnoće. Ovaj rezultat se može primeniti kod analize bežičnog prijemnika kada su prisutni korisni signal i interferencija. Interferencija je izložena uticaju brzog η - μ fedinga. Korisni signal je izložen uticaju kaskadnog η - μ fedinga. Raznim transformacijama tri η - μ slučajne promenljive dobijene su i druge slučajne promenljive i za njih su dati izrazi za gustinu verovatnoće.

Na kraju ovog dela prikazana je slučajna promenljiva koja je jednaka maksimumu tri slučajne promenljive. Predstavljen je izraz za gustinu verovatnoće na osnovu koje se može odrediti kumulativna verovatnoća. Dobijeni rezultat ima značaj u analizi bežičnih telekomunikacionih sistema koji koriste diverziti tehniku sa selektivnim kombinerom sa tri ulaza na kojima je prisutan η - μ .

Na osnovu navedenih transformacija slučajnih promenljivih izvršena je procena performansi prenosa signala u η - μ feding okruženju.

Procene performansi signala na prijemu za slučajne primene diverziti tehnika biće analizirane na osnovu gore navedenih transformacija η - μ slučajnih promenljivih, preko standardnih mera performansi signala kao što su verovatnoća otkaza, srednja verovatnoća greške po bitu za posmatrani modulacioni format prenosa i kapacitet kanala.

Verovatnoća otkaza (OP - Outage Probability, P_{out}) predstavlja standardnu meru performansi diverziti prijema u feding okruženju. Poznavanje ove karakteristike je od ogromnog značaja prilikom dizajniranja parametara bežičnih komunikacionih sistema, u cilju zadovoljenja zahteva, koji su definisani standardima QoS i GoS (QoS - Quality of Service, GoS - Grade of Service). Verovatnoća otkaza se definiše u odnosu na statistiku signala na prijemu, kao verovatnoća da vrednost odnosa SNR-a na prijemu, x , bude ispod vrednosti unapred definisanog praga prekida, x_{th} , nazvanog i nivo zaštite. Ako je unapred poznata kumulativna raspodela za x onda se verovatnoća otkaza može izračunati na osnovu [5, 66, 73, 74]:

$$P_{out} = \int_0^{x_{th}} f_x(t) dt = F_x(x_{th}) \quad (4.1)$$

Verovatnoća otkaza se u sistemima u kojima je interferencija dominantna smetnja, definiše kao verovatnoća da vrednost posmatranog odnosa signal-interferencija (SIR) na prijemu padne ispod određene granične vrednosti praga γ_{th} [75, 76].

Ukoliko je poznata verovatnoća otkaza može se odrediti oblast pokrivanja (oblast rada, coverage area) celularnog sistema i minimalna distanca između dve bazne stanice za koju je moguća ponovna upotrebe frekventnog područja. Minimalna distanca ponovne upotrebe frekventnog područja se takođe naziva i redukcioni faktor ko-kanalne interferencije (CCI reduction factor), a primenjuje se u spektralnoj analizi sistema kao i prilikom definisanja obrasca na osnovu koga će se odabirati frekventna područja za ponovno korišćenje. Oblast pokrivanja celularnog sistema, predstavlja oblast u kojoj je zagarantovano da verovatnoća otkaza uzima manje vrednosti od definisane granične vrednosti praga [77].

Mera performansi, koja na najbolji način opisuje prirodu ponašanja bežičnog komunikacionog sistema je srednja verovatnoća greške po simbolu (Average symbol error probability, ASEP, average symbol error rate, ASER). Ako je broj bita koji se koristi za kodovanje pojedinačnog simbola pri njegovom prenosu jednak broju 2 (odnosno simboli 0 i 1), tada je ova mera performansi ekvivalentna srednjoj verovatnoći greške po bitu (Average bit error probability, ABEP, average bit error rate, ABER). U suprotnom, ukoliko želimo da odredimo vrednosti ABER, potrebno je energiju po simbolu prenosa pretvoriti u odgovarajuću energiju po bitu prenosa. ASEP vrednosti se dobijaju na osnovu relacija koje definišu uslovne verovatnoće greške po simbolu (SEP), koje se posmatraju u zavisnosti od fading okruženja u kome se odvija komunikacija. Naime, ako se uslovna SEP označi sa $P_s(e|x)$, onda se usrednjavanjem po odnosu SNR, ASEP određuje na osnovu [5, 66, 78,79]:

$$\bar{P}_e = \int_0^{\infty} P_s(e|x) f_x(x) dx \quad (4.2)$$

Uslovne SEP predstavljaju funkcije trenutnih vrednosti odnosa SNR-a, a funkcionalna zavisnost je određena tipom modulacionog formata kojim se vrši prenos. Vrednosti SEP za nekoliko najpoznatijih modulacionih formata su prikazane u Tabeli 1, gde $erfc(x)$ označava komplementarnu funkciju greške [80, 81, 82, 83]:

Tabela 1: Vrednosti verovatnoće greške za neke modulacione formate

Modulacioni format (Modulation scheme)	Uslovna verovatnoća greške $P_s(e x)$ (Conditional SEP)
Koherentni binarni formati (Coherent binary signaling)	
CPSK Koherentna fazna modulacija (Coherent Phase Shift Keying)	$0.5\text{erfc}\sqrt{x}$
Koherentna diferencijalna fazna modulacije (Coherent detection of differentially encoded PSK)	$\text{erfc}\sqrt{x} - 0.5\text{erfc}^2\sqrt{x}$
CFSK Koherentna frekvencijska modulacija (Coherent Frequency Shift Keying)	$0.5\text{erfc}\sqrt{x/2}$
Nekoherentni binarni formati (Non-coherent binary signaling)	
BDPSK Binarna Diferencijalna fazna modulacija (Differentially Phase Shift Keying)	$0.5\exp(-x)$
BFSK binarna frekvencijska modulacija (nekoherentna) (Binary Frequency Shift Keying)	$0.5\exp(-x/2)$
Kvadraturene modulacije (Quadrature signaling)	
QPSK Kvadratura fazna modulacija (Quadrature Phase Shift Keying)	$\text{erfc}\sqrt{x} - 0.25\text{erfc}^2\sqrt{x}$
MSK Minimalna modulacija (Minimum Shift Keying)	$\text{erfc}\sqrt{x} - 0.25\text{erfc}^2\sqrt{x}$

U skladu sa zahtevima potrošača u poslednjih nekoliko godina došlo je do ekspanzije bežičnih komunikacionih servisa i javila se potreba za povećanjem spektralne efikasnosti komunikacije. U budućim bežičnim komunikacionim sistemima glavna stavka će biti očuvanje postojećeg propusnog opsega i njegovo efikasno korišćenje. Iz tog razloga je prilikom dizajna bežičnih komunikacionih sistema kapacitet kanala najznačajnije ograničenje pošto određuje maksimalni dostižni propusni opseg sistema [66, 84, 85]. Može se definisati

kao prosečna prenesena količina informacije po jedinici propusnog opsega za specificiranu srednju snagu signala i određeni nivo verovatnoće otkaza. Da bi se dobio što veći kapacitet razne kombinacije kodovanja i modulacionih tehnika mogu biti korištene. Međutim, bežične komunikacije su usled kombinacije slučajno rasejanih, prelomljenih i skrenutih komponenti signala izloženi jakom uticaju fedinga što dovodi do ozbiljne degradacije vrednosti odnosa SNR na posmatranom linku.

Kapacitet kanala izloženog uticaju fedinga za poznatu raspodelu odnosa SNR na prijemu, $p_\gamma(\gamma)$, može se odrediti pomoću [86, 87, 88]:

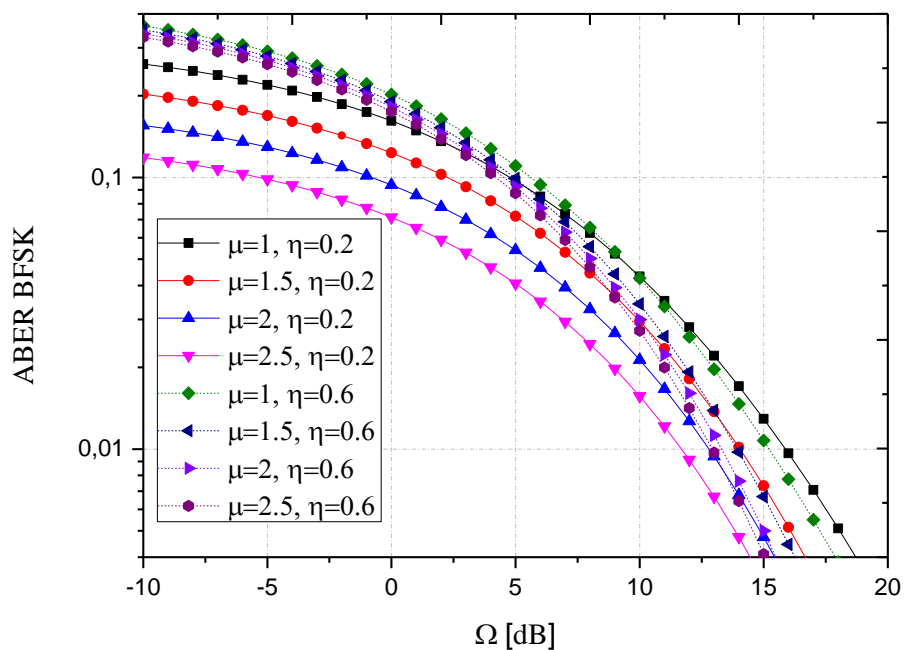
$$C = B \int_0^{\infty} \log_2(1 + \gamma) p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (4.3)$$

gde $B(\text{Hz})$ predstavlja propusni opseg kanala.

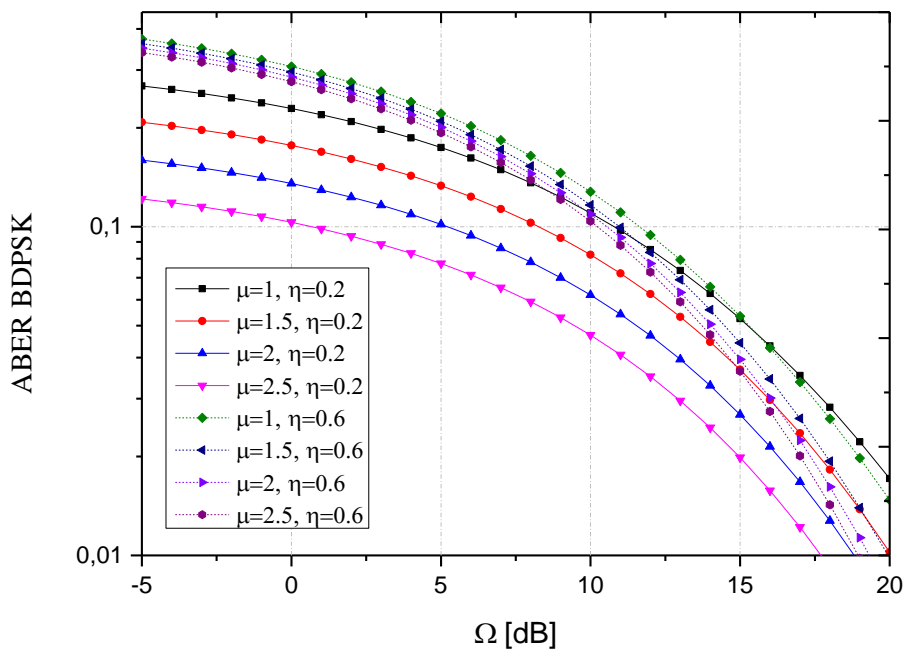
Analiziraćemo najpre performanse prenosa u η - μ feding okruženju bez primene diverziteti tehnika na prijemu. Na slici 4.1 prikazane su vrednosti srednje verovatnoće greške po bitu (ABER) kada se prenos signala vrši pomoću BFSK modulacionog formata za različite vrednosti propagacionih parametara η i μ . Sa slike je vidljivo da se bolje performanse (manje vrednosti ABER) dobijaju u oblasti većih vrednosti parametra μ i manjih vrednosti parametra η , pošto je u takvim slučajevima signal izložen manjem uticaju fedinga.

Na slici 4.2 prikazane su vrednosti srednje verovatnoće greške po bitu (ABER) kada se prenos signala vrši pomoću BDPSK modulacionog formata za različite vrednosti propagacionih parametara η i μ . Vidljivo je da se bolje performanse (manje vrednosti ABER) dobijaju u oblasti većih vrednosti parametra μ i manjih vrednosti parametra η , jer je u takvim slučajevima signal izložen manjem uticaju fedinga.

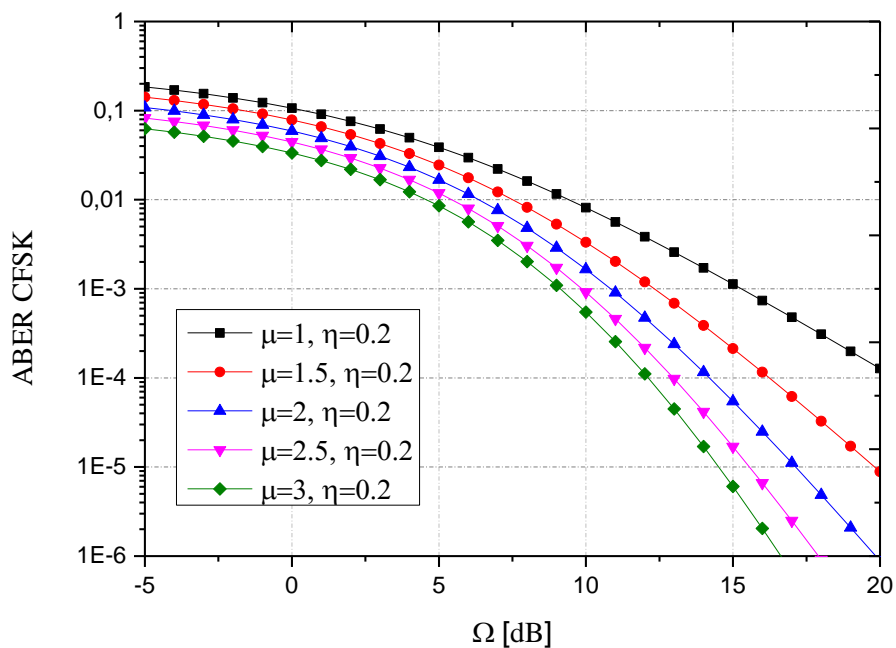
Na slici 4.3 prikazane su vrednosti srednje verovatnoće greške po bitu kada se prenos signala vrši pomoću CFSK modulacionog formata, a na slici 4.4 prikazane su vrednosti srednje verovatnoće greške po bitu kada se prenos signala vrši pomoću CPSK modulacionog formata za različite vrednosti propagacionog parametara μ . Kao i u prethodnim slučajevima dobijamo bolje performanse (manje vrednosti ABER) u oblasti većih vrednosti parametra μ .



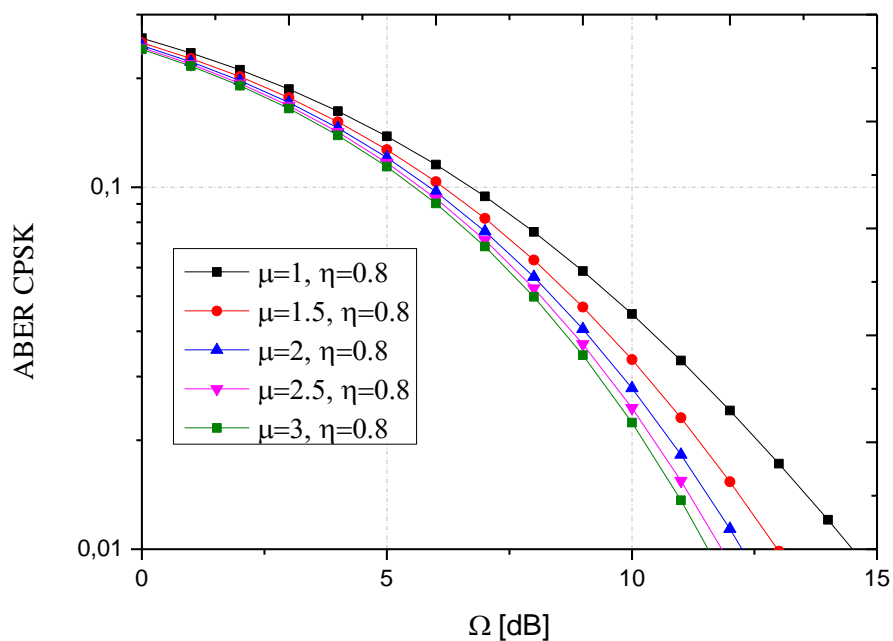
Slika 4.1: Vrednosti ABER za različite vrednosti η i μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom.



Slika 4.2: Vrednosti ABER za različite vrednosti η i μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom.



Slika 4.3: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom.



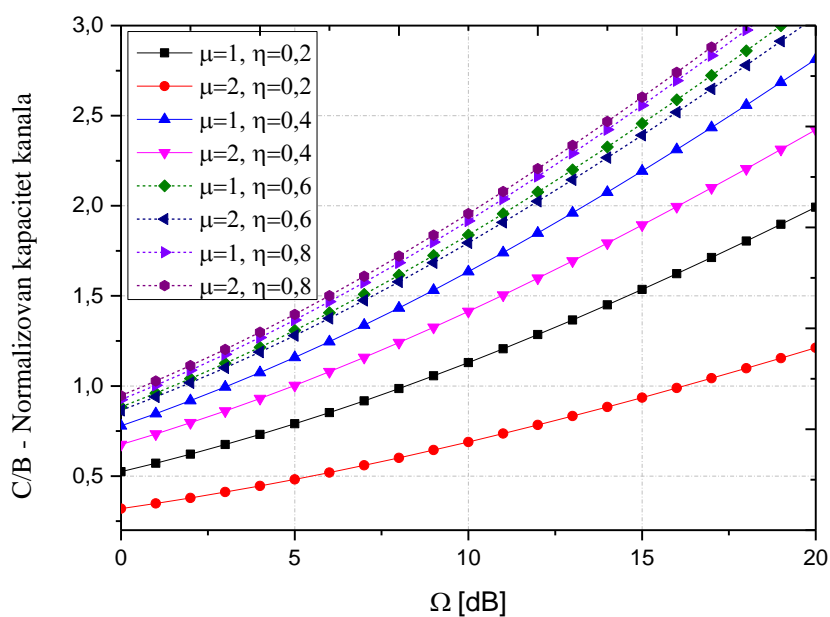
Slika 4.4: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom.

Na slici 4.5 prikazane su normalizovane vrednosti kapaciteta kanala sa η - μ fedingom za različite vrednosti parametara η i μ . Teorijski maksimum kapaciteta kanala se dobija u oblastima maksimalnih vrednosti ovih parametara.

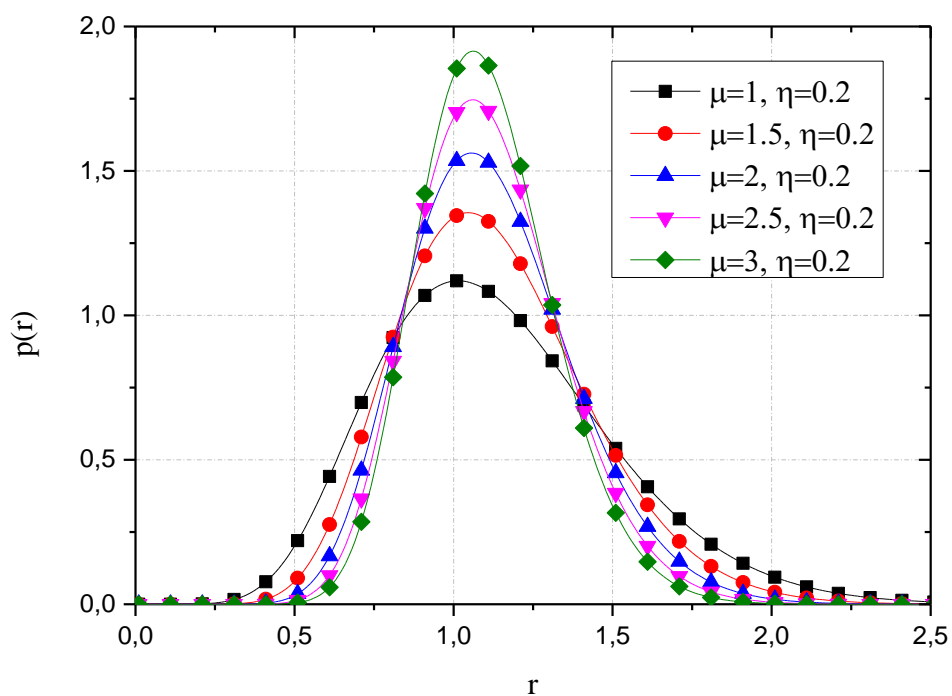
Na osnovu rezultata transformacija slučajnih promenljivih iz prethodnog poglavlja na slici 4.6 prikazana je gustina verovatnoće raspodele maksimuma dve η - μ slučajne promenljive za različite vrednosti parametara η i μ . Ovaj slučaj odgovara prijemu signala uz upotrebu diverziti tehnike selektivnog kombinovanja (SC - Selection Combining) signala sa dve grane. Tada SC prijemnik odabira i na izlaz vodi onu prijemnu granu koja ima najveću vrednost signala.

Na slici 4.7 predstavljene su vrednosti ABER za slučaj prijema pomoću SC kombinera sa dve grane za različite vrednosti parametara μ , koje su dobijene na osnovu izraza za maksimum dve η - μ slučajne promenljive. Razmatran je prenos pomoću BFSK modulacionog formata i sa slike je vidljivo da se manje vrednosti ABER, odnosno bolje performanse sistema postižu za slučajeve kada parametar μ uzima veće vrednosti.

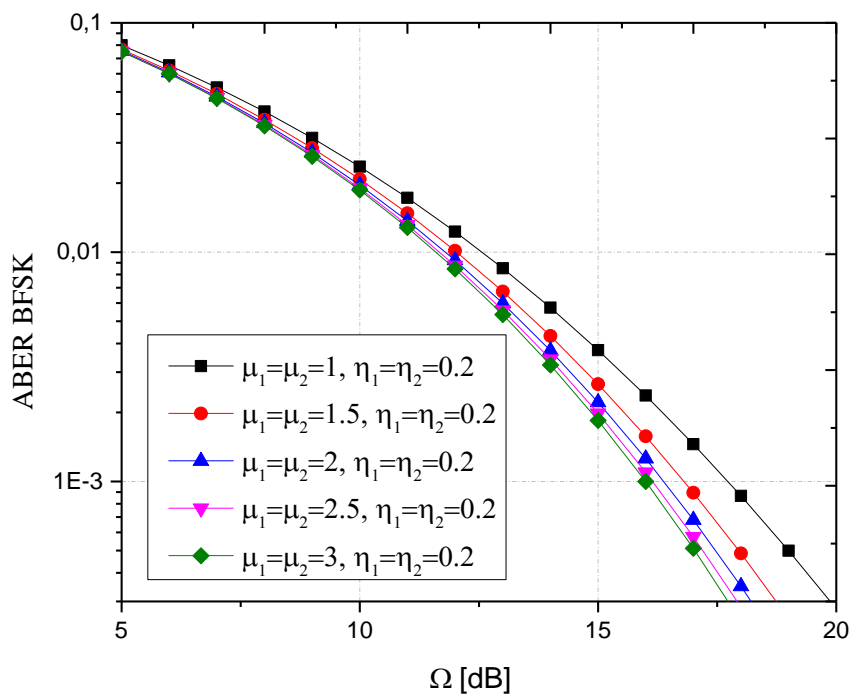
Na slici 4.8 predstavljene su vrednosti ABER za slučaj prijema pomoću SC kombinera sa dve grane za različite vrednosti parametara μ , koje su dobijene na osnovu izraza za maksimum dve η - μ slučajne promenljive. Razmatran je prenos pomoću BDPSK modulacionog formata i sa slike je vidljivo da se manje vrednosti ABER, odnosno bolje performanse sistema postižu za slučajeve kada parametar μ uzima veće vrednosti.



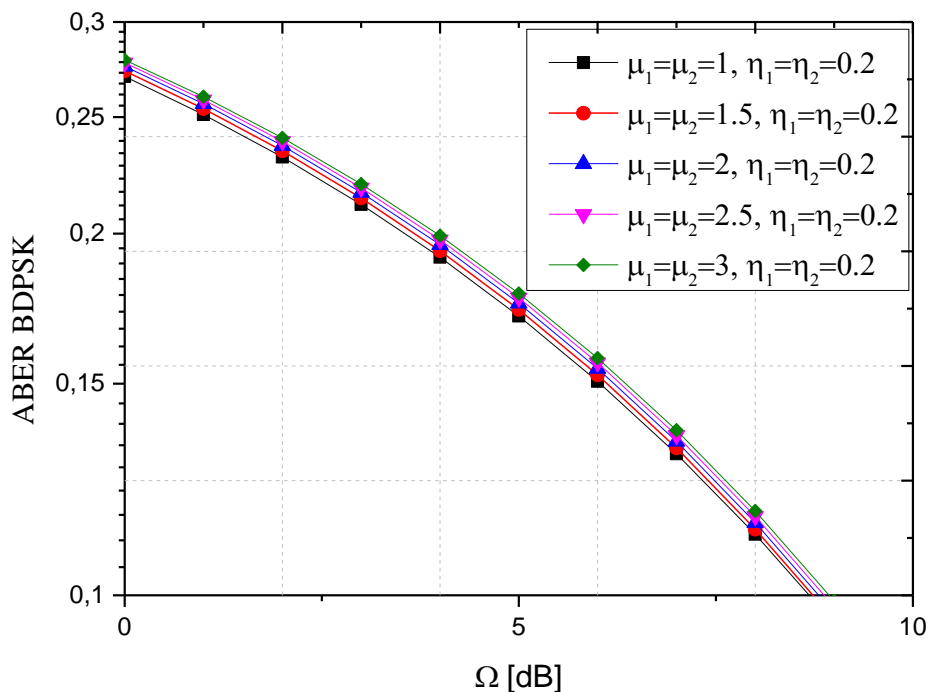
Slika 4.5: Vrednosti normalizovanog kapaciteta kanala sa η - μ fedingom za različite vrednosti η i μ .



Slika 4.6: Funkcija gustine verovatnoće maksimuma dve η - μ slučajne promenljive.



Slika 4.7: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa dve grane na prijemu.



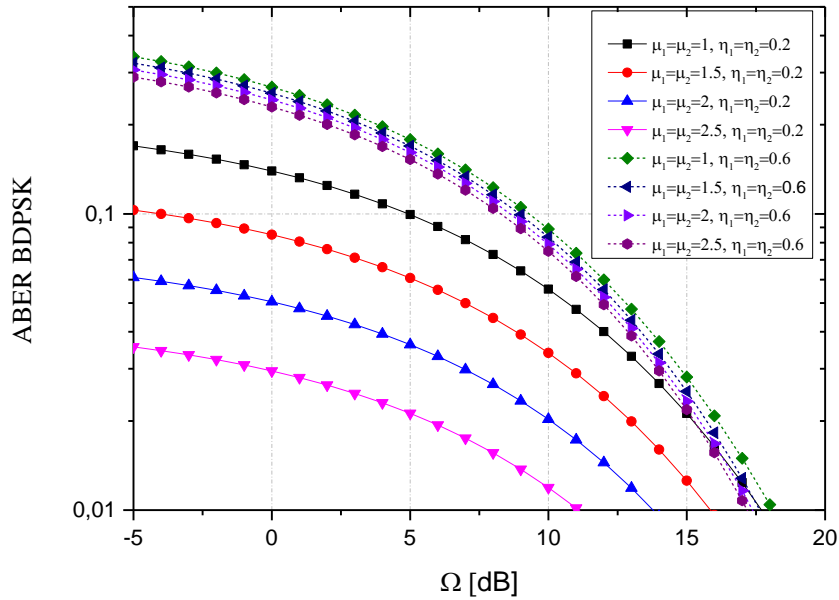
Slika 4.8: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

Poređenjem vrednosti ABER sa slika 4.1, 4.2, 4.7 i 4.8 vidljivo je poboljšanje performansi za slučaj upotrebe SC kombinovanja na prijemu u odnosu na slučaj prijema bez upotrebe diverziti tehnika.

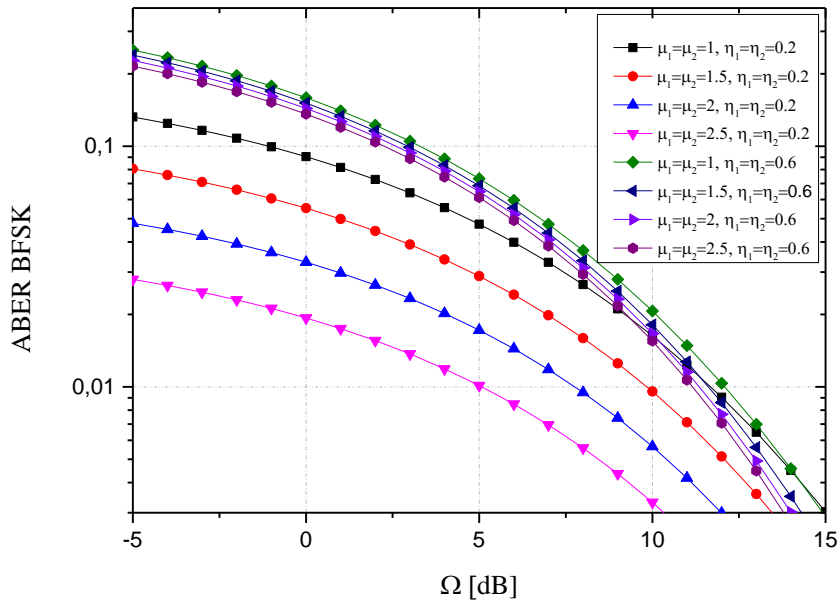
Na osnovu rezultata transformacija slučajnih promenljivih iz prethodnog poglavlja na slici 4.9 prikazane su vrednosti ABER pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj kada se na prijemu koristi prijem pomoću EGC diverziti tehnike. Na osnovu izraza za verovatnoću raspodele zbira dve η - μ slučajne promenljive, dobijene u prethodnom poglavlju, izvršena je analiza ABER pri EGC kombinovanju na prijemu za različite vrednosti parametara η i μ . Ovaj slučaj odgovara prijemu signala uz upotrebu EGC diverziti tehnike (EGC - Equal Gain Combining) sa dve grane na prijemu, jer EGC prijemnik sabira signal sa obe prijemne grane i vodi ga na izlaz. Sa slike je vidljivo da se bolje performanse dobijaju sa porastom parametra μ i smanjenjem vrednosti parametra η .

Na slikama 4.10, 4.11 i 4.12 prikazane su vrednosti ABER za slučajeve prijema pomoću EGC prijemnika sa dve grane kada se signal prenosi pomoću BFSK, CFSK i CPSK modulacionih formata. Slični zaključci o boljim performansama u uslovima propagacije kada parametar μ uzima veće, a parametar η manje vrednosti se mogu doneti. Poređenjem slika 4.9, 4.10 sa slikama 4.1 i 4.2 može se zaključiti da se postiže poboljšanje performansi za

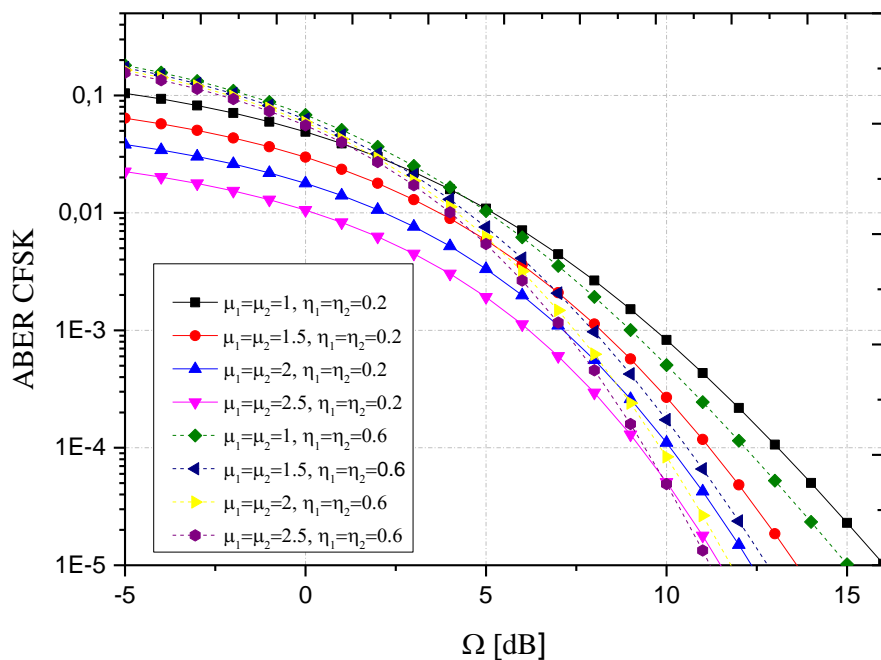
slučaj prijema sa EGC kombinerom sa dve grane u odnosu na slučaj prijema bez prisustva kombinera.



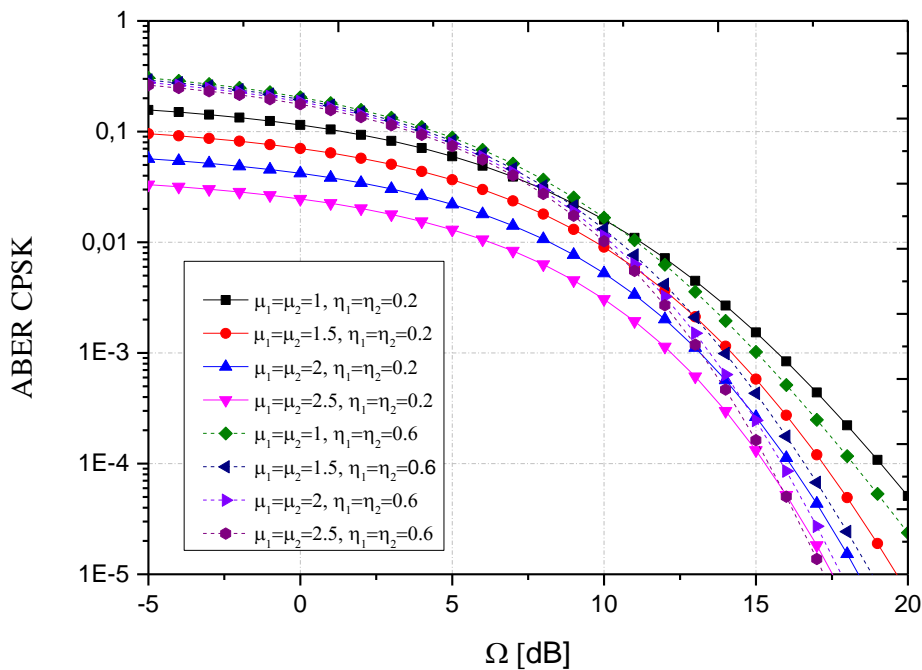
Slika 4.9: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ i η pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.



Slika 4.10: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.



Slika 4.11: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.



Slika 4.12: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa dve grane na prijemu.

U cilju razmatranja performansi prijema sa EGC kombinerom sa tri ulazne grane potrebno je izvršiti transformaciju tri η - μ slučajne promenljive i formirati novu slučajnu promenljivu koja predstavlja njihov zbir.

Gustine verovatnoća η - μ slučajnih promenljivih su:

$$\begin{aligned}
 p_{r_1}(r_1) &= a \cdot e^{-ar_1^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} r_1^{4i_1+4\mu-1} \\
 p_{r_2}(r_2) &= a \cdot e^{-ar_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} r_2^{4i_2+4\mu-1} \\
 p_{r_3}(r_3) &= a \cdot e^{-ar_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} r_3^{4i_3+4\mu-1}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru tri η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
 r &= r_1 + r_2 + r_3 \\
 r_1 &= r - r_2 - r_3
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Uslovna gustina verovatnoće zbira tri η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r(r / r_2, r_3) = ||| p_{r_1}(r - r_2 - r_3) \tag{4.6}$$

gde je:

$$||| = \frac{dr_1}{dr} = 1 \tag{4.7}$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

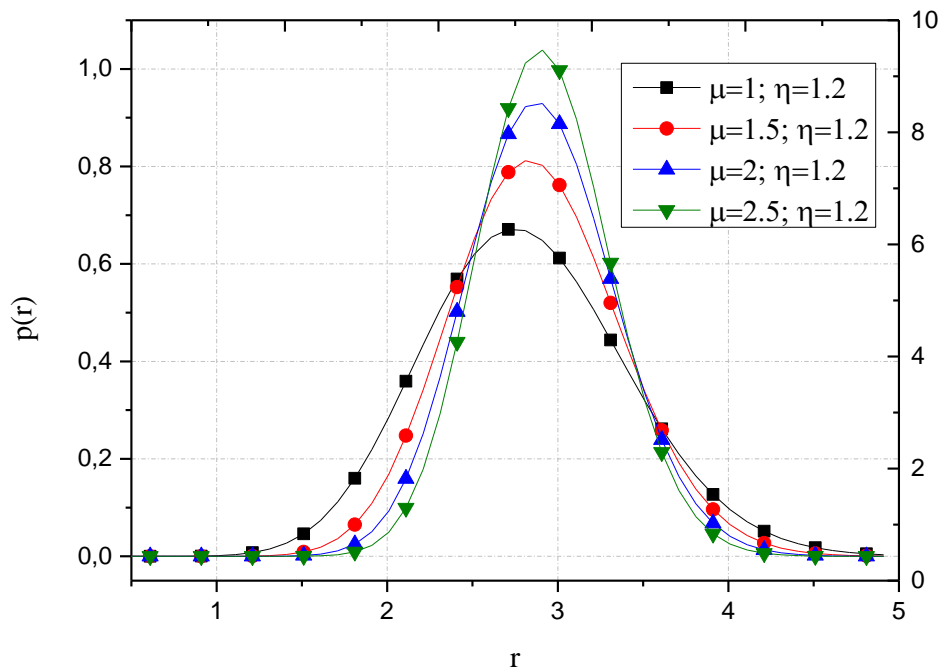
$$\begin{aligned}
 r - r_2 - r_3 &> 0 \quad , \quad r_2 > 0 \quad , \quad r_3 > 0 \\
 r_2 + r_3 &< r \\
 r_2 < r - r_3 \quad , \quad r_3 < r - r_2 \\
 r - r_2 - r_3 &= 0 \\
 r_2 + r_3 &= r \quad , \quad r_2 = r - r_3 \quad , \quad r_3 = r - r_2 \\
 r_2 &\in (0, r) \\
 r_3 &\in (0, r - r_2)
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Gustina verovatnoće zbira tri η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r(r) = \int_0^r dr_2 \int_0^{r-r_2} dr_3 p_{r_1}(r - r_2 - r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^r dr_2 \int_0^{r-r_2} dr_3 \cdot ae^{-\alpha(r-r_2-r_3)^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r-r_2-r_3)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \\
&\cdot ae^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot ae^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Dobijeni rezultat ima značaj u određivanju verovatnoće greške prijmnika koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa tri ulaza na kojima se pojavljuje η - μ feding.



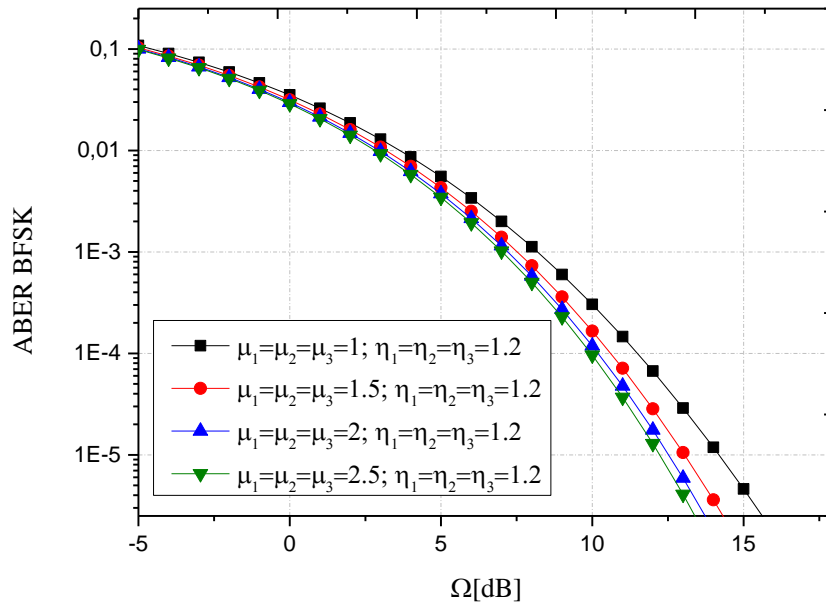
Slika 4.13: Gustina verovatnoće zbira tri η - μ slučajne promenljive.

Na slici 4.13 prikazana je gustina verovatnoće zbira tri η - μ slučajne promenljive što odgovara gustini verovatnoće signala na izlazu EGC kombinerom sa tri ulazne grane.

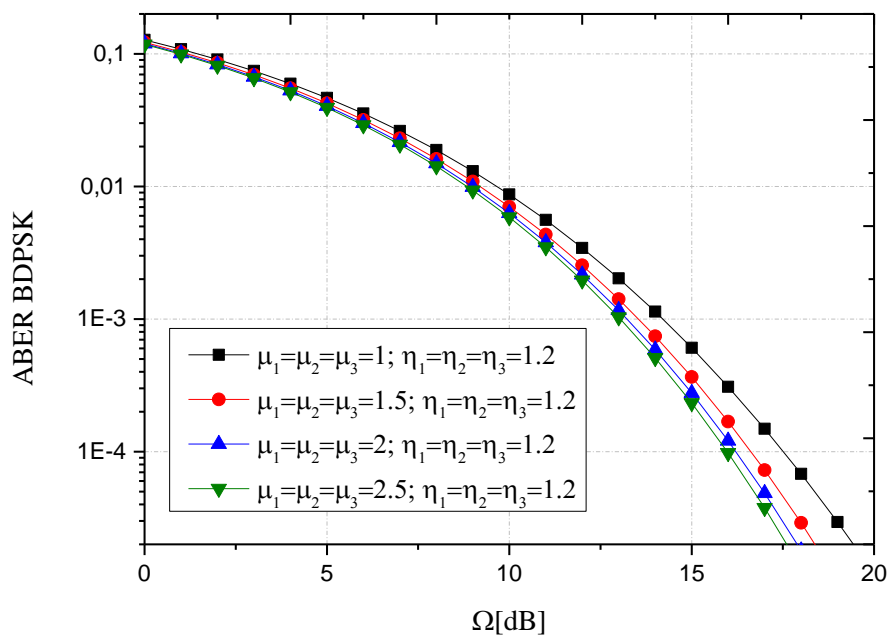
Na slici 4.14 prikazane su vrednosti ABER za slučaj prijema pomoću EGC kombinerom sa tri ulazne grane kada se primenjuje BFSK modulacioni format. Analizirane su vrednosti ABER u zavisnosti od vrednosti parametra μ i η i sa slike se vidi da dobijamo bolje performanse kada μ raste, a η opada.

Na slikama 4.15, 4.16 i 4.17 razmatrane su performanse EGC kombinovanja za slučajevne primene BDPSK, CPSK i CFSK modulacionih formata za različite vrednosti parametara η i μ .

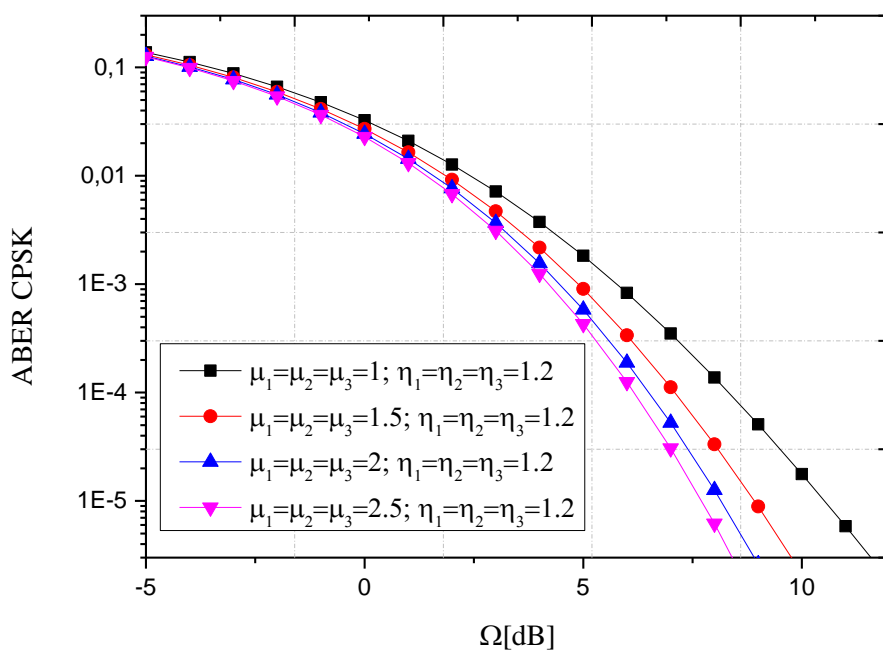
Poređenjem vrednosti ABER sa slika 4.14, 4.15, 4.9 i 4.10 vidljivo je da se dodatno poboljšanje performansi sistema dobija kada se prijem signala vrši pomoću EGC prijemnika sa tri grane u odnosu na slučaj prijema pomoću EGC prijemnika sa dve grane.



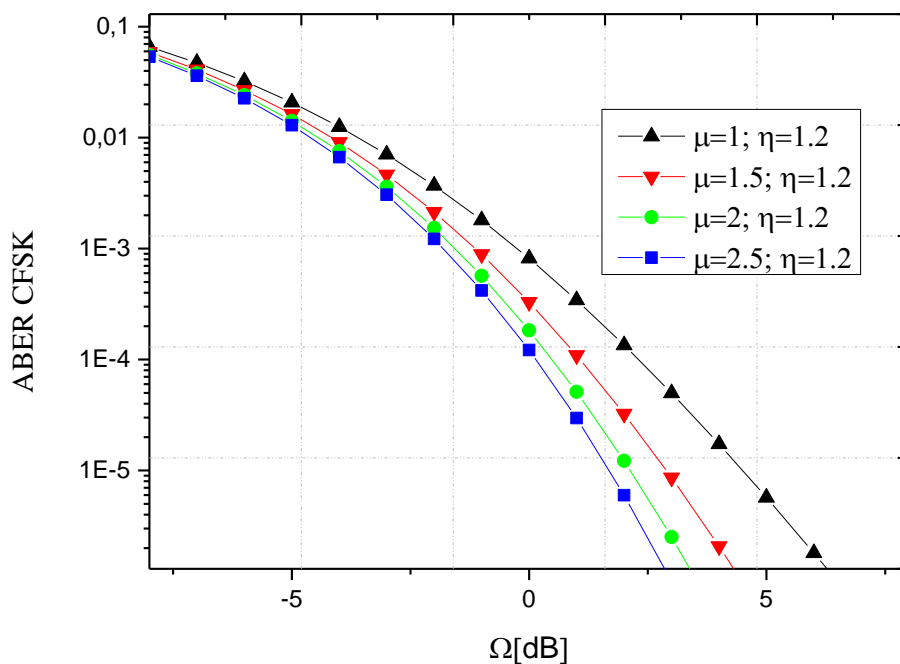
Slika 4.14: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.15: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.16: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.17: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene EGC kombinovanja sa tri grane na prijemu

U cilju dalje analize performansi prijema prilikom prenosa u η - μ fading okruženju neophodno je obratiti pažnju i na sledeće transformacije η - μ slučajnih promenljivih.

Razmatramo slučajnu promenljivu koja je jednaka zbiru kvadrata tri η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} r &= r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \\ r_1 &= (r - r_2^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Uslovna gustina verovatnoće zbira kvadrata tri η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r = (r / r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1} \left((r - r_2^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (4.11)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = \frac{1}{2\sqrt{r - r_2^2 - r_3^2}} \quad (4.12)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r / r_2, r_3) = \frac{1}{2\sqrt{r - r_2^2 - r_3^2}} p_{r_1} \left((r - r_2^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (4.13)$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned} r - r_2^2 - r_3^2 &> 0 \quad , \quad r_2 > 0 \quad , \quad r_3 > 0 \\ r_2^2 + r_3^2 &< r \\ r_2 &< (r - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \quad , \quad r_3 < (r - r_2^2)^{\frac{1}{2}} \\ r - r_2^2 - r_3^2 &= 0 \\ r_2^2 + r_3^2 &= r \quad , \quad r_2 = (r - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \quad , \quad r_3 = (r - r_2^2)^{\frac{1}{2}} \\ r_2 &\in (0, \sqrt{r}) \\ r_3 &\in (0, (r - r_2^2)^{\frac{1}{2}}) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Gustina verovatnoće zbira kvadrata tri η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^{\sqrt{r}} dr_2 \int_0^{(r-r_2^2)^{\frac{1}{2}}} dr_3 p_{r_1} \left((r - r_2^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} \right) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) \\ &= \int_0^{\sqrt{r}} dr_2 \int_0^{\sqrt{r-r_2^2}} dr_3 \cdot a e^{-\alpha(r-r_2^2-r_3^2)^{\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r - r_2^2 - r_3^2)^{2i_1+2\mu-\frac{1}{2}} \\ &\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Gustina verovatnoće dobijena u gornjem izrazu može se koristiti u analizi performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverzitetnu tehniku sa MRC kombinerom sa tri ulaza na kojima se pojavljuje η - μ feding da bi se smanjio uticaj fedinga na performanse sistema.

Da bi se odredile performanse prijemnika na koji utiču tri brza fedinga pri čemu je ekvivalentna amplituda jednaka proizvodu tri η - μ slučajne promenljive potrebno je odrediti gustinu verovatnoće ovako formirane promenljive. Svaka od ove tri slučajne promenljive modelira po jedan η - μ brzi feding. Neka je:

$$\begin{aligned} r &= r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \\ r_1 &= \frac{r}{r_2 \cdot r_3} \end{aligned} \quad (4.16)$$

Uslovna gustina verovatnoće proizvoda tri η - μ slučajne promenljive je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1} \left(\frac{r}{r_2 \cdot r_3} \right) \quad (4.17)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = \frac{1}{r_2 r_3} \quad (4.18)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \frac{1}{r_2 r_3} p_{r_1} \left(\frac{r}{r_2 \cdot r_3} \right) \quad (4.19)$$

Gustina verovatnoće proizvoda tri η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot \frac{1}{r_2 \cdot r_3} p_{r_1} \left(\frac{r}{r_2 \cdot r_3} \right) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) = \\ &= \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot \frac{a}{r_2 \cdot r_3} \cdot e^{-\alpha \left(\frac{r}{r_2 \cdot r_3} \right)^2} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \left(\frac{r}{r_2 \cdot r_3} \right)^{2i_1+4\mu-1} \cdot \\ &\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{2i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{2i_3+4\mu-1} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Posmatra se slučajna promenljiva koja je jednaka zbiru jedne η - μ slučajne promenljive i količnika druge dve η - μ slučajne promenljive:

$$\begin{aligned} r &= r_1 + \frac{r_2}{r_3} \\ r_1 &= r - \frac{r_2}{r_3} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Uslovna gustina verovatnoće ove slučajne promenljive je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1} \left(r - \frac{r_2}{r_3} \right) \quad (4.22)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \quad (4.23)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = p_{r_1} \left(r - \frac{r_2}{r_3} \right) \quad (4.24)$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned} r - \frac{r_2}{r_3} > 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\ \frac{r_2}{r_3} < r, \quad r_2 < r \cdot r_3, \quad r_3 > \frac{r_2}{r} \\ r - \frac{r_2}{r_3} = 0, \quad \frac{r_2}{r_3} = r, \quad r_2 = r \cdot r_3, \quad r_3 = \frac{r_2}{r} \\ r_2 \in (0, \infty), \quad r_3 \in \left(\frac{r_2}{r}, \infty \right) \end{aligned} \quad (4.25)$$

Združena gustina verovatnoće zbira jedne η - μ slučajne promenljive i količnika dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^\infty dr_2 \int_{\frac{r_2}{r}}^\infty dr_3 p_{r_1} \left(r - \frac{r_2}{r_3} \right) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) = \\ &= \int_0^\infty dr_2 \int_{\frac{r_2}{r}}^\infty dr_3 \cdot a e^{-\alpha \left(r - \frac{r_2}{r_3} \right)^2} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \left(r - \frac{r_2}{r_3} \right)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \\ &\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Dobijeni rezultat služi za određivanje verovatnoće greške bežičnog prijemnika koji koristi diverzitetnu tehniku sa EGC kombinerom sa dva ulaza za smanjenje uticaja brzog η - μ fedinga i interferencije na performanse sistema. Na jednom ulazu u EGC kombiner pojavljuje se korisni signal izložen uticaju η - μ fedinga i međukanalna interferencija izložena η - μ fedingu, a na drugom ulazu prisutan je korisni signal izložen η - μ fedingu.

Zbir jedne η - μ slučajne promenljive i proizvoda dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
r &= r_1 + r_2 \cdot r_3 \\
r_1 &= r - r_2 \cdot r_3
\end{aligned} \tag{4.27}$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r - r_2 \cdot r_3) \tag{4.28}$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \tag{4.29}$$

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = p_{r_1}(r - r_2 \cdot r_3) \tag{4.30}$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned}
r - r_2 \cdot r_3 &> 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\
r_2 \cdot r_3 < r, \quad r_2 < \frac{r}{r_3}, \quad r_3 < \frac{r}{r_2}, \quad r - r_2 \cdot r_3 &= 0 \\
r_2 \cdot r_3 = r, \quad r_2 = \frac{r}{r_3}, \quad r_3 = \frac{r}{r_2} & \\
r_2 \in (0, \infty), \quad r_3 \in (0, \frac{r}{r_2}) &
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Združena gustina verovatnoće zbira η - μ slučajne promenljive i proizvoda dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= \int_0^\infty dr_2 \int_0^{\frac{r}{r_2}} dr_3 p_{r_1}(r - r_2 \cdot r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) = \\
&= \int_0^\infty dr_2 \int_0^{\frac{r}{r_2}} dr_3 a e^{-\alpha(r-r_2r_3)^2} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} (r - r_2 \cdot r_3)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \\
&\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1}
\end{aligned} \tag{4.32}$$

Slučajna promenljiva r je jednaka:

$$\begin{aligned}
r &= \frac{1}{r_2}(r_1 + r_3^2) \\
r_1 &= r \cdot r_2 - r_3^2
\end{aligned} \tag{4.33}$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r \cdot r_2 - r_3^2) \tag{4.34}$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = r_2 \quad (4.35)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = r_2 p_{r_1}(r \cdot r_2 - r_3^2) \quad (4.36)$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned} r \cdot r_2 - r_3^2 > 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\ r_3^2 < r \cdot r_2, \quad r_3 < (r \cdot r_2)^{\frac{1}{2}}, \quad r_2 > \frac{r_3^2}{r} \\ r \cdot r_2 - r_3^2 = 0, \quad r_2 = \frac{r_3^2}{r}, \quad r_3 = \sqrt{r \cdot r_2} \\ r_2 \in (0, \infty), \quad r_3 \in (0, \sqrt{r \cdot r_2}) \end{aligned} \quad (4.37)$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^{\infty} dr_2 \int_0^{\sqrt{r \cdot r_2}} dr_3 r_2 p_{r_1}(r \cdot r_2 - r_3^2) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) = \\ &= \int_0^{\infty} dr_2 \int_0^{\sqrt{r \cdot r_2}} dr_3 r_2 a e^{-\alpha(r \cdot r_2 - r_3^2)^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r \cdot r_2 - r_3^2)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \\ &\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \end{aligned} \quad (4.38)$$

Slučajna promenljiva r je:

$$r = \frac{r_1 + r_3}{r_2^2} \quad (4.39)$$

$$r_1 = r \cdot r_2^2 - r_3$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r \cdot r_2^2 - r_3) \quad (4.40)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = r_2^2 \quad (4.41)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = r_2^2 p_{r_1}(r \cdot r_2^2 - r_3) \quad (4.42)$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$r \cdot r_2 - r_3^2 > 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0, \quad r_3 < r \cdot r_2, \quad r_2 > \sqrt{\frac{r_3}{r}}$$

$$r \cdot r_2 - r_3 = 0, r_3 = r \cdot r_2, \quad r_2 = \sqrt{\frac{r_3}{r}} \quad (4.43)$$

$$r_2 \in (0, \infty), \quad r_3 \in (0, r \cdot r_2^2)$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r) = \int_0^\infty dr_2 \int_0^{r \cdot r_2^2} dr_3 p_{r_1}(r \cdot r_2^2 - r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) =$$

$$= \int_0^\infty dr_2 \int_0^{r \cdot r_2^2} dr_3 \cdot a e^{-(r \cdot r_2^2 - r_3)^2} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} (r \cdot r_2^2 - r_3)^{4i_1+4\mu-1} \cdot$$

$$\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \quad (4.44)$$

Količnik η - μ slučajne promenljive i proizvoda dve η - μ slučajne promenljive je:

$$r = \frac{r_1}{r_2 \cdot r_3} \quad (4.45)$$

$$r_1 = r \cdot r_2 \cdot r_3$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r \cdot r_2 \cdot r_3) \quad (4.46)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = r_2 \cdot r_3 \quad (4.47)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = r_2 \cdot r_3 p_{r_1}(r \cdot r_2 \cdot r_3) \quad (4.48)$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r) = \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot r_2 \cdot r_3 p_{r_1}(r \cdot r_2 \cdot r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) =$$

$$= \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot a e^{-\alpha(r \cdot r_2 \cdot r_3)^2} \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} (r \cdot r_2 \cdot r_3)^{4i_1+4\mu-1}$$

$$\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \quad (4.49)$$

Količnik proizvoda dve η - μ slučajne promenljive i jedne η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} r &= \frac{r_1 \cdot r_2}{r_3} \\ r_1 &= \frac{r \cdot r_3}{r_2} \end{aligned} \quad (4.50)$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1} \left(\frac{r \cdot r_3}{r_2} \right) \quad (4.51)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = \frac{r_3}{r_2} \quad (4.52)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \frac{r_3}{r_2} p_{r_1} \left(\frac{r \cdot r_3}{r_2} \right) \quad (4.53)$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot \frac{r_3}{r_2} p_{r_1} \left(\frac{r \cdot r_3}{r_2} \right) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) = \\ &= \int_0^\infty dr_2 \int_0^\infty dr_3 \cdot \frac{r_3}{r_2} \cdot a e^{-\left(\frac{r \cdot r_3}{r_2}\right)^2} \cdot \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} \left(\frac{r \cdot r_3}{r_2} \right)^{4i_1+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \\ &\cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1} \end{aligned} \quad (4.54)$$

Slučajna promenljiva r je određena na sledeći način:

$$\begin{aligned} r &= r_1 + r_2^2 - r_3 \\ r_1 &= r - r_2^2 + r_3 \end{aligned} \quad (4.55)$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r - r_2^2 + r_3) \quad (4.56)$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \quad (4.57)$$

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = p_{r_1}(r - r_2^2 + r_3) \quad (4.58)$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned}
r - r_2^2 + r_3 &> 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\
r_2^2 - r_3 < r, \quad r_2 < \sqrt{r + r_3}, \quad r_3 > r_2^2 - r \\
r - r_2^2 + r_3 = 0, \quad r_2^2 - r_3 = r \\
r_2 = \sqrt{r + r_3}, \quad r_3 = r_2^2 - r, \quad r_2^2 - r_3 = r \\
r_2 = 0, \quad r_3 = -r, \quad r_3 = 0, \quad r_2 = \pm\sqrt{r} \\
r_2 \in (\sqrt{r}, \infty), \quad r_3 \in (r_2^2 - r, \infty)
\end{aligned} \tag{4.59}$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= \int_{\sqrt{r}}^{\infty} dr_2 \int_{r_2^2 - r}^{\infty} dr_3 p_{r_1}(r - r_2^2 + r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) \\
&= \int_{\sqrt{r}}^{\infty} dr_2 \int_{r_2^2 - r}^{\infty} dr_3 \cdot a e^{-\alpha(r - r_2^2 + r_3)^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r - r_2^2 + r_3)^{4i_1 + 4\mu - 1} \cdot \\
&\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2 + 4\mu - 1} \cdot a e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3 + 4\mu - 1}
\end{aligned} \tag{4.60}$$

Slučajna promenljiva r je definisana na sledeći način:

$$\begin{aligned}
r &= r_1 + r_2 - r_3^2 \\
r_1 &= r - r_2 + r_3^2
\end{aligned} \tag{4.61}$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r = (r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r - r_2 + r_3^2) \tag{4.62}$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \tag{4.63}$$

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = p_{r_1}(r - r_2 + r_3^2) \tag{4.64}$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned}
r - r_2 + r_3^2 &> 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\
r_2 - r_3^2 < r, \quad r_2 < r + r_3^2, \quad r_3 > \sqrt{r_2 - r} \\
r_3^2 - r_2 + r = 0, \quad r_2 = r_3^2 + r, \quad r_3 = \sqrt{r_2 - r} \\
r_3^2 - r_2 + r = 0, \quad r_3 = 0, \quad r_2 = r
\end{aligned} \tag{4.65}$$

$$r_3 = \pm\sqrt{r_2 - r}, \quad r_2 > r$$

$$r_2 \in (r, \infty), \quad r_3 \in (\sqrt{r_2 - r}, \infty)$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r) = \int_r^\infty dr_2 \int_{\sqrt{r_2 - r}}^\infty dr_3 p_{r_1}(r - r_2 + r_3^2) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3)$$

$$= \int_r^\infty dr_2 \int_{\sqrt{r_2 - r}}^\infty dr_3 \cdot a e^{-a(r - r_2 + r_3^2)^2} \cdot \sum_{i_1=0}^\infty b_{1i_1} (r - r_2 + r_3^2)^{4i_1 + 4\mu - 1}$$

$$\cdot a e^{-ar_2^2} \sum_{i_2=0}^\infty b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2 + 4\mu - 1} \cdot a e^{-ar_3^2} \sum_{i_3=0}^\infty b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3 + 4\mu - 1}$$
(4.66)

Slučajna promenljiva r je jednaka:

$$r = r_1 - r_2^2 + r_3$$

$$r_1 = r + r_2^2 - r_3$$
(4.67)

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r / r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r + r_2^2 - r_3)$$
(4.68)

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1$$
(4.69)

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = p_{r_1}(r + r_2^2 - r_3)$$
(4.70)

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$r + r_2^2 - r_3 > 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0$$

$$r_3 - r_2^2 < r, \quad r_3 > r + r_2^2, \quad r_2 > \sqrt{r_3 - r}$$

$$r + r_2^2 - r_3 = 0, \quad r_3 = r + r_2^2, \quad r_2 = \sqrt{r_3 - r}$$

$$r + r_2^2 - r_3 = 0, \quad r_2 = 0, \quad r_3 = r$$

$$r_2 \in (0, \infty), \quad r_3 \in (0, r + r_2^2)$$
(4.71)

Gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r) = \int_0^\infty dr_2 \int_0^{r+r_2^2} dr_3 p_{r_1}(r + r_2^2 - r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{\infty} dr_2 \int_0^{r+r_2^2} dr_3 \cdot ae^{-\alpha(r-r_2^2+r_3)^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r+r_2^2-r_3)^{4i_1+4\mu-1} \cdot \\
&\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot ae^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1}
\end{aligned} \tag{4.72}$$

Slučajna promenljiva r je jednaka:

$$\begin{aligned}
r &= r_1 - r_2 + r_3^2 \\
r_1 &= r + r_2 - r_3^2
\end{aligned} \tag{4.73}$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r/r_2, r_3) = \left| \frac{dr_1}{dr} \right| p_{r_1}(r + r_2 - r_3^2) \tag{4.74}$$

gde je:

$$\frac{dr_1}{dr} = 1 \tag{4.75}$$

Zamenom se dobija:

$$p_r(r/r_2, r_3) = p_{r_1}(r + r_2 - r_3^2) \tag{4.76}$$

Potrebno je ispuniti sledeće uslove:

$$\begin{aligned}
r + r_2 - r_3^2 &> 0, \quad r_2 > 0, \quad r_3 > 0 \\
r_3^2 - r_2 < r, \quad r_3 < \sqrt{r+r_2}, \quad r_2 > r_3^2 - r \\
r_3^2 - r_2 = r, \quad r_3 = \sqrt{r+r_2}, \quad r_2 = r_3^2 - r \\
r + r_2 - r_3^2 = 0, \quad r_2 = 0, \quad r_3 = \pm\sqrt{r}, \quad r_3 = 0, \quad r_2 = -r \\
r_2 &\in (0, \infty), \quad r_3 \in (0, \sqrt{r+r_2})
\end{aligned} \tag{4.77}$$

Gustina verovatnoće od r je:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= \int_0^{\infty} dr_2 \int_0^{\sqrt{r+r_2}} dr_3 p_{r_1}(r + r_2 - r_3) p_{r_2}(r_2) p_{r_3}(r_3) \\
&= \int_0^{\infty} dr_2 \int_0^{\sqrt{r+r_2}} dr_3 \cdot ae^{-\alpha(r+r_2-r_3)^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} (r+r_2-r_3)^{4i_1+4\mu-1} \\
&\cdot a e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \cdot r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot ae^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \cdot r_3^{4i_3+4\mu-1}
\end{aligned} \tag{4.78}$$

Posmatra se slučajna promenljiva koja je jednaka maksimumu tri η - μ slučajne promenljive:

$$r = \max(r_1, r_2, r_3) \quad (4.79)$$

Kumulativna verovatnoća od r_1 je:

$$\begin{aligned} F_{r_1}(r_1) &= \int_0^r p_{r_1}(r) dt = a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \int_0^{r_1} dt t^{4i_1+4\mu-1} e^{-at^2} \\ &= a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_1+2\mu}} \gamma(2i_1 + 2\mu, e^{-\alpha r_1^2}) \end{aligned} \quad (4.80)$$

Kumulativna verovatnoća od r_2 je:

$$F_{r_2}(r_2) = a \cdot \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_2+2\mu}} \gamma(2i_2 + 2\mu, e^{-\alpha r_2^2}) \quad (4.81)$$

Kumulativna verovatnoća od r_3 je:

$$F_{r_3}(r_3) = a \cdot \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_3+2\mu}} \gamma(2i_3 + 2\mu, e^{-\alpha r_3^2}) \quad (4.82)$$

Gustina verovatnoće maksimuma tri η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= p_{r_1}(r)F_{r_2}(r)F_{r_3}(r) + p_{r_2}(r)F_{r_1}(r)F_{r_3}(r) + p_{r_3}(r)F_{r_1}(r)F_{r_2}(r) \\ &= a \cdot e^{-\alpha r_1^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} r_1^{4i_1+4\mu-1} \cdot a \cdot \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_2+2\mu}} \gamma(2i_2 + 2\mu, e^{-\alpha r_2^2}) \\ &\quad \cdot a \cdot \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_3+2\mu}} \gamma(2i_3 + 2\mu, e^{-\alpha r_3^2}) \\ &+ a \cdot e^{-\alpha r_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} r_2^{4i_2+4\mu-1} \cdot a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_1+2\mu}} \gamma(2i_1 + 2\mu, e^{-\alpha r_1^2}) \\ &\quad \cdot a \cdot \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_3+2\mu}} \gamma(2i_3 + 2\mu, e^{-\alpha r_3^2}) \\ &+ a \cdot e^{-\alpha r_3^2} \sum_{i_3=0}^{\infty} b_{1i_3} r_3^{4i_3+4\mu-1} \cdot a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_1+2\mu}} \gamma(2i_1 + 2\mu, e^{-\alpha r_1^2}) \\ &\quad \cdot a \cdot \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^{2i_2+2\mu}} \gamma(2i_2 + 2\mu, e^{-\alpha r_2^2}) \end{aligned} \quad (4.83)$$

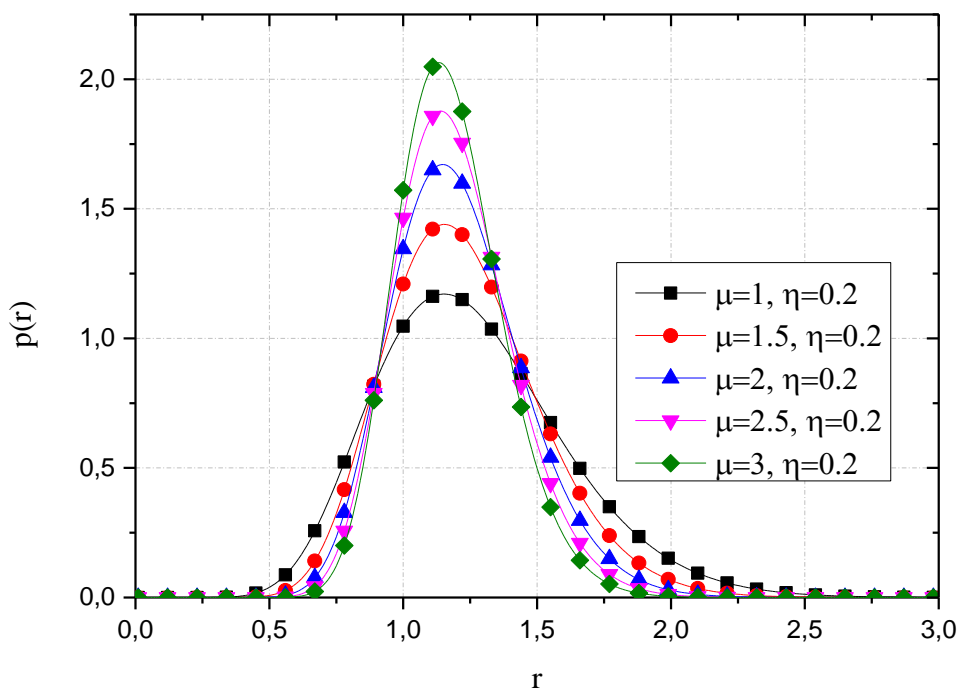
Kumulativna verovatnoća maksimuma tri η - μ slučajne promenljive je:

$$F_r(r) = F_{r_1}(r_1)F_{r_2}(r_2)F_{r_3}(r_3) \quad (4.84)$$

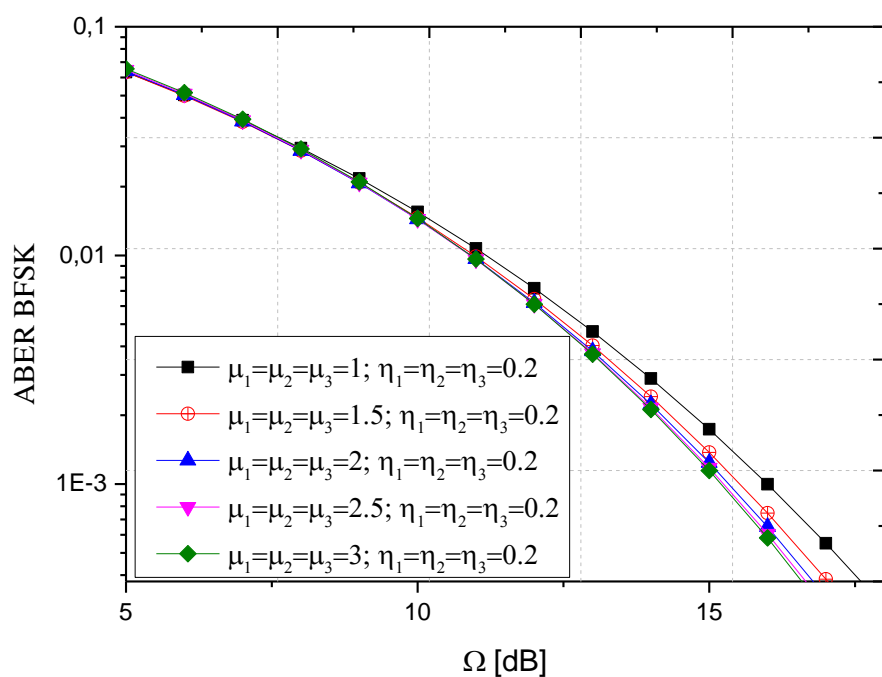
Na osnovu rezultata transformacija slučajnih promenljivih iz prethodnog izraza na slici 4.18 prikazana je gustina verovatnoće raspodele maksimuma tri η - μ slučajne promenljive za različite vrednosti parametara μ . Ovaj slučaj odgovara prijemu signala uz upotrebu diverziti tehnike selektivnog kombinovanja (SC - Selection Combining) signala sa tri grane. U tom slučaju SC prijemnik odabira i na izlaz vodi onu prijemnu granu koja ima najveću vrednost signala.

Na slici 4.19 predstavljene su vrednosti ABER za slučaj prijema pomoću SC kombinera sa tri grane za različite vrednosti parametara μ , koje su dobijene na osnovu izraza za maksimum tri η - μ slučajne promenljive. Razmatran je prenos pomoću BFSK modulacionog formata i sa slike je vidljivo da se manje vrednosti ABER, odnosno bolje performanse sistema postižu za slučajeve kada parametar μ uzima veće vrednosti.

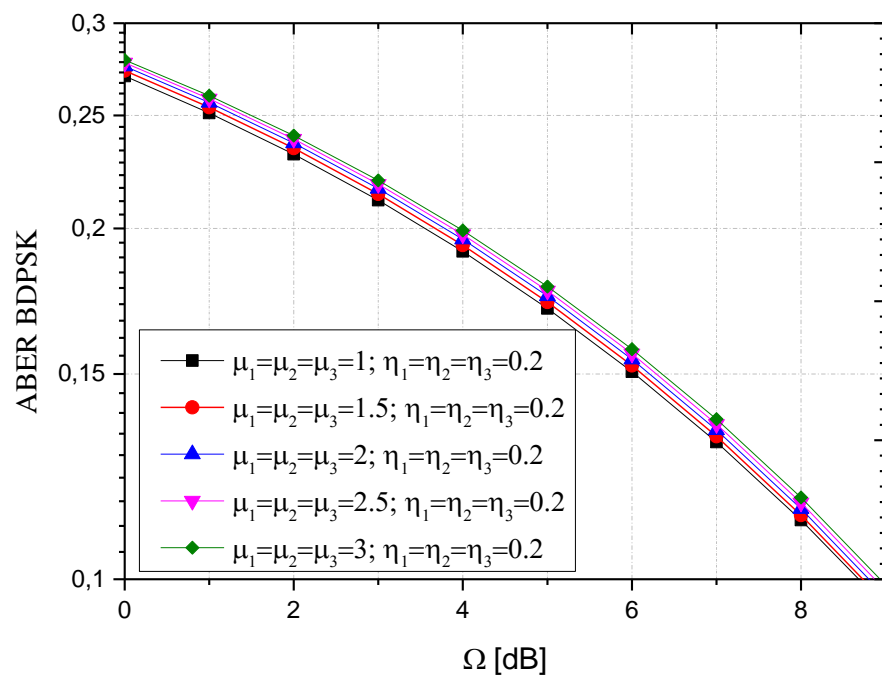
Na slikama 4.20, 4.21 i 4.22 predstavljene su vrednosti ABER za slučaj prijema pomoću SC kombinera sa tri grane za različite vrednosti parametara μ , koje su dobijene na osnovu izraza za maksimum tri η - μ slučajne promenljive. Razmatran je prenos pomoću BDPSK, CFSK i CPSK modulacionog formata i sa slika je vidljivo da se manje vrednosti ABER, odnosno bolje performanse sistema postižu za slučajeve kada parametar μ uzima veće vrednosti.



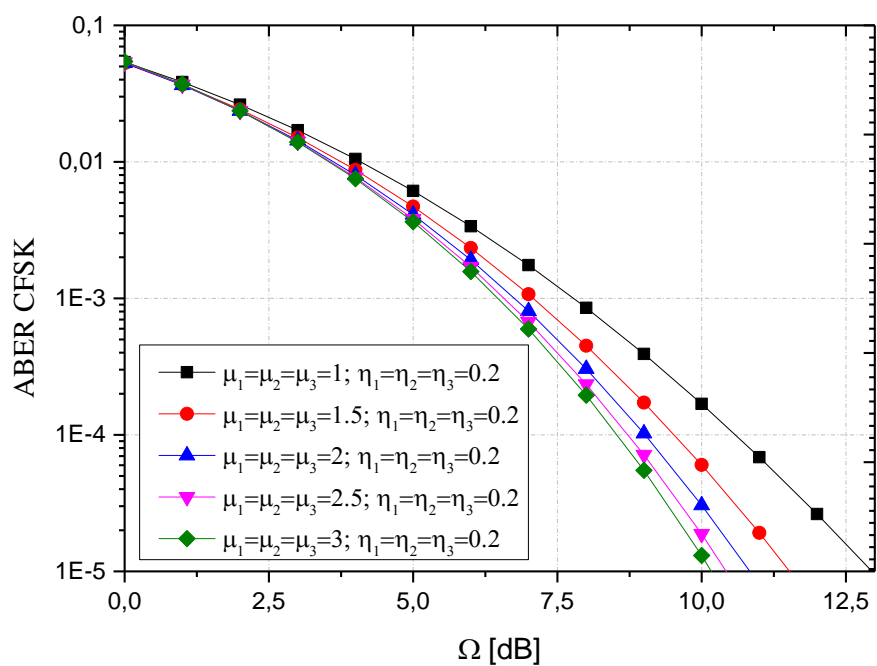
Slika 4.18: Funkcija gustine verovatnoće maksimuma tri η - μ slučajne promenljive.



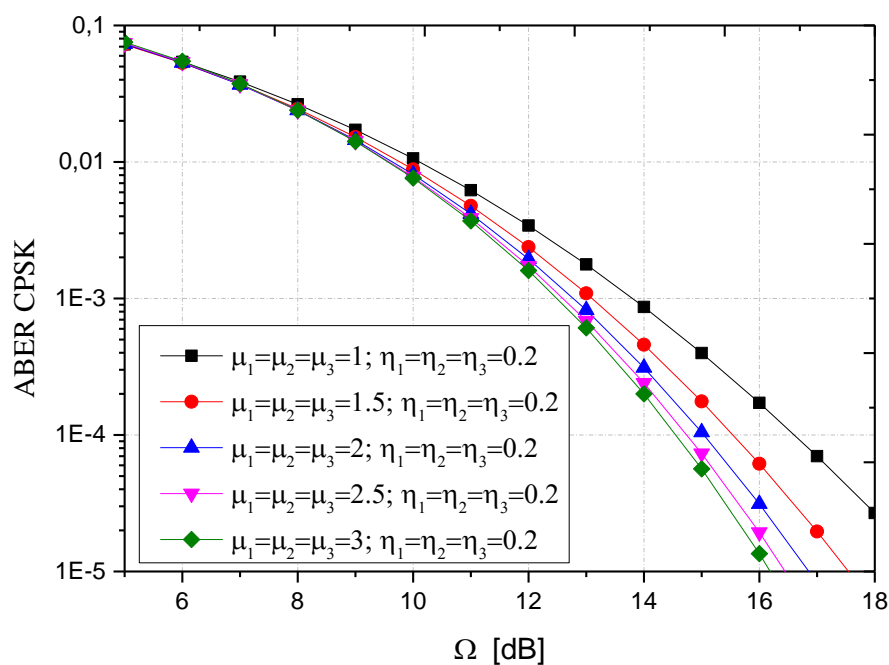
Slika 4.19: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.20: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu BDPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.21: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CFSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.



Slika 4.22: Vrednosti ABER za različite vrednosti μ pri prenosu CPSK modulacionim formatom za slučaj primene SC kombinovanja sa tri grane na prijemu.

Poređenjem vrednosti ABER sa slika 4.7, 4.8, 4.19 i 4.20 vidljivo je poboljšanje performansi prenosa signala za slučaj upotrebe SC kombinovanja sa tri grane na prijemu u odnosu na slučaj prijema kada se koristi SC kombiner sa dve prijemne grane.

5. STATISTIKA DRUGOG REDA η - μ SLUČAJNE PROMENLJIVE

U ovoj glavi razmatrane su statističke karakteristike drugog reda η - μ slučajne promenljive. Određen je srednji broj osnih preseka η - μ slučajnog procesa. Dobijeni izraz za srednji broj osnih preseka sadrži jedan integral. Srednji broj osnih preseka je važna karakteristika sistema jer je koristan u projektovanju mobilnih radio komunikacionih sistema kao i za analizu performansi istih. U digitalnim telekomunikacijama nagli pad vrednosti anvelope primljenog signala direktno vodi do drastičnog povećanja verovatnoće greške. Srednji broj osnih preseka jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda signala [89, 90]. Pomoću srednjeg broja osnih preseka signala može da se odredi srednje vreme trajanja otkaza sistema. Srednje vreme trajanja otkaza sistema se izračunava kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka signala [91, 92]. Takodje, srednji broj osnih preseka signala sadrži podatke o spektralnoj gustini snage korisnog signala. Poznavanje ovih veličina pruža dodatnu informaciju koja kada se kombinuje sa drugim statističkim podacima omogućava projektantima da naprave racionalna rešenja sistema.

Formirani su potpuno novi slučajni procesi koji mogu opisati feding u kanalima koji se nalaze u posebnim uslovima. Za sve ove slučajeve određen je srednji broj osnih preseka. Predstavljena je združena gustina verovatnoće zbira dve η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda zbira dve η - μ slučajne promenljive. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi srednji broj osnih preseka signala i srednje vreme trajanja otkaza bežičnog sistema koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom sa dva ulaza nakonjima je prisutan η - μ feding. Dat je izraz za združenu gustinu verovatnoće količnika dve η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda količnika dve η - μ slučajne promenljive. Pomoću ovog rezultata može da se odredi srednji broj osnih preseka količnika anvelope korisnog signala i interferencije bežičnog telekomunikacionog prijemnika kada je prisutan η - μ feding i međukanalna interferencija. Združena gustina verovatnoće proizvoda dve η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda proizvoda dve η - μ slučajne promenljive je bitna jer se dobijeni rezultat može upotrebiti za izračunavanje srednjeg broja osnih preseka anvelope signala bežičnog sistema u prisustvu dva brza η - μ fedinga. Zatim je određena združena gustina verovatnoće maksimuma dve η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda maksimuma dve η - μ slučajne promenljive. Dobijeni rezultat može da se upotrebi za izračunavanje srednjeg broja osnih preseka signala i srednjeg vremena trajanja otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverziti tehniku sa

selektivnim (SC) kombinerom sa dva ulaza na kojima se pojavljuje η - μ feding. Predstavljena je i združena gustina verovatnoće minimuma dve $\eta - \mu$ slučajne promenljive i prvog izvoda minimuma dve η - μ slučajne promenljive. Pomoću ovog rezultata može se odrediti srednje vreme trajanja otkaza bežičnog relejnog sistema sa dve deonice na kojima je prisutan η - μ feding. Pomoću izraza za združenu gustinu verovatnoće η - μ slučajne promenljive i njenog prvog izvoda određena je združena gustina verovatnoće kvadrata η - μ slučajne promenljive i njenog prvog izvoda. Takođe, dat je izraz za srednji broj osnih preseka kvadrata η - μ slučajne promenljive.

Formirana je združena gustina verovatnoće α - η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda α - η - μ slučajne promenljive. Koristeći ovu združenu gustine verovatnoće može se odrediti srednji broj osnih preseka α - η - μ slučajnog procesa. Predstavljena je i združena gustina verovatnoće zbira dve α - η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda zbira dve α - η - μ slučajne promenljive. Ovaj rezultat može se primeniti za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu α - η - μ fedinga koji koristi diverziti tehniku sa EGC kombinerom da se smanji uticaj fedinga na performanse sistema. Zatim je određena združena gustina verovatnoće proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive, združena gustina verovatnoće količnika dve α - η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda količnika dve α - η - μ slučajne promenljive.

U petom i šestom delu ove glave predstavljeni su slučajni procesi koji predstavljaju različite varijante η - μ slučajnog procesa. Za navedene slučajne procese predstavljeni su izrazi za srednji broj osnih preseka. Dobijeni izrazi mogu poslužiti za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza telekomunikacionih sistema u prisustvu η - μ fedinga i predstavljaju odličnu osnovu za dalju analizu performansi bežičnog prenosa u η - μ feding okruženju. Poznavanje ovih veličina pruža dodatnu informaciju koja kada se kombinuje sa drugim statističkim podacima omogućava projektantima da naprave racionalna rešenja sistema.

5.1. Srednji broj osnih preseka η - μ slučajne promenljive

Kvadrat η - μ slučajne promenljive je:

$$x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 + x_{\mu+1}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \quad (5.1)$$

gde su x_i , $i = 1, 2, \dots, 2\mu$ nezavisni Gausovi slučajni procesi sa srednjom vrednošću nula. Prvi μ Gausovi slučajni procesi imaju varijansu σ_1^2 i drugi μ Gausovi slučajni procesi imaju varijansu σ_2^2 . Prvi izvod od x je:

$$x\dot{x} = x_1\dot{x}_1 + x_2\dot{x}_2 + \dots + x_\mu\dot{x}_\mu + x_{\mu+1}\dot{x}_{\mu+1} + \dots + x_{2\mu}\dot{x}_{2\mu} \quad (5.2)$$

Prvi izvod Gausovog slučajnog procesa je Gausov slučajni proces. Linearna kombinacija Gausovih slučajnih procesa je Gausov slučajni proces. Zbog toga je \dot{x} Gausov slučajni proces. Srednja vrednost od \dot{x} je nula, a varijansa od \dot{x} je:

$$\sigma_{\dot{x}}^2 = \frac{1}{x^2} (x_1^2 \sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2 \sigma_{\dot{x}_2}^2 + x_\mu^2 \sigma_{\dot{x}_\mu}^2 + x_{\mu+1}^2 \sigma_{\dot{x}_{\mu+1}}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2) \quad (5.3)$$

gde je:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = \sigma_{\dot{x}_2}^2 = \dots = \sigma_{\dot{x}_\mu}^2 = \pi^2 f_m^2 2\sigma_1^2 \quad (5.4)$$

$$\sigma_{\dot{x}_{\mu+1}}^2 = \sigma_{\dot{x}_{\mu+2}}^2 = \dots = \sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 = \pi^2 f_m^2 2\sigma_2^2$$

Posle zamene, varijansa od \dot{x} postaje:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{x}}^2 &= \frac{2\pi^2 f_m^2}{x^2} (\sigma_1^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) + \sigma_2^2 (x_{\mu+1}^2 + \dots + x_{2\mu}^2)) \\ &= \frac{2\pi^2 f_m^2}{x^2} (\sigma_1^2 y_1 + \sigma_2^2 y_2) \end{aligned} \quad (5.5)$$

gde je:

$$y_1 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 \quad (5.6)$$

$$y_2 = x_{\mu+1}^2 + x_{\mu+2}^2 \dots + x_{2\mu}^2$$

i

$$x^2 = y_1 + y_2 \quad (5.7)$$

$$y_1 = x^2 - y_2$$

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

$$p_{x \dot{x} y_2}(x \dot{x} y_2) = p_x(\dot{x}/xy_2) p_{xy_2}(xy_2) = p_x(\dot{x}/xy_2) p_{y_2}(y_2) p_x(x/y_2) \quad (5.8)$$

$$p_x(x/y_2) = \left| \frac{dy_1}{dx} \right| p_{y_1}(x^2 - y_2) \quad (5.9)$$

gde je:

$$\left| \frac{dy_1}{dx} \right| = 2x \quad (5.10)$$

Posle zamene dobijamo:

$$p_x(x/y_2) = 2x p_{y_1}(x^2 - y_2) \quad (5.11)$$

$$p_{x \dot{x} y_2}(x \dot{x} y_2) = 2x p_{y_1}(x^2 - y_2) p_{y_2}(y_2) p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) \quad (5.12)$$

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

$$\begin{aligned} p_{x \dot{x}}(x \dot{x}) &= \int_0^{x^2} dy_2 p_{x \dot{x} y_2}(x \dot{x} y_2) \\ &= 2x \int_0^{x^2} dy_2 p_{y_1}(x^2 - y_2) p_{y_2}(y_2) p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Srednji broj osnih preseka od x je:

$$\begin{aligned} N_x &= \int_0^\infty dx \dot{x} p_{x \dot{x}}(x \dot{x}) = 2x \int_0^{x^2} dy_2 p_{y_1}(x^2 - y_2) p_{y_2}(y_2) \int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) \\ &= 2x \int_0^{x^2} dy_2 p_{y_1}(x^2 - y_2) p_{y_2}(y_2) \frac{\sigma_{\dot{x}}}{\sqrt{2\pi}} \end{aligned} \quad (5.14)$$

gde je:

$$\int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} p_{\dot{x}}(\dot{x}/xy_2) = \frac{\sigma_{\dot{x}}}{\sqrt{2\pi}} \quad (5.15)$$

Slučajne promenljive y_1 i y_2 su χ^2 slučajne promenljive:

$$\begin{aligned} p_{y_1}(y_1) &= \frac{2}{\Gamma(\mu/2)} \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} \right)^{\mu/2} y_1^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2} y_1^2}, \quad y_1 \geq 0 \\ p_{y_2}(y_2) &= \frac{2}{\Gamma(\mu/2)} \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} \right)^{\mu/2} y_2^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (5.16)$$

Posle zamene, srednji broj osnih preseka od x je:

$$\begin{aligned} N_x &= \frac{2\sqrt{2\pi} f_m}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{2}{\Gamma(\mu/2)} \right)^2 \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} \right)^\mu \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} \right)^\mu \cdot \int_0^{x^2} dy_2 \sqrt{\sigma_1^2(x^2 - y_2) + \sigma_2^2 y_2} \\ &\cdot (x^2 - y_2)^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(x^2 - y_2)^2} \cdot y_2^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2} y_2^2}, \quad y_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (5.17)$$

5.2. Združena gustina verovatnoće prostih funkcija η - μ slučajnih promenljivih i njenih prvih izvoda

Zbir dve η - μ slučajne promenljive i njegov prvi izvod je:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 \\ \dot{z} &= \dot{z}_1 + \dot{z}_2 \\ z_1 &= z - z_2 \\ \dot{z}_1 &= \dot{z} - \dot{z}_2 \end{aligned} \tag{5.18}$$

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

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}/z_2\dot{z}_2) = |J| p_{z_1\dot{z}_1}(z - z_2, \dot{z} - \dot{z}_2) \tag{5.19}$$

Gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial z} & \frac{\partial z_1}{\partial \dot{z}} \\ \frac{\partial \dot{z}_1}{\partial z} & \frac{\partial \dot{z}_1}{\partial \dot{z}} \end{vmatrix} = 1 \tag{5.20}$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \int_0^z dz_2 \int_{-\infty}^{\infty} d\dot{z}_2 p_{z_1\dot{z}_1}(z - z_2, \dot{z} - \dot{z}_2) p_{z_2\dot{z}_2}(z_2\dot{z}_2) \tag{5.21}$$

Kvadrat od η - μ slučajne promenljive je:

$$z^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 + y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 \tag{5.22}$$

Prvi izvod od z je:

$$\begin{aligned} 2z\dot{z} &= 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + \dots + 2x_\mu\dot{x}_\mu + 2y_1\dot{y}_1 + 2y_2\dot{y}_2 + \dots + 2y_\mu\dot{y}_\mu \\ \dot{z} &= \frac{1}{z} (x_1\dot{x}_1 + x_2\dot{x}_2 + \dots + x_\mu\dot{x}_\mu + y_1\dot{y}_1 + y_2\dot{y}_2 + \dots + y_\mu\dot{y}_\mu) \end{aligned} \tag{5.23}$$

Gustina verovatnoće od \dot{z} je [93]:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{z}}} e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \tag{5.24}$$

Varijansa od \dot{z} je:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = \frac{1}{z^2} (x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + x_\mu^2\sigma_{\dot{x}_\mu}^2 + y_1^2\sigma_{\dot{y}_1}^2 + y_2^2\sigma_{\dot{y}_2}^2 + \dots + y_\mu^2\sigma_{\dot{y}_\mu}^2) \tag{5.25}$$

gde je:

$$\begin{aligned}\sigma_{x_1}^2 &= \sigma_{x_2}^2 = \dots = \sigma_{x_\mu}^2 = \pi^2 f_m^2 \sigma_1^2 = f_1^2 \\ \sigma_{y_1}^2 &= \sigma_{y_2}^2 = \dots = \sigma_{y_\mu}^2 = \pi^2 f_m^2 \sigma_2^2 = f_2^2\end{aligned}\tag{5.26}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned}\sigma_z^2 &= \frac{1}{z^2} \left(f_1^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) + f_2^2 (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2) \right) \\ \sigma_z^2 &= \frac{1}{z^2} \left[f_1^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) + f_2^2 (z^2 - (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2)) \right]\end{aligned}\tag{5.27}$$

Neka je:

$$\begin{aligned}w &= x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 \\ s &= y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2\end{aligned}\tag{5.28}$$

Zamenom se dobija:

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{z^2} [f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)]\tag{5.29}$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{z} je:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}/z, w) = \frac{z}{\sqrt{2\pi} \sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)}} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w))}}\tag{5.30}$$

Združena gustina verovatnoće od z , \dot{z} i w je:

$$p_{z\dot{z}w}(z\dot{z}w) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/z, w) p_{zw}(zw)\tag{5.31}$$

gde je:

$$p_{zw}(zw) = p_z(Z/W) p_w(w)\tag{5.32}$$

Gustine verovatnoće od w i s su:

$$\begin{aligned}p_w(w) &= \frac{1}{(\sigma_1^2)^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}}, \quad w \geq 0 \\ p_s(s) &= \frac{1}{(\sigma_1^2)^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} s^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{s}{2\sigma_1^2}}, \quad s \geq 0\end{aligned}\tag{5.33}$$

Na osnovu relacija:

$$\begin{aligned}z^2 &= w + s \\ z &= \sqrt{w + s} \\ s &= z^2 - w\end{aligned}\tag{5.34}$$

Uslovna gustina verovatnoće od z dobija oblik:

$$p_z(z/w) = \left| \frac{ds}{dz} \right| p_s(z^2 - w) \quad (5.35)$$

gde je:

$$\frac{ds}{dz} = 2z \quad (5.36)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/w) = 2z p_s(z^2 - w) \quad (5.37)$$

Nakon toga uslovna gustina verovatnoće dobija oblik:

$$p_z(z/w) = 2z \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w)} \quad (5.38)$$

Združena gustina verovatnoće od z i w je:

$$\begin{aligned} p_{zw}(zw) &= p_z(z/w) p_w(w) = \\ &= \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w)} \cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \end{aligned} \quad (5.39)$$

Združena gustina verovatnoće od z, \dot{z} i w je:

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}w}(z\dot{z}w) &= p_{\dot{z}}(\dot{z}/zw) p_{zw}(zw) = \\ &= \frac{z}{\sqrt{2\pi} \sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)}} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w))}} \\ &\cdot \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w)} \cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \end{aligned} \quad (5.40)$$

Integracijom se dobija združena gustina verovatnoće od z i \dot{z} :

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= \int_0^{z^2} dw p_{z\dot{z}w}(z\dot{z}w) = \\ &= \int_0^{z^2} dw \frac{z}{\sqrt{2\pi} \sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)}} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w))}} \\ &\cdot \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w)} \cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \end{aligned} \quad (5.41)$$

Srednji broj osnih preseka od z je [93]:

$$\begin{aligned}
N_z &= \int_0^\infty \dot{z} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) d\dot{z} = \int_0^{z^2} dw \frac{z}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2(z^2 - w)}} \\
&\cdot \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w)} \\
&\cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \cdot \int_0^\infty \dot{z} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2(z^2 - w))}} d\dot{z} \\
&= A \int_0^{z^2} dw \frac{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2(z^2 - w)}}{z} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2-w) - \frac{w}{2\sigma_1^2}}
\end{aligned} \tag{5.42}$$

gde je:

$$A = \frac{1}{2\pi} \frac{4z^2}{(\sigma_1 \sigma_2)^{\frac{\mu}{2}} z^\mu \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)^2} \tag{5.43}$$

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

$$\begin{aligned}
p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= \int_0^z dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 p_{z_1 \dot{z}_1}(z - z_2, \dot{z} - \dot{z}_2) p_{z_2 \dot{z}_2}(z_2 \dot{z}_2) \\
&= \int_0^z dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 \cdot A \int_0^{z_1^2} dw \frac{z - z_2}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2(z^2 - w)}} e^{-\frac{(z-z_2)^2(\dot{z}-\dot{z}_2)^2}{2(f_1^2 w + f_2^2(z^2 - w))}} \\
&\cdot ((z - z_2)^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}((z-z_2)^2-w)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \\
&\cdot A \int_0^{z_2^2} dw \frac{z_2}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2(z_2^2 - w)}} e^{-\frac{(z-z_2)^2(\dot{z}-\dot{z}_2)^2}{2(f_1^2 w + f_2^2(z_2^2 - w))}} \\
&\cdot (z_2^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z_2^2-w)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}}
\end{aligned} \tag{5.44}$$

Proizvod dve η - μ slučajne promenljive je:

$$\begin{aligned}
z &= z_1 z_2 \\
z_1 &= \frac{z}{z_2}
\end{aligned} \tag{5.45}$$

Prvi izvod od \dot{z} je:

$$\dot{z} = \dot{z}_1 z_2 + z_1 \dot{z}_2 \tag{5.46}$$

Signal \dot{z}_1 je jednak:

$$\dot{z}_1 = \frac{\dot{z}}{z_2} - \frac{z\dot{z}_2}{z_2^2} \quad (5.47)$$

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

$$p_{z\dot{z}}\left(\frac{z\dot{z}}{z_2\dot{z}_2}\right) = ||| p_{z_1\dot{z}_1}\left(\frac{z}{z_2}, \frac{\dot{z}}{z_2} - \frac{z\dot{z}_2}{z_2^2}\right) \quad (5.48)$$

gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial z} & \frac{\partial z_1}{\partial \dot{z}} \\ \frac{\partial z_2}{\partial z} & \frac{\partial z_2}{\partial \dot{z}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{z_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{z_2} \end{vmatrix} = \frac{1}{z_2^2} \quad (5.49)$$

Zamenom se dobija:

$$p_{z\dot{z}}\left(\frac{z\dot{z}}{z_2\dot{z}_2}\right) = \frac{1}{z_2^2} p_{z_1\dot{z}_1}\left(\frac{z}{z_2}, \frac{\dot{z}}{z_2} - \frac{z\dot{z}_2}{z_2^2}\right) \quad (5.50)$$

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

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= \int_0^\infty dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 \frac{1}{z_2^2} p_{z_1\dot{z}_1}\left(\frac{z}{z_2}, \frac{\dot{z}}{z_2} - \frac{z\dot{z}_2}{z_2^2}\right) p_{z_2\dot{z}_2}(z_2\dot{z}_2) = \\ &= \int_0^\infty dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 \frac{1}{z_2^2} \cdot \left(\int_0^\infty dw \frac{\frac{z}{z_2}}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 \left(\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 - w\right)}} e^{-\frac{\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 \left(\frac{\dot{z}}{z_2} - \frac{z\dot{z}_2}{z_2^2}\right)^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 \left(\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 - w\right))}} \right. \\ &\cdot \left. \left. \left. \left. \left(\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 - w\right)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2} \left(\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 - w\right)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \right) \right) \right. \\ &\cdot \left. \left. \left. \left. \int_0^{\frac{z_2^2}{z_2^2}} dw \frac{z_2^2}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z_2^2 - w)}} e^{-\frac{z_2^2 \dot{z}_2^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z_2^2 - w))}} \right) \right) \right. \\ &\cdot \left. \left. \left. \left. (z_2^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2} (z_2^2 - w)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \right) \right) \right) \quad (5.51) \end{aligned}$$

Količnik dve η - μ slučajne promenljive je:

$$z = \frac{z_1}{z_2}, \quad z_1 = z \cdot z_2$$

$$\dot{z} = \frac{\dot{z}_1}{z_2} - \frac{z_1 \dot{z}_2}{z_2^2} \quad (5.52)$$

$$\dot{z}_1 = \dot{z} \cdot z_2 + z \cdot \dot{z}_2$$

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

$$p_{z\dot{z}}\left(\frac{z\dot{z}}{z_2\dot{z}_2}\right) = |J| p_{z_1\dot{z}_1}(z \cdot z_2, \dot{z} \cdot z_2 + z \cdot \dot{z}_2) \quad (5.53)$$

gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial z} & \frac{\partial z_1}{\partial \dot{z}} \\ \frac{\partial \dot{z}_1}{\partial z} & \frac{\partial \dot{z}_1}{\partial \dot{z}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} z_2 & 0 \\ 0 & z_2 \end{vmatrix} = z_2^2 \quad (5.54)$$

Zamenom se dobija:

$$p_{z\dot{z}}\left(\frac{z\dot{z}}{z_2\dot{z}_2}\right) = z_2^2 p_{z_1\dot{z}_1}(z \cdot z_2, \dot{z} \cdot z_2 + z \cdot \dot{z}_2) \quad (5.55)$$

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

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \int_0^\infty dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 z_2^2 \dot{z}_2^2 p_{z_1\dot{z}_1}(z \cdot z_2, \dot{z} \cdot z_2 + z \cdot \dot{z}_2) p_{z_2\dot{z}_2}(z_2\dot{z}_2)$$

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = A^2 \int_0^\infty dz_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{z}_2 z_2^2$$

$$\cdot \left(\int_0^{(z \cdot z_2)^2} dw \frac{z \cdot z_2}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 \left(\left(\frac{z}{z_2}\right)^2 - w\right)}} e^{-\frac{(z \cdot z_2)^2 (\dot{z} \cdot z_2 + z \cdot \dot{z}_2)^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 ((z \cdot z_2)^2 - w))}} \right.$$

$$\cdot \left. \left((z \cdot z_2)^2 - w \right)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}((z \cdot z_2)^2 - w)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \right)$$

$$\cdot \left(\int_0^{z_2^2} dw \frac{z_2^2}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z_2^2 - w)}} e^{-\frac{z_2^2 \dot{z}_2^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z_2^2 - w))}} \right.$$

$$\cdot \left. (z_2^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z_2^2 - w)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \right)$$
(5.56)

Maksimum dve η - μ slučajne promenljive je:

$$z = \max(z_1, z_2) \quad (5.57)$$

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

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) F_{z_2}(z) + p_{z_2\dot{z}_2}(z\dot{z}) F_{z_1}(z) = 2p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) F_{z_2}(z) = \\ &= 2 \int_0^{z^2} dw \frac{z}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)}} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w))}} \\ &\cdot \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2 - w)} \cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \\ &\cdot a \sum_{i=1}^{\infty} b_{1i} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{i+2\mu} \gamma(i + 2\mu, \alpha z^2) \end{aligned} \quad (5.58)$$

Minimum dve η - μ slučajne promenljive je:

$$z = \min(z_1, z_2) \quad (5.59)$$

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

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) (1 - F_{z_2}(z)) + p_{z_2\dot{z}_2}(z\dot{z}) (1 - F_{z_1}(z)) \\ &= 2p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) (1 - F_{z_2}(z)) = \\ &= 2 \int_0^{z^2} dw \frac{z}{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w)}} e^{-\frac{z^2 \dot{z}^2}{2(f_1^2 w + f_2^2 (z^2 - w))}} \\ &\cdot \frac{2z}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z^2 - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z^2 - w)} \\ &\cdot \frac{2z}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \cdot \left(1 - a \sum_{i=0}^{\infty} b_{1i} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{i+2\mu} \gamma(i + 2\mu, \alpha z^2)\right) \end{aligned} \quad (5.60)$$

5.3. Srednji broj osnih preseka kvadrata η - μ slučajne promenljive

Kvadrat η - μ slučajne promenljive i njen prvi izvod je:

$$\begin{aligned} y &= z^2 \\ z &= y^{\frac{1}{2}} \\ \dot{y} &= 2z\dot{z} \\ \dot{z} &= \frac{1}{2}y^{-\frac{1}{2}}\dot{y} \end{aligned} \tag{5.61}$$

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

$$p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = ||| p_{zz} \left(y^{\frac{1}{2}}, \frac{1}{2}y^{-\frac{1}{2}}\dot{y} \right) \tag{5.62}$$

gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial z}{\partial y} & \frac{\partial z}{\partial \dot{y}} \\ \frac{\partial \dot{z}}{\partial y} & \frac{\partial \dot{z}}{\partial \dot{y}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2}y^{-\frac{1}{2}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}y^{-\frac{1}{2}} \end{vmatrix} = \frac{1}{4y} \tag{5.63}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned} p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) &= \frac{1}{4y} p_{zz} \left(y^{\frac{1}{2}}, \frac{1}{2}y^{-\frac{1}{2}}\dot{y} \right) = \\ &= \frac{1}{4y} \int_0^y dw \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (y-w)}} e^{-\frac{y\dot{y}^2}{8y(f_1^2 w + f_2^2 (y-w))}} \\ &\cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(y-w)} \cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \end{aligned} \tag{5.64}$$

Srednji broj osnih preseka od y je:

$$\begin{aligned} N_y &= \int_0^\infty \dot{y} p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) d\dot{y} \\ &= \int_0^\infty \dot{y} d\dot{y} \frac{1}{4y} \int_0^y dw \left(\frac{\sqrt{y}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (y-w)}} e^{-\frac{y\dot{y}^2}{8y(f_1^2 w + f_2^2 (y-w))}} \right. \\ &\cdot \left. \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(y-w)} \cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \right) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4y} \int_0^y dw \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (y-w)}} \cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(y-w)} \\
&\cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \cdot \int_0^\infty \dot{y} e^{-\frac{y^2}{8(f_1^2 w + f_2^2 (y-w))}} d\dot{y} \\
&= \frac{1}{4y} \int_0^y dw \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (y-w)}} \cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(y-w)} \\
&\cdot \frac{2\sqrt{y}}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \cdot 4(f_1^2 w + f_2^2 (y-w)) \\
&= \frac{1}{4y} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} 4y\sqrt{y} \frac{4}{(\sigma_1\sigma_2)^2 z^\mu \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)^2} e^{-\frac{y}{2\sigma_2^2}} \\
&\cdot \int_0^\infty dw \sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (y-w)} \cdot (y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-w\left(\frac{1}{2\sigma_1^2} - \frac{1}{2\sigma_2^2}\right)}
\end{aligned} \tag{5.65}$$

5.4. Srednji broj osnih preseka prostih funkcija α - η - μ slučajne promenljive

α - η - μ slučajna promenljiva i njen prvi izvod su jednaki:

$$\begin{aligned}
x &= \frac{2}{z^\alpha}, & z &= x^{\frac{\alpha}{2}} \\
\dot{x} &= \frac{2}{\alpha} z^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{z} \\
\dot{z} &= \frac{\alpha}{2} x^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{x}
\end{aligned} \tag{5.66}$$

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

$$p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) = ||| p_{zz} \left(x^{\frac{\alpha}{2}}, \frac{\alpha}{2} x^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{x} \right) \tag{5.67}$$

gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial z}{\partial x} & \frac{\partial z}{\partial \dot{x}} \\ \frac{\partial \dot{z}}{\partial x} & \frac{\partial \dot{z}}{\partial \dot{x}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} x^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} x^{\frac{\alpha}{2}-1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \tag{5.68}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned}
p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} p_{z\dot{z}}\left(x^{\frac{\alpha}{2}}, \frac{\alpha}{2} x^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{x}\right) = \\
&= \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \cdot \int_0^{x^\alpha} dw \frac{x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w)}}} \cdot e^{-\frac{x^\alpha}{2(f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w))}} \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \cdot \dot{x}^2 \\
&\cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (x^\alpha - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x^\alpha - w)} \cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}}
\end{aligned} \tag{5.69}$$

Srednji broj osnih preseka je jednak:

$$\begin{aligned}
N_x &= \int_0^\infty \dot{x} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) d\dot{x} \\
&= \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \cdot \int_0^{x^\alpha} dw \frac{x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w)}}} \cdot \int_0^\infty \dot{x} d\dot{x} e^{-\frac{x^\alpha}{2(f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w))}} \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \cdot \dot{x}^2 \\
&\cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (x^\alpha - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x^\alpha - w)} \cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}} \\
&= \frac{\alpha^2}{4} x^{\alpha-2} \int_0^{x^\alpha} dw \frac{x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w)}}} \cdot \frac{4 \left(\sqrt{\sqrt{f_1^2 w + f_2^2 (x^\alpha - w)}}^2 \right)}{x^{2\alpha-2} \alpha^2} \\
&\cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (x^\alpha - w)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x^\alpha - w)} \cdot \frac{2x^{\frac{\alpha}{2}}}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{w}{2\sigma_1^2}}
\end{aligned} \tag{5.70}$$

Zbir dve α - η - μ slučajne promenljive i zbir njihovih izvoda je:

$$\begin{aligned}
y &= y_1 + y_2 \\
y_1 &= y - y_2 \\
\dot{y} &= \dot{y}_1 + \dot{y}_2 \\
\dot{y}_1 &= \dot{y} - \dot{y}_2
\end{aligned} \tag{5.71}$$

Združena gustina verovatnoće zbira dve α - η - μ slučajne promenljive i njihov prvi izvod je:

$$p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = \int_0^y dy_2 \int_{-\infty}^{\dot{y}} d\dot{y}_2 p_{y_1\dot{y}_1}(y - y_2, \dot{y} - \dot{y}_2) p_{y_2\dot{y}_2}(y_2\dot{y}_2) \tag{5.72}$$

Proizvod dve α - η - μ slučajne promenljive i njihov prvi izvod je:

$$\begin{aligned}
y &= y_1 y_2 \\
y_1 &= \frac{y}{y_2} \\
\dot{y} &= \dot{y}_1 y_2 + y_1 \dot{y}_2 \\
\dot{y}_1 &= \frac{\dot{y}}{y_2} - \frac{y \dot{y}_2}{y_2^2}
\end{aligned} \tag{5.73}$$

Združena gustina verovatnoće proizvoda dve α - η - μ slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda je:

$$\begin{aligned}
p_{y\dot{y}}(y\dot{y} / y_2\dot{y}_2) &= |J| p_{y_1\dot{y}_1} \left(\frac{y}{y_2}, \frac{\dot{y}}{y_2} - \frac{y\dot{y}_2}{y_2^2} \right) \\
|J| &= \frac{1}{y_2^2} \\
p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) &= \int_0^\infty dy_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{y}_2 \frac{1}{y_2^2} p_{y_1\dot{y}_1} \left(\frac{y}{y_2}, \frac{\dot{y}}{y_2} - \frac{y\dot{y}_2}{y_2^2} \right) p_{y_2\dot{y}_2}(y_2\dot{y}_2)
\end{aligned} \tag{5.74}$$

Količnik dve α - η - μ slučajne promenljive i njihov prvi izvod su jednaki:

$$\begin{aligned}
y &= \frac{y_1}{y_2} \\
y_1 &= y \cdot y_2 \\
\dot{y} &= \frac{\dot{y}_1}{y_2} - \frac{y_1 \cdot \dot{y}_2}{y_2^2} \\
\dot{y}_1 &= \dot{y} y_2 + y \dot{y}_2
\end{aligned} \tag{5.75}$$

Združena gustina verovatnoće od količnika dve α - η - μ slučajne promenljive i njegovog prvog izvoda je:

$$\begin{aligned}
p_{y\dot{y}}(y\dot{y} / y_2\dot{y}_2) &= |J| p_{y_1\dot{y}_1}(y y_2, \dot{y} y_2 + y \dot{y}_2) \\
|J| &= y_2^2 \\
p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) &= \int_0^\infty dy_2 \int_{-\infty}^\infty d\dot{y}_2 y_2^2 p_{y_1\dot{y}_1}(y y_2, \dot{y} y_2 + y \dot{y}_2) p_{y_2\dot{y}_2}(y_2\dot{y}_2)
\end{aligned} \tag{5.76}$$

5.5. Srednji broj osnih preseka η - μ slučajnih promenljivih višeg reda

Razmatra se zbir 2μ nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih. Sve Gausove slučajne promenljive imaju srednju vrednost nula. Prvih μ Gausovih slučajnih promenljivih imaju varijansu σ_1^2 , a drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih imaju varijansu σ_2^2 .

Na osnovu ovoga zbir z je χ^2 slučajna promenljiva.

$$z = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 + y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 \quad (5.77)$$

Prvi izvod od slučajne promenljive z je:

$$\dot{z} = 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + \dots + 2x_\mu\dot{x}_\mu + 2y_1\dot{y}_1 + 2y_2\dot{y}_2 + \dots + 2y_\mu\dot{y}_\mu \quad (5.78)$$

Prvi izvod od Gausove slučajne promenljive je Gausova slučajna promenljiva. Zbog ovoga su $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{y}_1, \dot{y}_2, \dots, \dot{y}_\mu$ Gausove slučajne promenljive. Linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih je Gausova slučajna promenljiva. Na osnovu ovoga \dot{z} ima uslovnu Gausovu gustinu verovatnoće:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\dot{z}}} \rho^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \quad (5.79)$$

Varijansa od \dot{z} je:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4x_1^2\sigma_x^2 + 4x_2^2\sigma_x^2 + \dots + 4x_\mu^2\sigma_x^2 + 4y_1^2\sigma_y^2 + 4y_2^2\sigma_y^2 + \dots + 4y_\mu^2\sigma_y^2 \quad (5.80)$$

gde je:

$$\begin{aligned} \sigma_{x_1}^2 &= \sigma_{y_2}^2 = \dots = \sigma_{x_\mu}^2 = f_1^2 \\ \sigma_{y_1}^2 &= \sigma_{y_2}^2 = \dots = \sigma_{y_\mu}^2 = f_2^2 \end{aligned} \quad (5.81)$$

Nakon zamene izraz za varijansu postaje:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4f_1^2(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) + 4f_2^2(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2) \quad (5.82)$$

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4f_1^2x + 4f_2^2y \quad (5.83)$$

gde je:

$$\begin{aligned} x &= x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 \\ y &= y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 \end{aligned} \quad (5.84)$$

Gustine verovatnoća od x i y su:

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma_1^{\mu/2} z^{\mu/2} \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \rho^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \quad (5.85)$$

$$p_y(y) = \frac{1}{\sigma_1^{\mu/2} z^{\mu/2} \Gamma(\mu/2)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} \rho^{-\frac{1}{2\sigma_2^2} y}, \quad y \geq 0 \quad (5.86)$$

Slučajna promenljiva z jednaka je zbiru slučajnih promenljivih x i y :

$$\begin{aligned} z &= x + y \\ x &= z - y \\ y &= z - x \end{aligned} \quad (5.87)$$

Izraz za varijansu od z se svodi na izraz:

$$\sigma_z^2 = f_1^2 x + f_2^2 (z - x) \quad (5.88)$$

Standardna devijacija je jednaka:

$$\sigma_z = \sqrt{f_1^2 x + f_2^2 (z - x)} \quad (5.89)$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je:

$$p_z(z/x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \cdot e^{-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 x + f_2^2 (z-x)}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2(f_1^2 x + f_2^2 (z-x))}} \quad (5.90)$$

Združena gustina verovatnoće od z i x je:

$$p_z(z/x) = p_z(z/x) \cdot p_x(x) \quad (5.91)$$

gde je:

$$p_{xz}(zx) = p_x(x) \cdot p_z(z/x) \quad (5.92)$$

pošto je:

$$\begin{aligned} z &= x + y \\ y &= z - x \end{aligned} \quad (5.93)$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je jednaka:

$$p_z(z/x) = \left| \frac{dy}{dz} \right| p_y(z-x) \quad (5.94)$$

gde je:

$$\frac{dy}{dz} = 1 \quad (5.95)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/x) = p_y(z-x) = \frac{1}{\sigma_2^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)} \quad (5.96)$$

Združena gustina verovatnoće od \dot{z} , x i z postaje:

$$\begin{aligned}
 p_{\dot{z}xz}(\dot{z}xz) &= p_{\dot{z}}(\dot{z}/xz) p_{xz}(xz) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/xz)p_x(x)p_z(z/x) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2x + f_2^2(z-x)}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_1^2x+f_2^2(z-x))}} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)}
 \end{aligned} \tag{5.97}$$

Združena gustina verovatnoće od slučajne promenljive z i prvog izvoda od slučajne promenljive z je:

$$\begin{aligned}
 p_{zz}(\dot{z}z) &= \int_0^z p_{\dot{z}zx}(\dot{z}zx) dx = \\
 &= \int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2x + f_2^2(z-x)}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_1^2x+f_2^2(z-x))}} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \rho^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)} dx
 \end{aligned} \tag{5.98}$$

Srednji broj osnih preseka slučajne promenljive z može se izraziti kao srednja vrednost od prvog izvoda od z :

$$\begin{aligned}
 N_z &= \int_0^\infty \dot{z} p_{zz}(\dot{z}z) dz = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z dx \sqrt{f_1^2x + f_2^2(z-x)} \cdot \frac{1}{(\sigma_1\sigma_2)^2 z^\mu (\Gamma(\mu/2))^2} \cdot \\
 &\cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)} = \\
 &= \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}z}}{\sqrt{2\pi}(\sigma_1\sigma_2)^{\mu/2}(\Gamma(\mu/2))^2} \int_0^z dx \sqrt{f_1^2x + f_2^2(z-x)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-x\left(\frac{1}{2\sigma_1^2} - \frac{1}{2\sigma_2^2}\right)}
 \end{aligned} \tag{5.99}$$

Slučajna promenljiva z je jednaka zbiru 3μ Gausovih slučajnih promenljivih. Gausove slučajne promenljive su nezavisne i sa srednjim vrednostima nula. Varijanse prvih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_1^2 , varijanse drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih σ_2^2 i varijanse trećih μ Gausovih slučajnih promenljivih σ_3^2 . Slučajna promenljiva z je jednaka:

$$z = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 + y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 + w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2 = x + y + w \quad (5.100)$$

gde je:

$$\begin{aligned} x &= x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 \\ y &= y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 \\ w &= w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2 \end{aligned} \quad (5.101)$$

Gustine verovatnoća od x , y i z su:

$$\begin{aligned} p_x(x) &= \frac{1}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \\ p_y(y) &= \frac{1}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y}, \quad y \geq 0 \\ p_w(w) &= \frac{1}{\sigma_3^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w}, \quad w \geq 0 \end{aligned} \quad (5.102)$$

Prvi izvod od slučajne promenljive z je:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + \dots + 2x_\mu\dot{x}_\mu + 2y_1\dot{y}_1 + 2y_2\dot{y}_2 + \dots + 2y_\mu\dot{y}_\mu + 2w_1\dot{w}_1 \\ &+ 2w_2\dot{w}_2 + \dots + 2w_\mu\dot{w}_\mu \end{aligned} \quad (5.103)$$

Slučajna promenljiva \dot{z} ima Gausovu gustinu verovatnoće:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\dot{z}}} e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \quad (5.104)$$

Varijansa od \dot{z} može da se izračuna na sledeći način:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= 4x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + 4x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + 4x_\mu^2\sigma_{\dot{x}_\mu}^2 + 4y_1^2\sigma_{\dot{y}_1}^2 + 4y_2^2\sigma_{\dot{y}_2}^2 + \dots + 4y_\mu^2\sigma_{\dot{y}_\mu}^2 \\ &+ 4w_1^2\sigma_{\dot{w}_1}^2 + 4w_2^2\sigma_{\dot{w}_2}^2 + \dots + 4w_\mu^2\sigma_{\dot{w}_\mu}^2 \end{aligned} \quad (5.105)$$

gde je:

$$\sigma_{\dot{x}_1}^2 = f_1^2, \quad \sigma_{\dot{x}_2}^2 = f_2^2, \quad \dots, \quad \sigma_{\dot{x}_\mu}^2 = f_\mu^2 \quad (5.106)$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= 4f_1^2(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) + 4f_2^2(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2) \\ &+ 4f_3^2(w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2) = 4f_1^2x + 4f_2^2y + 4f_3^2w \end{aligned} \quad (5.107)$$

Na osnovu izraza:

$$z = x + y + w \quad (5.108)$$

$$w = z - x - y$$

izraz za varijansu postaje:

$$\begin{aligned} \sigma_z^2 &= 4f_1^2 x + 4f_2^2 y + 4f_3^2 w (z - x - y) = \\ &= 4f_3^2 z + x(4f_1^2 - 4f_3^2) + y(4f_2^2 - 4f_3^2) \end{aligned} \quad (5.109)$$

Standardna devijacija od \dot{z} je jednaka:

$$\sigma_{\dot{z}} = 2 \sqrt{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)} \quad (5.110)$$

Uslovna gustina verovatnoće od prvog izvoda od z je Gausova:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z} / x, y) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \sqrt{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{8(f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2))}} \quad (5.111)$$

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

$$p_{\dot{z}zxy}(\dot{z}zxy) = p_{\dot{z}}(\dot{z} / zxy) \cdot p_{zxy}(zxy) \quad (5.112)$$

gde je:

$$p_{zxy}(zxy) = p_z(z/xy) \cdot p_{xy}(xy) = p_z(z/xy)p_x(x) \cdot p_y(y) \quad (5.113)$$

Zamenom se dobija:

$$p_{\dot{z}zxy}(\dot{z}zxy) = p_{\dot{z}}(\dot{z} / zxy) \cdot p_z(z/xy) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) \quad (5.114)$$

Na osnovu relacije:

$$z = x + y + w \quad (5.115)$$

$$w = z - x - y$$

Izraz za uslovnu gustinu verovatnoće postaje:

$$p_z(z/xy) = \left| \frac{dw}{dz} \right| p_w(z - x - y) \quad (5.116)$$

gde je:

$$\frac{dw}{dz} = 1 \quad (5.117)$$

Uslovna gustina verovatnoće $p_z(z/xy)$ je:

$$p_z(z/xy) = p_w(z - x - y) \quad (5.118)$$

Zamenom se dobija:

$$p_{\dot{z}zxy}(\dot{z}zxy) = p_{\dot{z}}(\dot{z} / zxy) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) p_w(z - x - y) \quad (5.119)$$

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

$$\begin{aligned}
 p_{\dot{z}z}(\dot{z}z) &= \int_0^z dx \int_0^{z-x} dy \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zxy) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) p_w(z-x-y) = \\
 &= \int_0^z dx \int_0^{z-x} dy \cdot \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sqrt{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{8(f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2))}} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_1^{\mu/2} z^{\mu/2} \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} y^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}y} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_3^{\mu/2} \cdot z^{\mu/2} \cdot \Gamma(\mu/2)} \cdot (z-x-y)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}(z-x-y)}
 \end{aligned} \tag{5.120}$$

Srednji broj osnih preseka od z se dobija integracijom:

$$\begin{aligned}
 N_z &= \int_0^\infty \dot{z} p_{\dot{z}z}(\dot{z}z) d\dot{z} = \\
 &= \frac{1}{(\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3)^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} (\Gamma(\mu/2))^3} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^z dx \int_0^{z-x} dy x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} (z-x-y)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot \\
 &\cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x - \frac{1}{2\sigma_2^2}y - \frac{1}{2\sigma_3^2}(z-x-y)} \\
 &\cdot \int_0^\infty d\dot{z} \dot{z} \cdot \frac{1}{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{8(f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2))}} \\
 &= \frac{1}{(\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3)^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} (\Gamma(\mu/2))^3} \frac{xz}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^z dx \int_0^{z-x} dy x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} (z-x-y)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot \\
 &\cdot e^{\frac{1}{2\sigma_1^2}z-x \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} - \frac{1}{2\sigma_3^2}\right) - y \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} - \frac{1}{2\sigma_3^2}\right)} \cdot \sqrt{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)} = \\
 &= \frac{2}{\sqrt{2\pi}(\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3)^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} (\Gamma(\mu/2))^3} \int_0^z dx \int_0^{z-x} dy \sqrt{f_3^2 z + x(f_1^2 - f_3^2) + y(f_2^2 - f_3^2)} \\
 &\cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} y^{\frac{\mu}{2}-1} (z-x-y)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{\frac{1}{2\sigma_1^2}z-x \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} - \frac{1}{2\sigma_3^2}\right) - y \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} - \frac{1}{2\sigma_3^2}\right)}
 \end{aligned} \tag{5.121}$$

Slučajna promenljiva z je jednaka zbiru 4μ Gausovih slučajnih promenljivih. Gausove slučajne promenljive imaju srednju vrednost nula. Varijanse prvih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_1^2 , varijanse drugih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_2^2 , varijanse trećih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_3^2 i varijanse četvrtih μ Gausovih slučajnih promenljivih su σ_4^2 . Slučajna promenljiva z je jednaka:

$$z = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 + y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 + w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2 + c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_\mu^2 \tag{5.122}$$

Ako je:

$$\begin{aligned}
 x &= x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2 \\
 y &= y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2 \\
 w &= w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2 \\
 c &= c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_\mu^2
 \end{aligned} \tag{5.123}$$

dobija se:

$$z = x + y + w + c \tag{5.124}$$

Gustine verovatnoće od x , y , w i c su:

$$\begin{aligned}
 p_x(x) &= \frac{1}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \\
 p_y(y) &= \frac{1}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y}, \quad y \geq 0 \\
 p_w(w) &= \frac{1}{\sigma_3^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w}, \quad w \geq 0 \\
 p_c(c) &= \frac{1}{\sigma_4^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma(\mu/2)} \cdot c^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_4^2}c}, \quad c \geq 0
 \end{aligned} \tag{5.125}$$

Prvi izvod od \dot{z} je:

$$\begin{aligned}
 \dot{z} &= 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + \dots + 2x_\mu\dot{x}_\mu + 2y_1\dot{y}_1 + 2y_2\dot{y}_2 + \dots + 2y_\mu\dot{y}_\mu + 2w_1\dot{w}_1 \\
 &+ 2w_2\dot{w}_2 + \dots + 2w_\mu\dot{w}_\mu + 2c_1\dot{c}_1 + 2c_2\dot{c}_2 + \dots + 2c_\mu\dot{c}_\mu
 \end{aligned} \tag{5.126}$$

Prvi izvod od z ima Gausovu gustinu verovatnoće:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{z}}} e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \tag{5.127}$$

Varijansa od \dot{z} je:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\dot{z}}^2 &= 4x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + 4x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + 4x_\mu^2\sigma_{\dot{x}_\mu}^2 + 4y_1^2\sigma_{\dot{y}_1}^2 + 4y_2^2\sigma_{\dot{y}_2}^2 + \dots + 4y_\mu^2\sigma_{\dot{y}_\mu}^2 + 4w_1^2\sigma_{\dot{w}_1}^2 \\
 &+ 4w_2^2\sigma_{\dot{w}_2}^2 + \dots + 4w_\mu^2\sigma_{\dot{w}_\mu}^2 + 4c_1^2\sigma_{\dot{c}_1}^2 + 4c_2^2\sigma_{\dot{c}_2}^2 + \dots + 4c_\mu^2\sigma_{\dot{c}_\mu}^2
 \end{aligned} \tag{5.128}$$

gde je:

$$\begin{aligned}
\sigma_{x_1}^2 &= \sigma_{x_2}^2 = \dots = \sigma_{x_\mu}^2 = f_x^2 \\
\sigma_{y_1}^2 &= \sigma_{y_2}^2 = \dots = \sigma_{y_\mu}^2 = f_y^2 \\
\sigma_{w_1}^2 &= \sigma_{w_2}^2 = \dots = \sigma_{w_\mu}^2 = f_w^2 \\
\sigma_{c_1}^2 &= \sigma_{c_2}^2 = \dots = \sigma_{c_\mu}^2 = f_c^2
\end{aligned} \tag{5.129}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned}
\sigma_z^2 &= 4 \cdot f_x^2 \cdot (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_\mu^2) \\
&+ 4 \cdot f_y^2 \cdot (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_\mu^2) \\
&+ 4 \cdot f_w^2 \cdot (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_\mu^2) \\
&+ 4 \cdot f_c^2 \cdot (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_\mu^2) = 4 \cdot (xf_x^2 + yf_y^2 + wf_w^2 + cf_c^2)
\end{aligned} \tag{5.130}$$

Standardna devijacija od z je jednaka:

$$\sigma_z = 2 \cdot \sqrt{xf_x^2 + yf_y^2 + wf_w^2 + cf_c^2} \tag{5.131}$$

Na osnovu:

$$\begin{aligned}
z &= x + y + w + c \\
c &= z - x - y - w
\end{aligned} \tag{5.132}$$

dobija se:

$$\begin{aligned}
\sigma_z &= 2 \sqrt{xf_x^2 + yf_y^2 + wf_w^2 + cf_c^2} = 2 \sqrt{xf_x^2 + yf_y^2 + wf_w^2 + (z - x - y - w) \cdot f_c^2} \\
&= 2 \sqrt{zf_c^2 + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)}
\end{aligned} \tag{5.133}$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je Gausova:

$$\begin{aligned}
p_z(\dot{z}/zxyw) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2 \sqrt{zf_c^2 + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)}} \\
&\cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{8 \cdot (zf_c^2 + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2))}}
\end{aligned} \tag{5.134}$$

Združena gustina verovatnoće od z i w je:

$$\begin{aligned}
p_{zzxyw}(\dot{z}zxyw) &= p_z(\dot{z}/zxyw) \cdot p_{zxyw}(zxyw) \\
&= p_z(\dot{z}/zxyw) \cdot p_z(z/xyw) \cdot p_{xyw}(xyw) \\
&= p_z(\dot{z}/zxyw) \cdot p_z(z/xyw) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) \cdot p_w(w)
\end{aligned} \tag{5.135}$$

Na osnovu relacije:

$$\begin{aligned}
z &= x + y + w + c \\
c &= z - x - y - w
\end{aligned} \tag{5.136}$$

Uslovna gustina verovatnoće od z postaje:

$$p_z(\dot{z}/xyw) = \left| \frac{dc}{dz} \right| \cdot p_c(z - x - y - w) \quad (5.137)$$

gde je:

$$\frac{dc}{dz} = 1 \quad (5.138)$$

Iz prethodnih izraza se dobija:

$$p_z(\dot{z}/xyw) = p_c(z - x - y - w) \quad (5.139)$$

Združena gustina verovatnoće od $z\dot{z}xyw$ je:

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}xyw}(z\dot{z}xyw) &= p_z(\dot{z}/zxyw) \cdot p_z(z/xyw) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) \cdot p_w(w) = \\ &= p_z(\dot{z}/zxyw) \cdot p_c(z - x - y - w) \cdot p_x(x) \cdot p_y(y) \cdot p_w(w) \\ &= \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)}} \\ &\cdot e^{-\frac{z^2}{8 \cdot (f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2))}} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}y} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \\ &\cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} \cdot \frac{1}{\sigma_3^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w} \cdot \frac{1}{\sigma_4^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (z - x - y - w)^{\frac{\mu}{2}-1} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_4^2}(z-x-y-w)} \end{aligned} \quad (5.140)$$

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

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= \int_0^z dx \cdot \int_0^{z-x} dy \cdot \int_0^{z-x-y} dw \cdot p_{z\dot{z}xyw}(z\dot{z}xyw) \\ &= \int_0^z dx \cdot \int_0^{z-x} dy \cdot \int_0^{z-x-y} dw \\ &\cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)}} \\ &\cdot e^{-\frac{z^2}{8 \cdot (f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2))}} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} \cdot \frac{1}{\sigma_3^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w} \cdot \frac{1}{\sigma_4^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \\ &\cdot (z - x - y - w)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_4^2}(z-x-y-w)} \end{aligned} \quad (5.141)$$

Srednji broj osnih preseka od z je:

$$\begin{aligned}
N_z &= \int_0^\infty z p_{zz}(zz) dz = \\
&= \int_0^z dx \cdot \int_0^{z-x} dy \cdot \int_0^{z-x-y} dw \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)}} \\
&\cdot \left(\int_0^\infty d\dot{x} \dot{x} e^{-\frac{x^2}{8(f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 + f_c^2))}} \right) \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \\
&\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} \cdot \frac{1}{\sigma_3^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w} \\
&\cdot \frac{1}{\sigma_4^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (z-x-y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_4^2}(z-x-y-w)} \\
&= \int_0^z dx \cdot \int_0^{z-x} dy \cdot \int_0^{z-x-y} dw \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sqrt{f_c^2 z + x(f_x^2 - f_c^2) + y(f_y^2 - f_c^2) + w(f_w^2 - f_c^2)} \\
&\cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot x^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot y^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} \cdot \frac{1}{\sigma_3^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \\
&\cdot w^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}w} \cdot \frac{1}{\sigma_4^{\frac{\mu}{2}} \cdot z^{\frac{\mu}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} \cdot (z-x-y-w)^{\frac{\mu}{2}-1} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_4^2}(z-x-y-w)}
\end{aligned} \tag{5.142}$$

5.6. Srednji broj osnih preseka 1- η - μ slučajne promenljive

U ovom delu formiramo slučajnu promenljivu 1- η - μ koja predstavlja specijalni slučaj η - μ slučajne promenljive. Slučajna promenljiva z jednaka je zbiru kvadrata tri Gausove nezavisne slučajne promenljive. Srednje vrednosti Gausovih slučajnih promenljivih su nule, a varijanse su σ_1^2 , σ_2^2 i σ_3^2 . Slučajna promenljiva z je:

$$z = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \quad (5.143)$$

Slučajne promenljive x_1 , x_2 i x_3 imaju gustine verovatnoće:

$$\begin{aligned} p_{x_1}(x_1) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \cdot e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_1^2}} \\ p_{x_2}(x_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \cdot e^{-\frac{x_2^2}{2\sigma_2^2}} \\ p_{x_3}(x_3) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \cdot e^{-\frac{x_3^2}{2\sigma_3^2}} \end{aligned} \quad (5.144)$$

Formiraju se slučajne promenljive z_1 , z_2 i z_3 koje su jednake:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1^2 \\ z_2 &= x_2^2 \\ z_3 &= x_3^2 \end{aligned} \quad (5.145)$$

Zamenom se dobija:

$$z = z_1 + z_2 + z_3 \quad (5.146)$$

Gustine verovatnoće od z_1 , z_2 i z_3 su:

$$\begin{aligned} p_{z_1}(z_1) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1 z_1} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}}, & z_1 &\geq 0 \\ p_{z_2}(z_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2 z_2} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}}, & z_2 &\geq 0 \\ p_{z_3}(z_3) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3 z_3} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}}, & z_3 &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.147)$$

Prvi izvod od z je:

$$\dot{z} = 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + 2x_3\dot{x}_3 \quad (5.148)$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{z} je:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}_1/x_1x_2x_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{z}}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \quad (5.149)$$

Varijansa od \dot{z} se dobija na sledeći način:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + 4x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2 + 4x_3^2\sigma_{\dot{x}_3}^2 \quad (5.150)$$

gde je:

$$\begin{aligned} 4\sigma_{\dot{x}_1}^2 &= f_1^2 \\ 4\sigma_{\dot{x}_2}^2 &= f_2^2 \\ 4\sigma_{\dot{x}_3}^2 &= f_3^2 \end{aligned} \quad (5.151)$$

Zamenom se dobija varijansa u sledećem obliku:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= f_1^2 \cdot x_1^2 + f_2^2 \cdot x_2^2 + f_3^2 \cdot x_3^2 \\ \sigma_{\dot{z}}^2 &= f_1^2 \cdot z_1 + f_2^2 \cdot z_2 + f_3^2 \cdot z_3 \end{aligned} \quad (5.152)$$

Na osnovu relacije:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 + z_3 \\ z_3 &= z - z_1 - z_2 \end{aligned} \quad (5.153)$$

dobija se:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= f_1^2 \cdot z_1 + f_2^2 \cdot z_2 + f_3^2 \cdot (z - z_1 - z_2) \\ \sigma_{\dot{z}}^2 &= f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2) \end{aligned} \quad (5.154)$$

Uslovna Gausova gustina verovatnoće od \dot{z} je:

$$\begin{aligned} p_{\dot{z}}(\dot{z}/zz_1z_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)}} \\ &\cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2))}} \end{aligned} \quad (5.155)$$

Združena gustina verovatnoće od \dot{z} , z , z_1 i z_2 je:

$$p_{\dot{z}zz_1z_2}(\dot{z}zz_1z_2) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/zz_1z_2) \cdot p_{zz_1z_2}(zz_1z_2) \quad (5.156)$$

gde je:

$$p_{zz_1z_2}(zz_1z_2) = p_z(z/z_1z_2) \cdot p_{z_1z_2}(z_1z_2) = p_z(z/z_1z_2) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \quad (5.157)$$

Na osnovu relacije:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 + z_3 \\ z_3 &= z - z_1 - z_2 \end{aligned} \quad (5.158)$$

Dobija se uslovna gustina verovatnoće od z :

$$p_z(z/z_2z_3) = \left| \frac{dz_3}{dz} \right| \cdot p_{z_3}(z - z_1 - z_2) \quad (5.159)$$

gde je:

$$\frac{dz_3}{dz} = 1 \quad (5.160)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/z_2z_3) = p_{z_3}(z - z_1 - z_2) \quad (5.161)$$

Združena gustina verovatnoće od z, z_1 i z_2 dobija se:

$$p_{zz_1z_2}(zz_1z_2) = p_{z_3}(z - z_1 - z_2) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \quad (5.162)$$

na osnovu koje se dobija:

$$p_{\dot{z}zz_1z_2}(\dot{z}zz_1z_2) = p_z(\dot{z}/zz_1z_2) \cdot p_{z_3}(z - z_1 - z_2) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \quad (5.163)$$

Potrebno je ispuniti uslove:

$$\begin{aligned} z - z_1 - z_2 &> 0, \quad z_1 > 0, \quad z_2 > 0, \\ z_1 + z_2 &< z, \quad z_1 > z - z_2, \quad z_2 > z - z_1 \\ z - z_1 - z_2 &= 0, \quad z_1 + z_2 = z, \\ z_1 &= z - z_2, \quad z_2 = z - z_1 \\ z_1 &\in (0, z), \quad z_2 \in (0, z - z_1) \end{aligned} \quad (5.164)$$

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

$$\begin{aligned} p_{\dot{z}z}(\dot{z}z) &= \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot p_z(\dot{z}/zz_1z_2) \cdot p_{z_3}(z - z_1 - z_2) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \\ &= \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)}} \\ &\cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2))}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z - z_1 - z_2}} \cdot e^{-\frac{z-z_1-z_2}{2\sigma_3^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \\ &\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \end{aligned} \quad (5.165)$$

Srednji broj osnih preseka se dobija kao srednja vrednost od prvog izvoda od z :

$$N_z = \int_0^\infty dz \cdot p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) \quad (5.166)$$

Srednji broj osnih preseka od z je:

$$\begin{aligned}
N_z &= \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)}} \\
&\cdot \left(\int_0^\infty d\dot{z} \cdot e^{-\frac{i^2}{2(f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2))} \cdot \dot{z}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z - z_1 - z_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \\
&\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} = \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)}} \\
&\cdot 2(f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2))^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}(z-z_1-z_2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z - z_1 - z_2}} \\
&\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}z_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}z_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^2\sigma_1\sigma_2\sigma_3} \cdot \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot \sqrt{f_3^2 \cdot z + z_1(f_1^2 - f_3^2) + z_2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)} \\
&\cdot \frac{1}{\sqrt{z - z_1 - z_2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_3^2}(z-z_1-z_2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}z_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}z_2}
\end{aligned} \tag{5.167}$$

Razmatra se zbir kvadrata četiri Gausove slučajne promenljive. Gausove slučajne promenljive su međusobno nezavisne sa srednjim vrednostima nula i sa varijansama $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ i σ_4^2 .

$$z = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \tag{5.168}$$

Gustine verovatnoća od x_1, x_2, x_3 i x_4 su:

$$\begin{aligned}
p_{x_1}(x_1) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \cdot e^{-\frac{x_1^2}{2\sigma_1^2}} \\
p_{x_2}(x_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \cdot e^{-\frac{x_2^2}{2\sigma_2^2}} \\
p_{x_3}(x_3) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \cdot e^{-\frac{x_3^2}{2\sigma_3^2}} \\
p_{x_4}(x_4) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_4} \cdot e^{-\frac{x_4^2}{2\sigma_4^2}}
\end{aligned} \tag{5.169}$$

Zamenom:

$$\begin{aligned}
z_1 &= x_1^2 \\
z_2 &= x_2^2 \\
z_3 &= x_3^2 \\
z_4 &= x_4^2
\end{aligned}
\tag{5.170}$$

se dobija slučajna promenljiva z u obliku:

$$z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 \tag{5.171}$$

Gustine verovatnoća od z_1, z_2, z_3 i z_4 su:

$$\begin{aligned}
p_{z_1}(z_1) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}}, \quad z_1 \geq 0 \\
p_{z_2}(z_2) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}}, \quad z_2 \geq 0 \\
p_{z_3}(z_3) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z_3}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}}, \quad z_3 \geq 0 \\
p_{z_4}(z_4) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_4\sqrt{z_4}} \cdot e^{-\frac{z_4}{2\sigma_4^2}}, \quad z_4 \geq 0
\end{aligned}
\tag{5.172}$$

Prvi izvod od z je:

$$\dot{z} = 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + 2x_3\dot{x}_3 + 2x_4\dot{x}_4 \tag{5.173}$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{z} je Gausova:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}/x_1x_2x_3x_4) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{z}}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \tag{5.174}$$

Varijansa od \dot{z} je:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4x_1^2\sigma_{x_1}^2 + 4x_2^2\sigma_{x_2}^2 + 4x_3^2\sigma_{x_3}^2 + 4x_4^2\sigma_{x_4}^2 \tag{5.175}$$

gde je:

$$\begin{aligned}
f_1^2 &= 4\sigma_{x_1}^2 \\
f_2^2 &= 4\sigma_{x_2}^2 \\
f_3^2 &= 4\sigma_{x_3}^2 \\
f_4^2 &= 4\sigma_{x_4}^2
\end{aligned}
\tag{5.176}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\dot{z}}^2 &= x_1^2 f_1^2 + x_2^2 f_2^2 + x_3^2 f_3^2 + x_4^2 f_4^2 \\
\sigma_{\dot{z}}^2 &= z_1 f_1^2 + z_2 f_2^2 + z_3 f_3^2 + z_4 f_4^2
\end{aligned}
\tag{5.177}$$

Na osnovu relacije:

$$z_4 = z - z_1 - z_2 - z_3 \quad (5.178)$$

varijansa dobija oblik:

$$\sigma_z^2 = z_1 f_1^2 + z_2 f_2^2 + z_3 f_3^2 + (z - z_1 - z_2 - z_3) f_4^2 \quad (5.179)$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je:

$$\begin{aligned} p_z(z/z_1 z_2 z_3) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{z_1 \cdot f_1^2 + z_2 \cdot f_2^2 + z_3 \cdot f_3^2 + (z - z_1 - z_2 - z_3) \cdot f_4^2}} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{2(z_1 \cdot f_1^2 + z_2 \cdot f_2^2 + z_3 \cdot f_3^2 + (z - z_1 - z_2 - z_3) \cdot f_4^2)}} \end{aligned} \quad (5.180)$$

Združena gustina verovatnoće od z, z', z_1, z_2 i z_3 je:

$$p_{zzz_1 z_2 z_3}(zzz_1 z_2 z_3) = p_z(z/z_1 z_2 z_3) \cdot p_{zzz_1 z_2 z_3}(zzz_1 z_2 z_3) \quad (5.181)$$

gde je:

$$\begin{aligned} p_{zzz_1 z_2 z_3}(zzz_1 z_2 z_3) &= p_z(z/z_1 z_2 z_3) \cdot p_{z_1 z_2 z_3}(z_1 z_2 z_3) \\ &= p_z(z/z_1 z_2 z_3) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \cdot p_{z_3}(z_3) \end{aligned} \quad (5.182)$$

Na osnovu relacije:

$$z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 \quad (5.183)$$

$$z_4 = z - z_1 - z_2 - z_3$$

dobija se uslovna gustina verovatnoće od z :

$$p_z(z/z_1 z_2 z_3) = \left| \frac{dz_4}{dz} \right| p_{z_4}(z - z_1 - z_2 - z_3) \quad (5.184)$$

gde je:

$$\frac{dz_4}{dz} = 1 \quad (5.185)$$

Zamenom se dobija:

$$p_z(z/z_1 z_2 z_3) = p_{z_4}(z - z_1 - z_2 - z_3) \quad (5.186)$$

Združena gustina verovatnoće od z, z_1, z_2 i z_3 je:

$$p_{zzz_1 z_2 z_3}(zzz_1 z_2 z_3) = p_{z_4}(z - z_1 - z_2 - z_3) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \cdot p_{z_3}(z_3) \quad (5.187)$$

Združena gustina verovatnoće od z, z', z_1, z_2 i z_3 je:

$$\begin{aligned} p_{zzz_1 z_2 z_3}(zzz_1 z_2 z_3) &= p_z(z/z_1 z_2 z_3) \cdot p_{z_4}(z - z_1 - z_2 - z_3) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \cdot p_{z_3}(z_3) \end{aligned} \quad (5.188)$$

Integracijom se dobija:

$$p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = \int_0^z dz_1 \cdot \int_0^{z-z_1} dz_2 \cdot \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \cdot p_{\dot{z}}(\dot{z}/zz_1z_2z_3) \cdot p_{z_4}(z-z_1-z_2-z_3) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \cdot p_{z_3}(z_3) \quad (5.189)$$

Potrebno je ispuniti uslove:

$$\begin{aligned} z - z_1 - z_2 - z_3 &> 0, \quad z_1 > 0, \quad z_2 > 0, \quad z_3 > 0 \\ z_1 + z_2 + z_3 &< z \\ z_1 &< z - z_2 - z_3 \\ z_2 &< z - z_1 - z_3 \\ z_3 &< z - z_1 - z_2 \\ z - z_1 - z_2 - z_3 &= 0 \\ z_1 + z_2 + z_3 &= z \\ z_1 &= z - z_2 - z_3 \\ z_2 &= z - z_1 - z_4 \\ z_3 &= z - z_1 - z_2 \\ z_1 &\in (0, z) \\ z_2 &\in (0, z - z_1) \\ z_3 &\in (0, z - z_1 - z_2) \end{aligned} \quad (5.190)$$

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

$$\begin{aligned} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + (z-z_1-z_2-z_3)f_4^2}} \\ &\cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + (z-z_1-z_2-z_3)f_4^2)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_4\sqrt{z-z_1-z_2-z_3}} \cdot e^{-\frac{z-z_1-z_2-z_3}{2\sigma_4^2}} \\ &\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z_3}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}} \end{aligned} \quad (5.191)$$

Srednji broj osnih preseka od z je:

$$N_z = \int_0^\infty \dot{z} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) d\dot{z} =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + (z-z_1-z_2-z_3)f_4^2}} \\
&\cdot \left(\int_0^\infty dz \dot{z} e^{-\frac{z^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + (z-z_1-z_2-z_3)f_4^2)}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_4\sqrt{z-z_1-z_2-z_3}} \\
&\cdot e^{-\frac{z-z_1-z_2-z_3}{2\sigma_4^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z_3}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}} = \\
&= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + (z-z_1-z_2-z_3)f_4^2} \\
&\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_4\sqrt{z-z_1-z_2-z_3}} \cdot e^{-\frac{z-z_1-z_2-z_3}{2\sigma_4^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\sqrt{z_1}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\sqrt{z_2}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \\
&\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3\sqrt{z_3}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}}
\end{aligned} \tag{5.192}$$

Slučajna promenljiva z jednaka je zbiru kvadrata pet Gausovih slučajnih promenljivih:

$$z = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 \tag{5.193}$$

Gustine verovatnoće od x_1, x_2, x_3, x_4 i x_5 su:

$$p_{x_i}(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \cdot e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma_i^2}}, \quad i = 1,2,3,4,5 \tag{5.194}$$

Ako se uvedu smene:

$$z_1 = x_1^2, \quad z_2 = x_2^2, \quad z_3 = x_3^2, \quad z_4 = x_4^2, \quad z_5 = x_5^2 \tag{5.195}$$

sa gustinama verovatnoće:

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i\sqrt{z_i}} \cdot e^{-\frac{z_i}{2\sigma_i^2}}, \quad z_i \geq 0, \quad i = 1,2,3,4,5 \tag{5.196}$$

dobija se:

$$z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 \tag{5.197}$$

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

$$\begin{aligned}
p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) = & \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \int_0^{z-z_1-z_2-z_3} dz_4 \\
& \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + f_4^2 z_4 + (z-z_1-z_2-z_3-z_4)f_5^2}} \cdot
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot e^{-\frac{z^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + f_4^2 z_4 + (z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4)f_5^2)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_5\sqrt{z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4}}} \\
& \cdot e^{-\frac{z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4}{2\sigma_5^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1\sqrt{z_1}}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2\sqrt{z_2}}} \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_3\sqrt{z_3}}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}} \\
& \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_4\sqrt{z_4}}} \cdot e^{-\frac{z_4}{2\sigma_4^2}}
\end{aligned} \tag{5.198}$$

Srednji broj osnih preseka od z je:

$$\begin{aligned}
N_z &= \int_0^\infty z p_{zz}(z) dz \\
&= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \int_0^{z-z_1-z_2} dz_3 \int_0^{z-z_1-z_2-z_3} dz_4 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \\
& \cdot \sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + f_3^2 z_3 + f_4^2 z_4 + (z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4)f_5^2} \\
& \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_5\sqrt{z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4}}} \cdot e^{-\frac{z - z_1 - z_2 - z_3 - z_4}{2\sigma_5^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1\sqrt{z_1}}} \cdot e^{-\frac{z_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2\sqrt{z_2}}} \\
& \cdot e^{-\frac{z_2}{2\sigma_2^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_3\sqrt{z_3}}} \cdot e^{-\frac{z_3}{2\sigma_3^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_4\sqrt{z_4}}} \cdot e^{-\frac{z_4}{2\sigma_4^2}}
\end{aligned} \tag{5.199}$$

Zbir n Gausovih slučajnih promenljivih sa različitim varijansama je:

$$z = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + \dots + x_n^2 \tag{5.200}$$

Gausove promenljive x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ imaju gustinu verovatnoće:

$$p_{x_i}(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} \cdot e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma_i^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{5.201}$$

Ako se uvedu smene:

$$z_1 = x_1^2, z_2 = x_2^2, \dots, z_n = x_n^2 \tag{5.202}$$

sa gustinama verovatnoće:

$$p_{z_i}(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i\sqrt{z_i}}} \cdot e^{-\frac{z_i}{2\sigma_i^2}}, \quad z_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{5.203}$$

dobija se:

$$z = z_1 + z_2 + \dots + z_n \tag{5.204}$$

$$z_n = z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}$$

Prvi izvod od z je:

$$\dot{z} = 2x_1\dot{x}_1 + 2x_2\dot{x}_2 + 2x_3\dot{x}_3 + \dots + 2x_n\dot{x}_n \quad (5.205)$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{z} je:

$$p_{\dot{z}}(\dot{z}/x_1 x_2 \dots x_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{z}}} \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \quad (5.206)$$

Varijansa od \dot{z} se dobija pomoću izraza:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = 4x_1^2\sigma_{\dot{x}_1}^2 + 4x_2^2\sigma_{\dot{x}_2}^2 + \dots + 4x_n^2\sigma_{\dot{x}_n}^2 \quad (5.207)$$

gde je:

$$f_1^2 = 4\sigma_{\dot{x}_1}^2, \quad f_2^2 = 4\sigma_{\dot{x}_2}^2, \quad \dots, \quad f_n^2 = 4\sigma_{\dot{x}_n}^2 \quad (5.208)$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{z}}^2 &= x_1^2 f_1^2 + x_2^2 f_2^2 + \dots + x_n^2 f_n^2 \\ \sigma_{\dot{z}}^2 &= x_1^2 f_1^2 + x_2^2 f_2^2 + \dots + x_n^2 f_n^2 \\ \sigma_{\dot{z}}^2 &= z_1 f_1^2 + z_2 f_2^2 + \dots + z_n f_n^2 \end{aligned} \quad (5.209)$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{z} je:

$$\begin{aligned} p_{\dot{z}}(\dot{z}/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1})}} \\ \cdot e^{-\frac{\dot{z}^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1}))}} \end{aligned} \quad (5.210)$$

Združena gustina verovatnoće od $\dot{z}, z_1, z_2 \dots z_{n-1}$ je:

$$p_{\dot{z}z_1 z_2 \dots z_{n-1}}(\dot{z} z_1 z_2 \dots z_{n-1}) = p_{\dot{z}}(\dot{z}/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \cdot p_{z_1 z_2 \dots z_{n-1}}(z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \quad (5.211)$$

gde je:

$$\begin{aligned} p_{z_1 z_2 \dots z_{n-1}}(z_1 z_2 \dots z_{n-1}) &= p_z(z/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \cdot p_{z_1 z_2 \dots z_{n-1}}(z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \\ &= p_z(z/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) \cdot p_{z_1}(z_1) \cdot p_{z_2}(z_2) \cdot \dots \cdot p_{z_{n-1}}(z_{n-1}) \end{aligned} \quad (5.212)$$

Na osnovu relacija:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 + \dots + z_{n-1} + z_n \\ z_n &= z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1} \end{aligned} \quad (5.213)$$

dobija se:

$$p_z(z/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) = \left| \frac{dz_n}{dz} \right| p_{z_n}(z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}) \quad (5.214)$$

gde je:

$$\frac{dz_n}{dz} = 1 \quad (5.215)$$

$$\begin{aligned} p_z(z/z_1 z_2 \dots z_{n-1}) &= p_{z_n}(z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n\sqrt{z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1})} \end{aligned} \quad (5.216)$$

Uslovna gustina verovatnoće od z je:

$$\begin{aligned} p_{zzz_1 z_2 \dots z_{n-1}}(zzz_1 z_2 \dots z_{n-1}) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1})}} \\ &\cdot e^{-\frac{z^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1}))}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n\sqrt{z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}}} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1})} \cdot \prod_{i=1}^{n-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i\sqrt{z_i}} \cdot e^{-\frac{z_i}{2\sigma_i^2}} \right) \end{aligned} \quad (5.217)$$

Potrebno je ispuniti uslove:

$$\begin{aligned} z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1} &> 0, \quad z_1 > 0, \quad z_1 > 0, \quad \dots, \quad z_{n-1} > 0 \\ z_1 + z_2 + \dots + z_{n-1} &< z \\ z_1 &\in (0, z) \\ z_2 &\in (0, z - z_1) \\ z_3 &\in (0, z - z_1 - z_2) \\ z_4 &\in (0, z - z_1 - z_2 - z_3) \\ &\vdots \\ z_{n-1} &\in (0, z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-2}) \end{aligned} \quad (5.218)$$

Združena gustina verovatnoće od z i z je:

$$\begin{aligned} p_{zz}(zz) &= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \dots \int_0^{z-z_1-z_2-\dots-z_{n-1}} dz_{n-1} \\ &\cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1})}} \\ &\cdot e^{-\frac{z^2}{2(f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1}))}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n\sqrt{z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}}} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1})} \cdot \prod_{i=1}^{n-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i\sqrt{z_i}} \cdot e^{-\frac{z_i}{2\sigma_i^2}} \right) \end{aligned} \quad (5.219)$$

Srednji broj osnih preseka je:

$$\begin{aligned}
N_z &= \int_0^\infty \dot{z} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) d\dot{z} \\
&= \int_0^z dz_1 \int_0^{z-z_1} dz_2 \dots \int_0^{z-z_1-z_2-\dots-z_{n-1}} dz_{n-1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \\
&\quad \cdot \sqrt{f_1^2 z_1 + f_2^2 z_2 + \dots + f_{n-1}^2 z_{n-1} + f_n^2 (z - z_1 - z_2 - z_{n-1})} \\
&\quad \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n \sqrt{z - z_1 - z_2 - \dots - z_{n-1}}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(z-z_1-z_2-\dots-z_{n-1})} \cdot \prod_{i=1}^{n-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i \sqrt{z_i}} \cdot e^{-\frac{z_i}{2\sigma_i^2}} \right)
\end{aligned} \tag{5.220}$$

6. PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA SMANJENJE UTICAJA η - μ FEDINGA

U ovom delu disertacije razmatraće se bežični telekomunikacioni sistemi čiji prijemnici koriste diverziti tehniku kako bi se smanjio uticaj η - μ fedinga na performanse sistema. Korišćena diverziti tehnika je prostorna. Korisni signali se primaju na antenama, anvelope ovih signala se kombinuju i odlučivanje se vrši na osnovu signala na izlazu iz kombinera. Performanse sistema biće određene za slučaj MRC (Maximal Ratio Combining) i SC (Selection Combining) kombinera. MRC kombiner daje najbolje rezultate ali je komplikovan za realizaciju zbog toga što je potrebno signal na ulazima dovesti u fazu i izvršiti procenu parametara sistema. Kvadrat signala na izlazu iz MRC kombinera jednak je zbiru kvadrata signala na njegovim ulazima.

Druga vrsta kombinera koja će se razmatrati je SC kombiner, odnosno selektivni kombiner. Signal na izlazu iz ovog kombinera jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji je najveći. Mada daje lošije rezultate od MRC kombinera ova vrsta kombinera ima veliku primenu zbog toga što je najjednostavnija za realizaciju jer se procesiranje radi samo na jednoj grani. Biće izračunate karakteristike signala na izlazu iz MRC i SC kombinera na čijim se ulazima pojavljuje η - μ feding. Razmatraće se diverziti kombineri koji imaju dva i više ulaza. Biće izračunata i verovatnoća otkaza bežičnog sistema, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu bežičnog sistema koji sadrži MRC ili SC diverziti tehniku na čijim se ulazima pojavljuje η - μ feding. Odrediće se združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz kombinera i njegovog prvog izvoda, srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz kombinera i srednje vreme trajanja otkaza sistema.

U ovom delu će se razmatrati i bežični telekomunikacioni prijemnik u prisustvu korisnog signala, interferencije i η - μ brzog fedinga. Biće određene statističke karakteristike odnosa anvelope korisnog signala i interferencije.

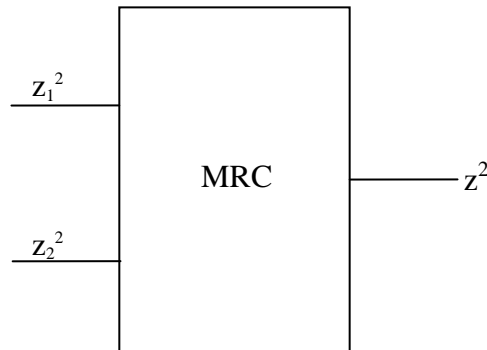
6.1. Primena MRC diverziti tehnike za smanjenje uticaja η - μ fedinga

U ovoj glavi razmatraju se bežični telekomunikacioni sistemi koji koriste diverziti tehniku sa MRC kombinerima za smanjenje uticaja η - μ fedinga na performanse sistema. Prvo je razmatran MRC kombiner sa dva ulaza. Na ulazima se pojavljuje nezavisan η - μ feding. Kvadrat anvelope signala na izlazu iz MRC kombinera jednak je zbiru kvadrata anvelopa signala na njegovim ulazima [94, 95]. Kvadrat anvelope η - μ slučajne promenljive ima χ^2 raspodelu, takođe zbir dva kvadrata η - μ slučajne promenljive ima χ^2 raspodelu. Ovo znači da kvadrat anvelope signala na izlazu iz MRC kombinera ima χ^2 raspodelu. Na ovaj način određena je gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC kombinera. MRC kombineri daju najbolje rezultate u odnosu na druge oblike kombinovanja. Ovaj način kombinovanja je složen za realizaciju jer je potrebno signale na ulazu dovesti u fazu i za svaku granu obezbediti povorku impulsa na osnovu koje se projektuje amplituda signala. Za ovako određen MRC kombiner u radu je određena kumulativna verovatnoća signala na njegovom izlazu, karakteristična funkcija signala na njegovom izlazu i momenti signala na njegovom izlazu. Na osnovu n -tog momenta određena je srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i varijansa signala na izlazu na izlazu iz MRC kombinera. Izračunata je verovatnoća greške bežičnog telekomunikacionog sistema, kapacitet kanala i dat je izraz za iznos fedinga. Zatim je određena verovatnoća greške bežičnog telekomunikacionog sistema sa MRC kombinerom za koherentno modulisane signale i za nekoherentno modulisane signale. Predstavljen je izraz za združenu gustinu verovatnoće signala na izlazu iz MRC kombinera i njegovog prvog izvoda. Prvo je određena uslovna Gausova gustina verovatnoće prvog izvoda signala na izlazu iz kombinera i određena je varijansa ove raspodele. Zatim je dobijena združena gustina verovatnoće signala na izlazu i njegovog prvog izvoda. Pomoću ove združene gustine verovatnoće određen je srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz MRC kombinera. Srednji broj osnih preseka signala jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda slučajnog procesa po vremenu kojim se opisuje anvelopa signala. Pomoću srednjeg broja osnih preseka signala na izlazu iz MRC kombinera može se odrediti srednje vreme trajanja otkaza sistema kao količnik između verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka signala [96].

Razmatrani su i MRC kombineri sa tri i četiri ulaza. Na svakom od ulaza prisutan je nezavisan, nekoherentni brzi η - μ feding. Za ovako modelovane prijemnike na njihovim

izlazima određena je združena gustina verovatnoće signala i njegovog prvog izvoda, a na osnovu nje i srednji broj osnih preseka.

Posmatra se MRC diverziti kombiner sa dva ulaza. Na ulazima je prisutan η - μ feding koji je nezavisan. Model sistema je prikazan na slici 6.1.



Slika 6.1: MRC kombiner sa dva ulaza

Kvadrat signala z na izlazu iz MRC kombinera je:

$$z^2 = z_1^2 + z_2^2 \quad (6.1)$$

gde su z_1^2 i z_2^2 kvadrati signala na ulazima u MRC kombiner jednaki:

$$z_1^2 = x_{11}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + y_{11}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 \quad (6.2)$$

$$z_2^2 = x_{21}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + y_{21}^2 + \dots + y_{2\mu}^2$$

Zamenom se dobija da je kvadrat signala na izlazu iz MRC kombinera:

$$z^2 = x_{11}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + y_{11}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 + x_{21}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + y_{21}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \quad (6.3)$$

Gustina verovatnoće od z je:

$$p_z(z) = \frac{4\sqrt{\pi} (2\mu)^{2\mu+\frac{1}{2}} h^{2\mu}}{\Gamma(2\mu) H^{2\mu-\frac{1}{2}} \Omega_0} \left(\frac{z}{\Omega_0}\right)^{4\mu} e^{-4\mu h \left(\frac{z}{\Omega_0}\right)^2} I_{2\mu-\frac{1}{2}} \left(4\mu H \left(\frac{z}{\Omega_0}\right)^2\right) \quad (6.4)$$

Gustina verovatnoće od z_1 je:

$$p_{z_1}(z_1) = \frac{4\sqrt{\pi} (2\mu)^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_0} \left(\frac{z_1}{\Omega_0}\right)^{2\mu} e^{-2\mu h \left(\frac{z_1}{\Omega_0}\right)^2} I_{\mu-\frac{1}{2}} \left(2\mu H \left(\frac{z_1}{\Omega_0}\right)^2\right) \quad (6.5)$$

Gustina verovatnoće od z_2 je:

$$p_{z_2}(z_2) = \frac{4\sqrt{\pi} (2\mu)^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_0} \left(\frac{z_2}{\Omega_0}\right)^{2\mu} e^{-2\mu h \left(\frac{z_2}{\Omega_0}\right)^2} I_{\mu-\frac{1}{2}} \left(2\mu H \left(\frac{z_2}{\Omega_0}\right)^2\right) \quad (6.6)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz MRC kombinera je:

$$\begin{aligned}
 p_z(z) &= az^{4\mu} e^{-az^2} I_{2\mu-\frac{1}{2}}(2\beta z^2) \\
 p_z(z) &= az^{4\mu} e^{-az^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \beta^{2i_1+2\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + 2\mu + \frac{1}{2}\right)} \\
 &\cdot z^{4i_1+4\mu-1} = ae^{-az^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} z^{4i_1+8\mu-1}
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Kumulativna verovatnoća od z je:

$$\begin{aligned}
 F_z(z) &= \int_0^z p_z(y) dy = a \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^z x^{4i_1+8\mu-1} e^{-ax^2} dx \\
 &= a \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i_1+4\mu} \gamma(2i_1 + 4\mu, az^2)
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

Karakteristična funkcija od z je:

$$\begin{aligned}
 M_z(s) &= \overline{e^{zs}} = \int_0^z e^{zs} p_z(z) dz = \int_0^z dz \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{z^{i_2} s^{i_2}}{i_2!} a e^{-az^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} z^{4i_1+8\mu-1} \\
 &= \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{s^{i_2}}{i_2!} a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^z dz z^{i_2+4i_1+8\mu-1} e^{-az^2} \\
 &= \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{s^{i_2}}{i_2!} a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{i_2}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{i_2}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{6.9}$$

Momenti funkcije od z su:

$$\begin{aligned}
 m_n(z) &= \overline{z^n} = \int_0^{\infty} z^n p_z(z) dz = \int_0^{\infty} z^n \cdot a e^{-az^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} z^{4i_1+8\mu-1} dz \\
 &= a \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} z^{4i_1+8\mu+n-1} e^{-az^2} dz = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{n}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{n}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{6.10}$$

Prvi moment je jednak:

$$m_1 = \bar{z} = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{1}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{1}{2}\right) \tag{6.11}$$

Drugi moment je jednak:

$$m_2 = \overline{z^2} = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{a}\right)^{2i_1+4\mu+1} \Gamma(2i_1 + 4\mu + 1) \tag{6.12}$$

Treći moment je jednak:

$$m_3 = \overline{z^3} = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{3}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{3}{2}\right) \quad (6.13)$$

Varijansa je jednaka:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \mu_2 = \overline{(z - \bar{z})^2} = \int_0^{\infty} (z - \bar{z})^2 p_z(z) dz = \overline{z^2} - \bar{z}^2 \\ &= \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu+1} \Gamma(2i_1 + 4\mu + 1) \\ &\quad - \left(\frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{1}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{1}{2}\right) \right)^2 \end{aligned} \quad (6.14)$$

Iznos fedinga je [97]:

$$AF = \frac{m_2 - m_1^2}{m_1^2} = \frac{m_2}{m_1^2} - 1 = \frac{\frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu+1} \Gamma(2i_1 + 4\mu + 1)}{\left(\frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu+\frac{1}{2}} \Gamma\left(2i_1 + 4\mu + \frac{1}{2}\right) \right)^2} - 1 \quad (6.15)$$

Verovatnoća otkaza je jednaka:

$$P_0 = \int_0^{z_0} p_z(z) dz = F_z(z_0) = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+4\mu} \gamma(2i_1 + 4\mu, \alpha z_0^2) \quad (6.16)$$

Kapacitet kanala se računa pomoću izraza:

$$\begin{aligned} C &= \int_0^{\infty} (\ln(1 + z^2)) p_z(z) dz = \int_0^{\infty} (\ln(1 + z^2)) a \cdot e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} z^{4i_1+8\mu-1} dz \\ &= a \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} (\ln(1 + z^2)) \cdot z^{4i_1+8\mu-1} e^{-\alpha z^2} dz \end{aligned} \quad (6.17)$$

Verovatnoća greške za koherentne sisteme je:

$$P_{e_1} = \int_0^{\infty} a_1 (\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) p_z(z) dz = a_1 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} (\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) \cdot z^{4i_1+8\mu-1} \cdot e^{-\alpha z^2} dz \quad (6.18)$$

Verovatnoća greške za nekoherentne sisteme je:

$$P_{e_2} = \int_0^{\infty} a_1 \cdot e^{-b_1 z^2} p_z(z) dz = a_1 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} e^{-b_1 z^2} \cdot z^{4i_1+8\mu-1} \cdot e^{-\alpha z^2} dz \quad (6.19)$$

Kvadrat signala na izlazu iz MRC prijemnika može da se napiše i kao zbir 4μ nezavisnih Gausovih slučajnih promenljivih:

$$\begin{aligned}
 z^2 = w &= x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 \\
 &+ x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \\
 &+ y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 \\
 &+ y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2
 \end{aligned} \tag{6.20}$$

Prvi izvod od w je:

$$\begin{aligned}
 \dot{w} &= 2x_{11}\dot{x}_{11} + 2x_{12}\dot{x}_{12} + \dots + 2x_{1\mu}\dot{x}_{1\mu} \\
 &+ 2x_{21}\dot{x}_{21} + 2x_{22}\dot{x}_{22} + \dots + 2x_{2\mu}\dot{x}_{2\mu} \\
 &+ 2y_{11}\dot{y}_{11} + 2y_{12}\dot{y}_{12} + \dots + 2y_{1\mu}\dot{y}_{1\mu} \\
 &+ 2y_{21}\dot{y}_{21} + 2y_{22}\dot{y}_{22} + \dots + 2y_{2\mu}\dot{y}_{2\mu}
 \end{aligned} \tag{6.21}$$

Gustina verovatnoće od \dot{w} je Gausova:

$$p_{\dot{w}}(\dot{w}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\dot{w}}^2} e^{-\frac{\dot{w}^2}{2\sigma_{\dot{w}}^2}} \tag{6.22}$$

Ako je:

$$\begin{aligned}
 4\sigma_{\dot{x}_{11}}^2 &= 4\sigma_{\dot{x}_{12}}^2 = \dots = 4\sigma_{\dot{x}_{1\mu}}^2 = 4\sigma_{\dot{x}_{21}}^2 = 4\sigma_{\dot{x}_{22}}^2 = \dots = 4\sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 = f_1^2 \\
 4\sigma_{\dot{y}_{11}}^2 &= 4\sigma_{\dot{y}_{12}}^2 = \dots = 4\sigma_{\dot{y}_{1\mu}}^2 = 4\sigma_{\dot{y}_{21}}^2 = 4\sigma_{\dot{y}_{22}}^2 = \dots = 4\sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2 = f_2^2
 \end{aligned} \tag{6.23}$$

Varijansa od \dot{w} je jednaka:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\dot{w}}^2 &= 4x_{11}^2\sigma_{\dot{x}_{11}}^2 + 4x_{12}^2\sigma_{\dot{x}_{12}}^2 + \dots + 4x_{1\mu}^2\sigma_{\dot{x}_{1\mu}}^2 \\
 &+ 4x_{21}^2\sigma_{\dot{x}_{21}}^2 + 4x_{22}^2\sigma_{\dot{x}_{22}}^2 + \dots + 4x_{2\mu}^2\sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 \\
 &+ 4y_{11}^2\sigma_{\dot{y}_{11}}^2 + 4y_{12}^2\sigma_{\dot{y}_{12}}^2 + \dots + 4y_{1\mu}^2\sigma_{\dot{y}_{1\mu}}^2 \\
 &+ 4y_{21}^2\sigma_{\dot{y}_{21}}^2 + 4y_{22}^2\sigma_{\dot{y}_{22}}^2 + \dots + 4y_{2\mu}^2\sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2 \\
 &= (x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2)f_1^2 \\
 &+ (y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2)f_2^2
 \end{aligned} \tag{6.24}$$

Ako je:

$$\begin{aligned}
 x &= x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \\
 y &= y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2
 \end{aligned} \tag{6.25}$$

Izraz za varijansu postaje:

$$\sigma_w^2 = xf_1^2 + yf_2^2 \quad (6.26)$$

Gustina verovatnoće od x je:

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma_1^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} x^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \quad (6.27)$$

Gustina verovatnoće od y je:

$$p_y(y) = \frac{1}{\sigma_2^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} y^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y}, \quad y \geq 0 \quad (6.28)$$

Na osnovu izraza:

$$w = x + y \quad (6.29)$$

$$y = w - x$$

Varijansa od w postaje:

$$\sigma_w^2 = xf_1^2 + (w - x)f_2^2 = wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2) \quad (6.30)$$

Uslovna gustina verovatnoće od w postaje

$$p_w(w/x, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2)}} e^{-\frac{1}{2} \frac{w^2}{(wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2))}} \quad (6.31)$$

Združena gustina verovatnoće od w , w i x je:

$$p_{\dot{w}wx}(\dot{w}wx) = p_{\dot{w}}(\dot{w}/x, w) p_{xw}(xw) \quad (6.32)$$

gde je:

$$p_{xw}(xw) = p_w(w/x) p_x(x) \quad (6.33)$$

Ako je:

$$w = x + y \quad (6.34)$$

$$y = w - x$$

Uslovna gustina verovatnoće od w je:

$$p_w(w/x) = \left| \frac{dy}{dw} \right| p_y(w - x) \quad (6.35)$$

gde je:

$$\left| \frac{dy}{dw} \right| = 1 \quad (6.36)$$

Zamenom se dobija:

$$p_w(W/x) = p_y(w - x) \quad (6.37)$$

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

$$\begin{aligned} p_{\dot{w}wx}(\dot{w}wx) &= p_{\dot{w}}(\dot{w}/x, w) p_w(W/x) p_x(x) \\ &= p_{\dot{w}}(\dot{w}/x, w) p_y(w - x) p_x(x) \end{aligned} \quad (6.38)$$

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

$$\begin{aligned} p_{\dot{w}w}(\dot{w}w) &= \int_0^w p_{\dot{w}}(\dot{w}/wx) \cdot p_y(w - x) \cdot p(x) dx \\ &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2)}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2))}} \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_2^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} (w - x)^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} x^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \end{aligned} \quad (6.39)$$

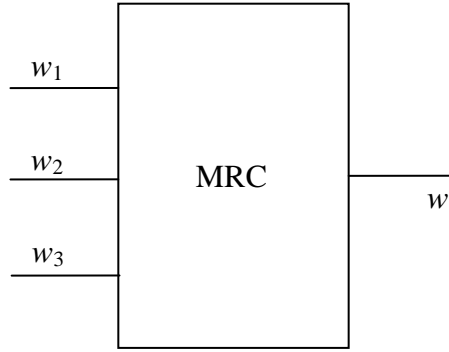
Srednji broj osnih preseka od w je:

$$\begin{aligned} N_w &= \int_0^\infty \dot{w} p_{\dot{w}w}(\dot{w}w) d\dot{w} \\ &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2)}} \cdot \left(\int_0^\infty d\dot{w} \dot{w} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2))}} \right) \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_2^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} (w - x)^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} x^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \\ &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{wf_2^2 + x(f_1^2 + f_2^2)} \cdot \frac{1}{\sigma_2^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} (w - x)^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_1^\mu z^\mu \Gamma(\mu)} x^{\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \end{aligned} \quad (6.40)$$

Srednje vreme trajanja otkaza je:

$$AFD = \frac{P_0}{N_w} = \frac{\int_0^{w_0} p_w(w) dw}{\int_0^\infty \dot{w} p_{\dot{w}w}(\dot{w}w) d\dot{w}} \quad (6.41)$$

Posmatra se MRC kombiner sa tri ulaza. Na ulazima u MRC kombiner prisutan je η - μ feding. Model sistema koji se posmatra prikazan je na slici 6.2.



Slika 6.2: MRC kombiner sa tri ulaza

Signali na ulazima su označeni sa w_1, w_2 i w_3 .

$$\begin{aligned}
 w_1 &= z_1^2 = x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 \\
 w_2 &= z_2^2 = x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \\
 w_3 &= z_3^2 = x_{31}^2 + x_{32}^2 + \dots + x_{3\mu}^2 + y_{31}^2 + y_{32}^2 + \dots + y_{3\mu}^2
 \end{aligned} \tag{6.42}$$

Signal na izlazu iz MRC kombinera je označen sa w .

$$\begin{aligned}
 w &= z^2 = z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 \\
 &= x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 \\
 &\quad + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 \\
 &\quad + x_{31}^2 + x_{32}^2 + \dots + x_{3\mu}^2 \\
 &\quad + y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 \\
 &\quad + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \\
 &\quad + y_{31}^2 + y_{32}^2 + \dots + y_{3\mu}^2
 \end{aligned} \tag{6.43}$$

Ako je:

$$\begin{aligned}
 x &= x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + x_{31}^2 + x_{32}^2 + \dots + x_{3\mu}^2 \\
 y &= y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 + y_{31}^2 + y_{32}^2 + \dots + y_{3\mu}^2
 \end{aligned} \tag{6.44}$$

onda su gustine verovatnoće od x i y :

$$\begin{aligned}
 p_x(x) &= \frac{1}{\sigma_1^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} x^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \\
 p_y(y) &= \frac{1}{\sigma_2^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} y^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y}, \quad y \geq 0
 \end{aligned} \tag{6.45}$$

Ako je:

$$\begin{aligned} w &= x + y \\ x &= w - y \end{aligned} \tag{6.46}$$

onda je uslovna gustina verovatnoće od w jednaka:

$$p_w(w/y) = \left| \frac{dy}{dw} \right| p_x(w - y) \tag{6.47}$$

Gustina verovatnoće od w ima izraz:

$$\begin{aligned} p_w(w) &= \int_0^w p_x(w - y)p_y(y)dy \\ &= \int_0^w \frac{1}{\sigma_1^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} (w - y)^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(w-y)} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} y^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} dy \end{aligned} \tag{6.48}$$

Prvi izvod od w ima vrednost:

$$\begin{aligned} \dot{w} &= 2x_{11}\dot{x}_{11} + 2x_{12}\dot{x}_{12} + \dots + 2x_{1\mu}\dot{x}_{1\mu} \\ &+ 2x_{21}\dot{x}_{21} + 2x_{22}\dot{x}_{22} + \dots + 2x_{2\mu}\dot{x}_{2\mu} \\ &+ 2x_{31}\dot{x}_{31} + 2x_{32}\dot{x}_{32} + \dots + 2x_{3\mu}\dot{x}_{3\mu} \\ &+ 2y_{11}\dot{y}_{11} + 2y_{12}\dot{y}_{12} + \dots + 2y_{1\mu}\dot{y}_{1\mu} \\ &+ 2y_{21}\dot{y}_{21} + 2y_{22}\dot{y}_{22} + \dots + 2y_{2\mu}\dot{y}_{2\mu} \\ &+ 2y_{31}\dot{y}_{31} + 2y_{32}\dot{y}_{32} + \dots + 2y_{3\mu}\dot{y}_{3\mu} \end{aligned} \tag{6.49}$$

Gustina verovatnoće od \dot{w} je:

$$p_{\dot{w}}(\dot{w}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\dot{w}}^2} e^{-\frac{\dot{w}^2}{2\sigma_{\dot{w}}^2}} \tag{6.50}$$

a varijansa od \dot{w} je jednaka:

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{w}}^2 &= 4x_{11}^2\sigma_{\dot{x}_{11}}^2 + 4x_{12}^2\sigma_{\dot{x}_{12}}^2 + \dots + 4x_{1\mu}^2\sigma_{\dot{x}_{1\mu}}^2 \\ &+ 4x_{21}^2\sigma_{\dot{x}_{21}}^2 + 4x_{22}^2\sigma_{\dot{x}_{22}}^2 + \dots + 4x_{2\mu}^2\sigma_{\dot{x}_{2\mu}}^2 \\ &+ 4x_{31}^2\sigma_{\dot{x}_{31}}^2 + 4x_{32}^2\sigma_{\dot{x}_{32}}^2 + \dots + 4x_{3\mu}^2\sigma_{\dot{x}_{3\mu}}^2 \\ &+ 4y_{11}^2\sigma_{\dot{y}_{11}}^2 + 4y_{12}^2\sigma_{\dot{y}_{12}}^2 + \dots + 4y_{1\mu}^2\sigma_{\dot{y}_{1\mu}}^2 \\ &+ 4y_{21}^2\sigma_{\dot{y}_{21}}^2 + 4y_{22}^2\sigma_{\dot{y}_{22}}^2 + \dots + 4y_{2\mu}^2\sigma_{\dot{y}_{2\mu}}^2 \\ &+ 4y_{31}^2\sigma_{\dot{y}_{31}}^2 + 4y_{32}^2\sigma_{\dot{y}_{32}}^2 + \dots + 4y_{3\mu}^2\sigma_{\dot{y}_{3\mu}}^2 \end{aligned} \tag{6.51}$$

Ako je:

$$\begin{aligned}
4\sigma_{x_{11}}^2 &= 4\sigma_{x_{12}}^2 = \dots = 4\sigma_{x_{1\mu}}^2 = 4\sigma_{x_{21}}^2 = 4\sigma_{x_{22}}^2 = \dots = 4\sigma_{x_{2\mu}}^2 = 4\sigma_{x_{31}}^2 = 4\sigma_{x_{32}}^2 = \dots \\
&= 4\sigma_{x_{3\mu}}^2 = f_1^2 \\
4\sigma_{y_{11}}^2 &= 4\sigma_{y_{12}}^2 = \dots = 4\sigma_{y_{1\mu}}^2 = 4\sigma_{y_{21}}^2 = 4\sigma_{y_{22}}^2 = \dots = 4\sigma_{y_{2\mu}}^2 = 4\sigma_{y_{31}}^2 = 4\sigma_{y_{32}}^2 = \dots \\
&= 4\sigma_{y_{3\mu}}^2 = f_2^2
\end{aligned} \tag{6.52}$$

Zamenom, izraz za varijansu od \dot{w} postaje:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\dot{w}}^2 &= (x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + x_{31}^2 + x_{32}^2 + \dots + x_{3\mu}^2)f_1^2 \\
&+ (y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 + y_{31}^2 + y_{32}^2 + \dots + y_{3\mu}^2)f_2^2 \\
&= xf_1^2 + yf_2^2
\end{aligned} \tag{6.53}$$

Kada se primeni izraz (6.46) na (6.53) varijansa od \dot{w} postaje:

$$\sigma_{\dot{w}}^2 = xf_1^2 + (w - x)f_2^2 \tag{6.54}$$

Gustina verovatnoće od \dot{w} je:

$$p_{\dot{w}}(\dot{w}/wx) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{xf_1^2 + (w-x)f_2^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(xf_1^2 + (w-x)f_2^2)}} \tag{6.55}$$

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

$$\begin{aligned}
p_{\dot{w}wx}(\dot{w}wx) &= p_{\dot{w}}(\dot{w}/wx) \cdot p_{wx}(wx) \\
&= p_{\dot{w}}(\dot{w}/wx) \cdot p_w(wx) \cdot p_x(x)
\end{aligned} \tag{6.56}$$

Na osnovu relacije (6.46) dobija se uslovna gustina verovatnoće:

$$p_w(w/x) = \left| \frac{dy}{dw} \right| \cdot p_y(w - x) \tag{6.57}$$

gde je:

$$\left| \frac{dy}{dw} \right| = 1 \tag{6.58}$$

Zamenom se dobija uslovna gustina verovatnoće od w :

$$p_w(w/x) = p_y(w - x) \tag{6.59}$$

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

$$\begin{aligned}
p_{\dot{w}wx}(\dot{w}wx) &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{xf_1^2 + (w-x)f_2^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(xf_1^2 + (w-x)f_2^2)}} \\
&\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} (w-x)^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} x^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}
\end{aligned} \tag{6.60}$$

Srednji broj osnih preseka od w je:

$$\begin{aligned}
 N_w &= \int_0^{\infty} \dot{w} p_{w\dot{w}}(w\dot{w}) d\dot{w} \\
 &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{xf_1^2 + (w-x)f_2^2}} \left(\int_0^{\infty} d\dot{w} \dot{w} e^{-\frac{1}{2}(xf_1^2 + (w-x)f_2^2)\dot{w}^2} \right) \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} (w-x)^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} x^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} = \\
 &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{xf_1^2 + (w-x)f_2^2}} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} (w-x)^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{3\mu}{2}} z^{\frac{3\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{3\mu}{2}\right)} x^{\frac{3\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}
 \end{aligned} \tag{6.61}$$

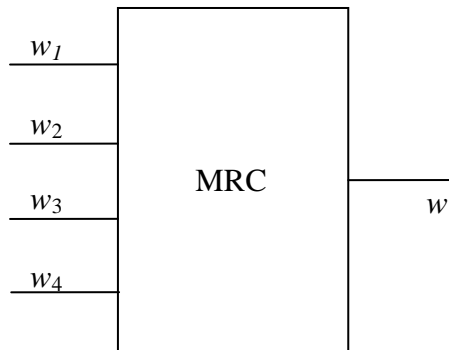
Verovatnoća greške za koherentne sisteme je:

$$P_{e_1} = \int_0^{\infty} a_1(\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) p_z(z) dz = a_1 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} (\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) \cdot z^{4i_1+8\mu-1} \cdot e^{-\alpha z^2} dz \tag{6.62}$$

Verovatnoća greške za nekoherentne sisteme je:

$$P_{e_2} = \int_0^{\infty} a_1 \cdot e^{-b_1 z^2} p_z(z) dz = a_1 \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{2i_1} \int_0^{\infty} e^{-b_1 z^2} \cdot z^{4i_1+8\mu-1} \cdot e^{-\alpha z^2} dz \tag{6.63}$$

Posmatra se MRC kombiner sa četiri ulaza. Model sistema prikazan je na slici 6.3.



Slika 6.3: MRC kombiner sa četiri ulaza.

Signali na ulazima u MRC kombiner su označeni sa w_1, w_2, w_3 i w_4 .

$$\begin{aligned} w_1 &= z_1^2 = x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{1\mu}^2 + y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1\mu}^2 \\ w_2 &= z_2^2 = x_{21}^2 + x_{22}^2 + \dots + x_{2\mu}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2\mu}^2 \\ w_3 &= z_3^2 = x_{31}^2 + x_{32}^2 + \dots + x_{3\mu}^2 + y_{31}^2 + y_{32}^2 + \dots + y_{3\mu}^2 \\ w_4 &= z_4^2 = x_{41}^2 + x_{42}^2 + \dots + x_{4\mu}^2 + y_{41}^2 + y_{42}^2 + \dots + y_{4\mu}^2 \end{aligned} \quad (6.64)$$

Signal na izlazu iz MRC kombinera je jednak:

$$w = z^2 = z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + z_4^2 = x + y \quad (6.65)$$

Gustine verovatnoća od x i y su:

$$\begin{aligned} p_x(x) &= \frac{1}{\sigma_1^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} x^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}, \quad x \geq 0 \\ p_y(y) &= \frac{1}{\sigma_2^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} y^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y}, \quad y \geq 0 \end{aligned} \quad (6.66)$$

Gustina verovatnoće od w se dobija konvolucijom:

$$\begin{aligned} p_w(w) &= \int_0^w p_x(w-y) p_y(y) dy \\ &= \int_0^w dy \frac{1}{\sigma_1^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} (w-y)^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(w-y)} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} y^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}y} \end{aligned} \quad (6.67)$$

Uslovna gustina verovatnoće od \dot{w} je Gausova:

$$p_{\dot{w}}(\dot{w}/wx) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{x f_1^2 + (w-x) f_2^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(x f_1^2 + (w-x) f_2^2)}} \quad (6.68)$$

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

$$\begin{aligned} p_{w\dot{w}}(w\dot{w})d\dot{w} &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{x f_1^2 + (w-x) f_2^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(x f_1^2 + (w-x) f_2^2)}} \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} (w-x)^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} x^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \end{aligned} \quad (6.69)$$

Srednji broj osnih preseka je jednak:

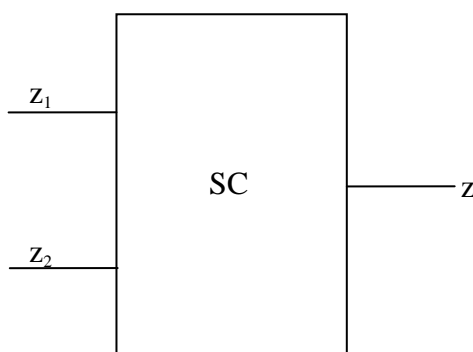
$$\begin{aligned} N_w &= \int_0^\infty \dot{w} p_{w\dot{w}}(w\dot{w})d\dot{w} \\ &= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{x f_1^2 + (w-x) f_2^2}} \left(\int_0^\infty d\dot{w} \dot{w} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{w}^2}{(x f_1^2 + (w-x) f_2^2)}} \right) \\ &\cdot \frac{1}{\sigma_2^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} (w-x)^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \cdot \frac{1}{\sigma_1^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} x^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} = \end{aligned} \quad (6.70)$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^w dx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{xf_1^2 + (w-x)f_2^2} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} (w-x)^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(w-x)} \\
&\cdot \frac{1}{\sigma_1^{2\mu} z^{2\mu} \Gamma(2\mu)} x^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x}
\end{aligned}$$

6.2. Primena SC diverziti tehnike za smanjenje uticaja η - μ fedinga

U ovom delu disertacije razmatran je bežični telekomunikacioni sistem koji koristi diverziti tehniku sa selektivnim SC kombinerom sa dva ulaza na kojima je prisutan nezavisan, neidentičan η - μ feding. Signal na izlazu iz ovog kombinera jednak je signalu sa prvog ulaza u kombiner ako je signal na prvom ulazu u kombiner veći od signala na drugom ulazu u kombiner. Signal na izlazu iz selektivnog kombinera jednak je signalu sa drugog ulaza ako je signal na prvom ulazu u kombiner manji od signala na drugom ulazu [98, 99, 100]. Određena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC kombinera, karakteristična funkcija signala na izlazu iz SC kombinera, kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC kombinera i momenti signala na izlazu iz SC kombinera. Zatim je izračunata srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala, srednja kubna vrednost i varijansa signala na izlazu iz SC kombinera. Određena je i verovatnoća otkaza sistema, iznos fedinga i kapacitet kanala. Verovatnoća greške je izračunata za koherentne sisteme i nekoherentne sisteme. Zatim je izračunata združena gustina verovatnoće signala na izlazu SC kombinera i njegovog prvog izvoda, srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC kombinera i srednje vreme trajanja otkaza sistema.

Posmatra se SC kombiner sa dva ulaza. Na ulazima u SC kombiner prisutan je η - μ feding. Model sistema je prikazan na slici 6.4.



Slika 6.4: SC kombiner sa dva ulaza.

Signali na ulazima u SC kombiner su označeni sa z_1 i z_2 . Gustine verovatnoća signala na ulazima u SC kombiner su jednake:

$$p_{z_1}(z_1) = az_1^{2\mu} e^{-\alpha z_1^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z_1^{4i_1+2\mu-1}, \quad z_1 \geq 0 \quad (6.71)$$

$$p_{z_2}(z_2) = az_2^{2\mu} e^{-\alpha z_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} z_2^{4i_2+2\mu-1}, \quad z_2 \geq 0 \quad (6.72)$$

Kumulativne verovatnoće signala na ulazima u SC kombiner su jednake:

$$F_{z_1}(z_1) = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+2\mu} \gamma(2i_1 + 2\mu, \alpha z_1^2) \quad (6.73)$$

$$F_{z_2}(z_2) = \frac{a}{2} \cdot \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z_2^2) \quad (6.74)$$

Signal na izlazu iz SC kombinera je označen sa z :

$$z = \max(z_1, z_2) \quad (6.75)$$

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC kombinera jednaka je zbiru dva člana. Prvi je proizvod gustine verovatnoće na prvom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na drugom ulazu. Drugi član sume predstavlja proizvod gustine verovatnoće na drugom ulazu i kumulativne verovatnoće signala na prvom ulazu.

$$\begin{aligned} p_z(z) &= p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) + p_{z_2}(z)F_{z_1}(z) = 2p_{z_1}(z)F_{z_2}(z) \\ &= 2az^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z_1^2) \end{aligned} \quad (6.76)$$

Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC kombinera je:

$$F_z(z) = F_{z_1}(z) \cdot F_{z_2}(z) = \left(F_{z_1}(z)\right)^2 = \left(\frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+2\mu} \gamma(2i_1 + 2\mu, \alpha z^2)\right)^2 \quad (6.77)$$

Karakteristična funkcija signala na izlazu iz SC kombinera je:

$$\begin{aligned} M_z(s) &= \overline{e^{zs}} = \int_0^{\infty} e^{zs} p_z(z) \\ &= \int_0^{\infty} dz e^{zs} \cdot 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2) \end{aligned} \quad (6.78)$$

Momenti signala na izlazu iz SC kombinera su:

$$\begin{aligned}
m_n &= \overline{z^n} = \int_0^{\infty} z^n p_z(z) dz \\
&= \int_0^{\infty} dz z^n 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2)
\end{aligned} \tag{6.79}$$

Srednja vrednost od z je:

$$\begin{aligned}
m_1 &= \bar{z} = \int_0^{\infty} z p_z(z) dz \\
&= \int_0^{\infty} dz z 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2)
\end{aligned} \tag{6.80}$$

Srednja kvadratna vrednost od z je:

$$\begin{aligned}
m_2 &= \overline{z^2} = \int_0^{\infty} z^2 p_z(z) dz \\
&= \int_0^{\infty} dz z^2 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2)
\end{aligned} \tag{6.81}$$

Srednja kubna vrednost od z je:

$$\begin{aligned}
m_3 &= \overline{z^3} = \int_0^{\infty} z^3 p_z(z) dz \\
&= \int_0^{\infty} dz z^3 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2)
\end{aligned} \tag{6.82}$$

Varijansa od z je:

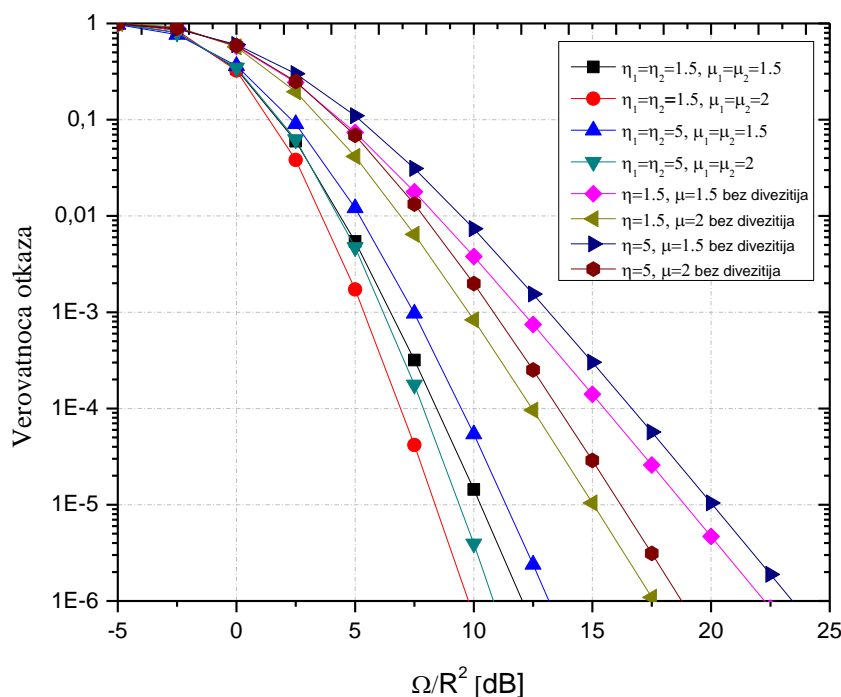
$$\sigma_z^2 = \overline{(z - \bar{z})^2} = \int_0^{\infty} (z - \bar{z})^2 \cdot p_z(z) dz = \overline{z^2} - \bar{z}^2 \tag{6.83}$$

Iznos fedinga je jednak:

$$AF = \frac{m_2 - m_1^2}{m_1^2} = \frac{m_2}{m_1^2} - 1 \tag{6.84}$$

Verovatnoća otkaza signala na izlazu iz SC kombinera je jednaka:

$$P_0 = \int_0^{z_0} p_z(z) dz = F_z(z_0) = \left(\frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_1+2\mu} \gamma(2i_1 + 2\mu, \alpha z^2) \right)^2 \tag{6.85}$$



Slika 6.5: Poboljšanje verovatnoće otkaza na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Kapacitet kanala je jednak:

$$C = \int_0^{\infty} (\ln(1 + z^2)) p_z(z) dz = \int_0^{\infty} (\ln(1 + z^2)) 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} dz \quad (6.86)$$

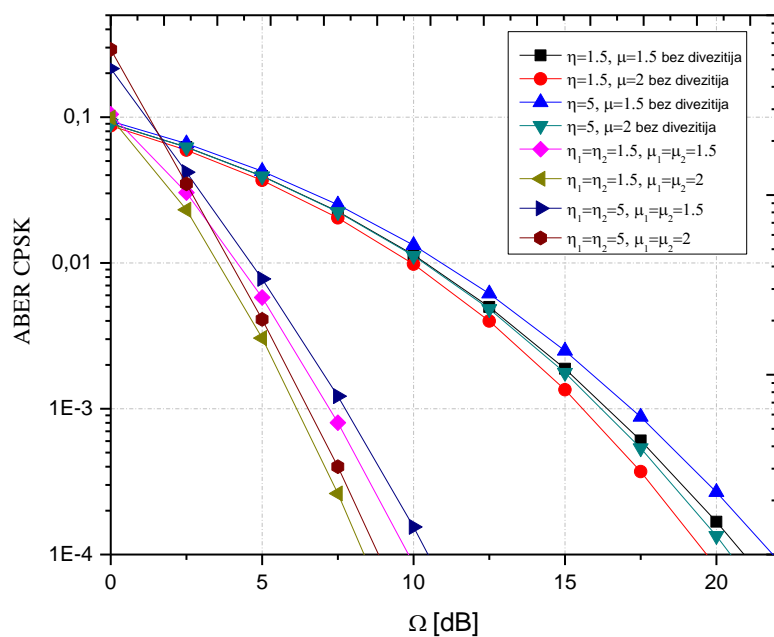
$$\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2) dz$$

Verovatnoća greške za koherentne sisteme jednaka je:

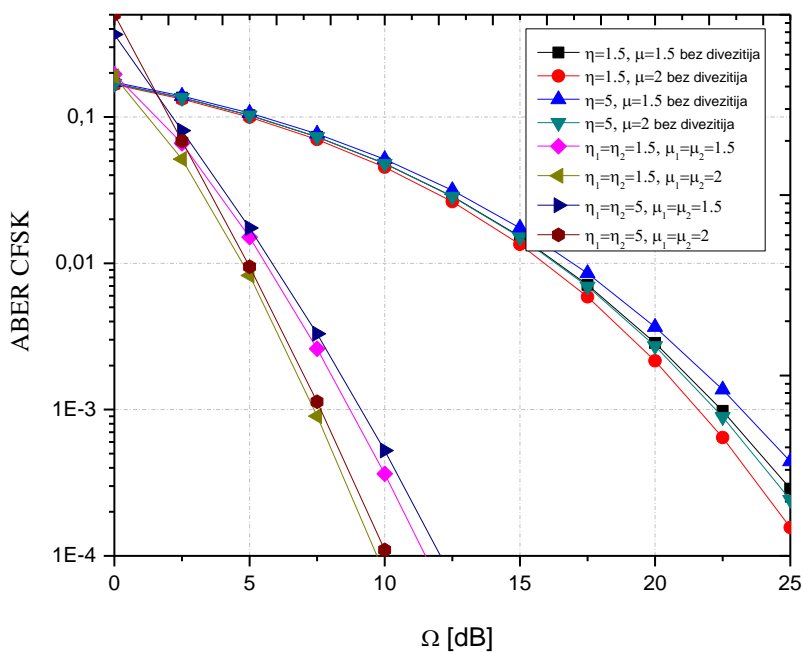
$$P_{e_1} = \int_0^{\infty} a_1(\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) p_z(z) dz$$

$$= \int_0^{\infty} a_1(\operatorname{erfc}(b_1 z^2)) dz \quad (6.87)$$

$$\cdot 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2 + 2\mu, \alpha z^2)$$



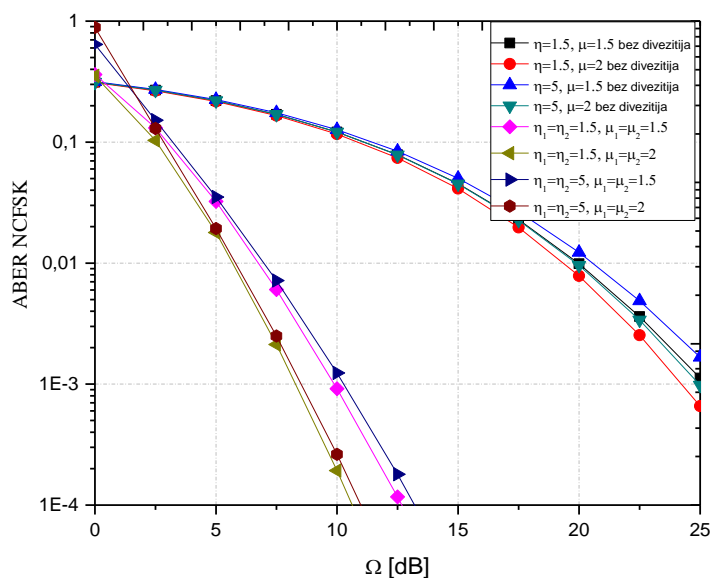
Slika 6.6: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za CPSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.



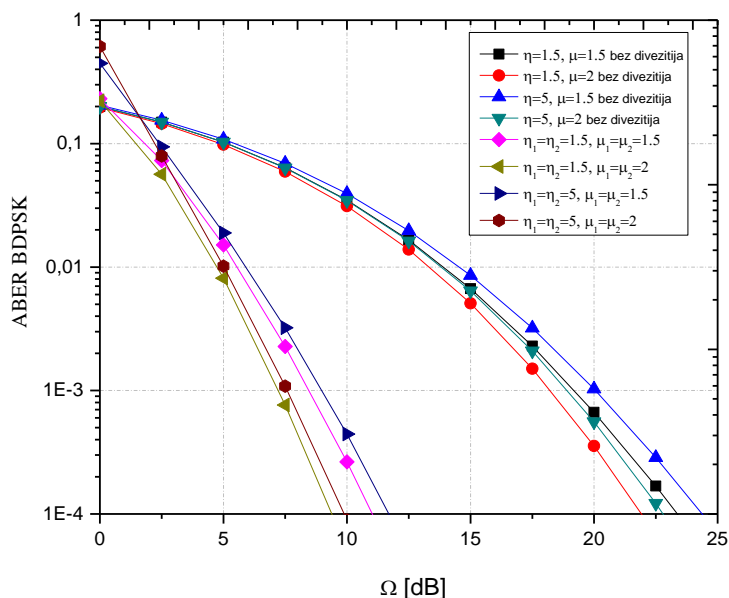
Slika 6.7: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za CFSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Verovatnoća greške za nekoherentne sisteme jednaka je:

$$P_{e_2} = \int_0^{\infty} a_1 \cdot e^{-b_1 z^2} p_z(z) dz = \int_0^{\infty} a_1 \cdot e^{-b_1 z^2} \cdot 2a z^{2\mu} e^{-\alpha z^2} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{1i_1} z^{4i_1+2\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+2\mu} \gamma(2i_2+2\mu, \alpha z^2) dz \quad (6.88)$$



Slika 6.8: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za NCFSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.



Slika 6.9: Poboljšanje srednje verovatnoće greške po bitu za BDPSK modulacioni format na prijemu primenom SC kombinovanja sa dve prijemne grane.

Sa slika od 6.5 do slike 6.9 vidljivo je evidentno poboljšanje performansi za slučaj primene SC diverziti tehnike sa dve grane za posmatrane vrednosti parametara propagacionog okruženja η i μ . Time je pokazano da je za postizanje istog nivoa verovatnoće greške i verovatnoće otkaza na prijemu za slučaj primene SC diverziti tehnike potrebna manja snaga signala na predaji u posmatranom propagacionom okruženju.

Združena gustina verovatnoće od signala z i njegovog prvog izvoda je:

$$\begin{aligned}
 p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) &= p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) F_{z_2}(z) + p_{z_2\dot{z}_2}(z\dot{z}) F_{z_1}(z) = 2p_{z_1\dot{z}_1}(z\dot{z}) F_{z_2}(z) \\
 &= 2 \cdot \int_0^z dx \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{xf_1^2 + (z-x)f_2^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\dot{z}^2}{(xf_1^2 + (z-x)f_2^2)}} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+\mu} \gamma(2i_2 + \mu, \alpha z^2)
 \end{aligned} \tag{6.89}$$

Srednji broj osnih preseka od z je:

$$\begin{aligned}
 N_z &= \int_0^{\infty} \dot{z} p_{z\dot{z}}(z\dot{z}) d\dot{z} \\
 &= 2 \cdot \int_0^z dx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{xf_1^2 + (z-x)f_2^2} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_2^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (z-x)^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(z-x)} \\
 &\cdot \frac{1}{\sigma_1^2 z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} x^{\frac{\mu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}x} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{1i_2} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2i_2+\mu} \gamma(2i_2 + \mu, \alpha z^2)
 \end{aligned} \tag{6.90}$$

Srednje vreme trajanja otkaza je:

$$AFD = \frac{P_0}{N_z} \tag{6.91}$$

6.3. Performanse prijemnika koji radi u kanalu sa η - μ fedingom u prisustvu η - μ međukanalne interferencije

Odnos anvelope korisnog signala i interferencije kada je interferencija dominantna smetnja u odnosu na Gausov šum veoma je važan parametar bežičnog telekomunikacionog sistema. Iz tog razloga je analizirana slučajna promenljiva u kanalu sa η - μ fedingom u prisustvu η - μ međukanalne interferencije. Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji mogu se primeniti za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i kapaciteta kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi preko η - μ feding kanala u prisustvu međukanalne interferencije korumpirane η - μ fedingom

Gustina verovatnoće korisnog signala je:

$$\begin{aligned}
 p_x(x) &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} x^{2\mu} \exp\left[\frac{-2\mu h x^2}{\Omega_1}\right] \cdot I_{\mu-\frac{1}{2}}\left[\frac{2\mu H}{\Omega_1} x^2\right] \\
 &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} x^{4i_1+4\mu-1} \exp\left[\frac{-2\mu h x^2}{\Omega_1}\right]
 \end{aligned} \tag{6.92}$$

gde je:

$$H = \frac{1}{4}(\eta^{-1} - \eta); \quad h = \frac{1}{4}\left(2 + \frac{1}{\eta} + \eta\right); \quad \eta \geq 0 \tag{6.93}$$

Gustina verovatnoće od međukanalne interferencije y je:

$$\begin{aligned}
 p_y(y) &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma\left(i_2 + \mu + \frac{1}{2}\right)} y^{4i_2+4\mu-1} \exp\left[\frac{-2\mu h y^2}{\Omega_2}\right]
 \end{aligned} \tag{6.94}$$

Odnos anvelope korisnog signala i interferencije je:

$$z = \frac{x}{y} \tag{6.95}$$

Gustina verovatnoće korisnog signala i interferencije je:

$$\begin{aligned}
p_z(z) &= \int_0^\infty dy y p_x(z y) p_y(y) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu + \frac{1}{2})} z^{4i_1+4\mu-1} \\
&\cdot \int_0^\infty dy y^{4i_1+4i_2+8\mu-1} \exp\left[-y^2 \left(\frac{2\mu h z^2}{\Omega_1} + \frac{2\mu h}{\Omega_2}\right)\right] = \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu + \frac{1}{2})} z^{4i_1+4\mu-1} \\
&\cdot \frac{1}{2} \frac{1}{(\Omega_1 + z^2 \Omega_2)^{2i_1+2i_2+4\mu}} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu)
\end{aligned} \tag{6.96}$$

Kumulativna verovatnoća od z je:

$$\begin{aligned}
F_z(z) &= \int_0^z dt p_z(t) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu + \frac{1}{2})} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \cdot \int_0^z dt \frac{t^{4i_1+4\mu-1}}{(\Omega_1 + z^2 \Omega_2)^{2i_1+2i_2+4\mu}}
\end{aligned} \tag{6.97}$$

Koristi se integral [72]:

$$\int_0^\lambda \frac{x^m}{(a + bx^n)^p} = \frac{a^{-p}}{n} \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{m+1}{n}} B_z\left(\frac{m+1}{n}, p - \frac{m+1}{n}\right) \tag{6.98}$$

$$z = \frac{b\lambda^n}{a + b\lambda^n}, a > b, b > 0, n > 0, 0 < \frac{m+1}{n} < p \tag{6.99}$$

Zamenom se dobija:

$$\begin{aligned}
F_z(z) &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma\left(i_2 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \frac{\Omega_1^{-(2i_1+2i_2+4\mu)}}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{\frac{4i_1+4\mu}{2}} \\
&\cdot B_{z_1}(2i_1 + 2\mu, 2i_2 + 2\mu)
\end{aligned} \tag{6.100}$$

gde je:

$$z_1 = \frac{\Omega_1 z^2}{\Omega_1 + \Omega_2 z^2} \tag{6.101}$$

Moment n -tog reda od z je:

$$\begin{aligned}
m_n = \overline{z^n} &= \int_0^\infty dz z^n p_z(z) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma\left(i_2 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \int_0^\infty \frac{z^{4i_1+4\mu+n-1}}{(\Omega_1 + \Omega_2 z^2)^{2i_1+2i_2+4\mu}} \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \cdot \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma\left(i_2 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \frac{\Omega_1^{-(2i_1+2i_2+4\mu)}}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\Omega_2}\right)^{\frac{4i_1+4\mu+n}{2}} B\left(2i_1\right. \\
&\left.+ 2\mu + \frac{n}{2}, 2i_2 + 2\mu - \frac{n}{2}\right)
\end{aligned} \tag{6.102}$$

Verovatnoća otkazana izlazu iz SC kombinera je jednaka:

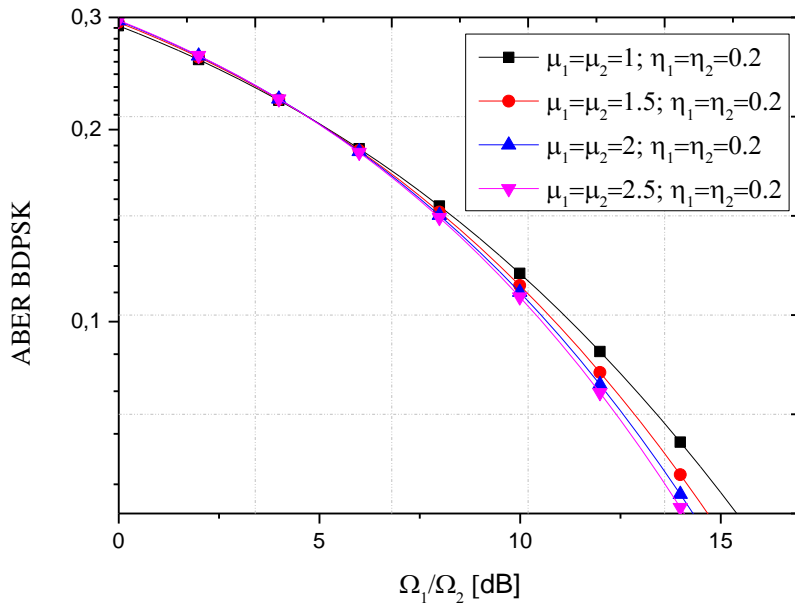
$$P_o = \int_0^{z_0} p_z(z) dz = F_z(z_0) \tag{6.103}$$

Verovatnoća greške za koherentne sisteme je:

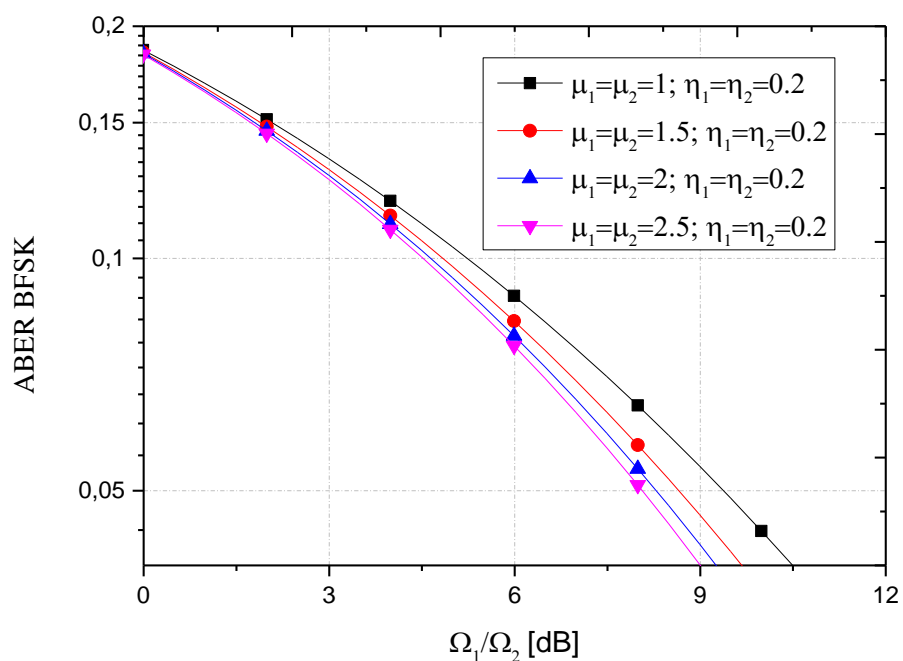
$$\begin{aligned}
P_e &= \int_0^{\infty} p_z(z) dz (\text{erfc}(bz^2)) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu + \frac{1}{2})} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \cdot \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \\
&\cdot \int_0^{\infty} dz (\text{erfc}(bz^2)) \frac{z^{4i_1+4\mu-1}}{(\Omega_1 + \Omega_2 z^2)^{2i_1+2i_2+4\mu}}
\end{aligned} \tag{6.104}$$

Verovatnoća greške za nekoherentne sisteme je:

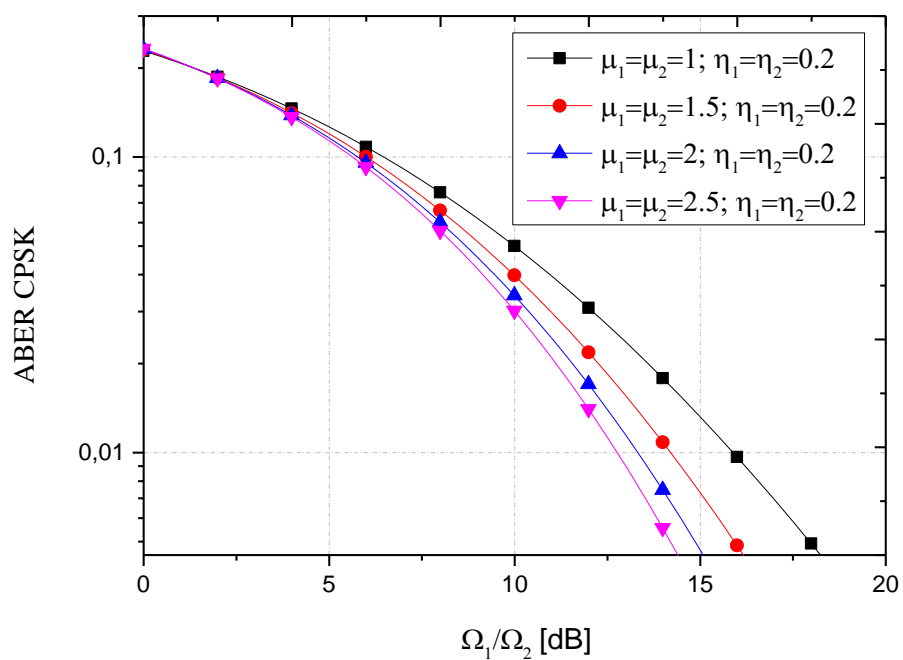
$$\begin{aligned}
P_e &= \int_0^{\infty} p_z(z) dz a e^{bz^2} = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_2^{\mu+\frac{1}{2}}} \\
&\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_2}\right)^{2i_2+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu + \frac{1}{2})} \\
&\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1 \Omega_2}{2\mu h}\right)^{2i_1+2i_2+4\mu} \Gamma(2i_1 + 2i_2 + 4\mu) \int_0^{\infty} dz a e^{bz^2} \frac{z^{4i_1+4\mu-1}}{(\Omega_1 + \Omega_2 z^2)^{2i_1+2i_2+4\mu}}
\end{aligned} \tag{6.105}$$



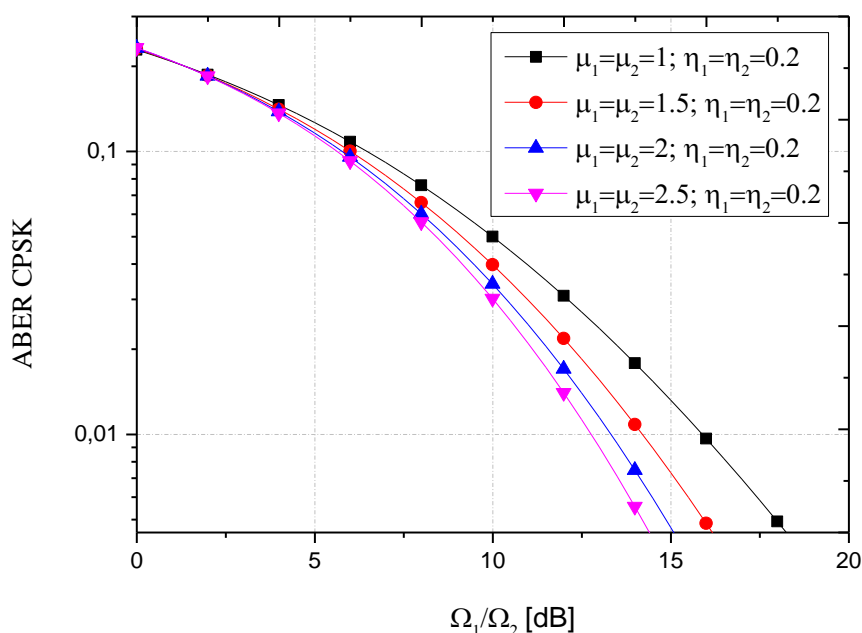
Slika 6.10: Vrednosti ABER za BDPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ



Slika 6.11: Vrednosti ABER za BFSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .



Slika 6.12: Vrednosti ABER za CPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .



Slika 6.13: Vrednosti ABER za CPSK modulacioni format za slučaj prisustva η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije za zadate vrednosti parametara η i μ .

Na slikama od 6.10 do 6.13 prikazane su srednje verovatnoće greške po bitu za navedene modulacione formate kada posmatramo uticaj η - μ fedinga i η - μ kokanalne interferencije u funkciji promene parametara η i μ

6.3.1. Korisni signal je opisan η - μ raspodelom, a interferencija je opisana κ - μ raspodelom

Gustina verovatnoće anvelope korisnog signala je:

$$p_x(x) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} x^{4i_1+4\mu-1} e^{-\frac{2\mu h x^2}{\Omega_1}} \quad (6.106)$$

Gustina verovatnoće anvelope međukanalne interferencije je:

$$p_y(y) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_1^{\frac{\mu+1}{2}}} y^\mu e^{-\frac{\mu(k+1)y^2}{\Omega_1}} I_{\mu-1} \left(2 \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_1}} y \right) =$$

$$= \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_1^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} y^{2i_2+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)y^2}{\Omega_2}} \quad (6.107)$$

Količnik od x i y je:

$$z = \frac{x}{y}, x = zy \quad (6.108)$$

Gustina verovatnoće od z je:

$$\begin{aligned} p_z(z) &= \int_0^{\infty} dy y p_x(yz) p_y(y) \\ &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^{\mu}}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu+\frac{1}{2})} \\ &\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} z^{4i_1+4\mu-1} \\ &\cdot \int_0^{\infty} dy y^{4i_1+2i_2+6\mu-1} e^{-\left(\frac{\mu H}{\Omega_1} z^2 + \frac{\mu(k+1)}{\Omega_2}\right) y^2} = \quad (6.109) \\ &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^{\mu}}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu+\frac{1}{2})} \\ &\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} z^{4i_1+4\mu-1} \\ &\cdot \frac{1}{2} \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{(2\mu H \Omega_2 z^2 + \mu(k+1) \Omega_1)^{2i_1+i_2+3\mu}} \end{aligned}$$

Kumulativna verovatnoća od z je:

$$\begin{aligned} F_z(z) &= \int_0^z dt p_z(t) = \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^{\mu}}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu+\frac{1}{2})} \\ &\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu)} \\ &\cdot \frac{1}{2} (\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu} \cdot \int_0^z dt \frac{t^{4i_1+4\mu-1}}{(2\mu H \Omega_2 z^2 + \mu(k+1) \Omega_1)^{2i_1+i_2+3\mu}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)}. \\
&\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}}\right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \\
&\cdot \frac{(\mu(k+1)\Omega_1)^{-2i_1+i_2+3\mu}}{2} \cdot \left(\frac{\mu(k+1)\Omega_1}{2\mu H \Omega_2}\right)^{2i_1+2\mu} \cdot B_{z_1}(2i_1 + 2\mu, i_2 + \mu)
\end{aligned} \tag{6.110}$$

gde je:

$$z_1 = \frac{2\mu H \Omega_2 z^2}{\mu(k+1)\Omega_1 + 2\mu H \Omega_2 z^2} \tag{6.111}$$

Karakteristična funkcija od z je:

$$\begin{aligned}
M_z(s) &= \overline{e^{sz}} = \int_0^{\infty} dz e^{sz} p_z(z) \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}}\right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2} \\
&\cdot \int_0^{\infty} \frac{z^{4i_1+4\mu-1}}{(2\mu H \Omega_2 z^2 + \mu(k+1)\Omega_1)^{2i_1+i_2+3\mu}} dz \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s^k z^k}{k!} \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}}\right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2} \\
&\cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s^k}{k!} \int_0^{\infty} \frac{z^{4i_1+4\mu-1}}{(2\mu H \Omega_2 z^2 + \mu(k+1)\Omega_1)^{2i_1+i_2+3\mu}} dz \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1}\right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma\left(i_1 + \mu + \frac{1}{2}\right)} \\
&\cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}}\right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2}.
\end{aligned} \tag{6.112}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s^k}{k!} \cdot \frac{(\mu(k+1)\Omega_1)^{-2i_1+i_2+3\mu}}{2} \cdot \left(\frac{\mu(k+1)\Omega_1}{2\mu H\Omega_2} \right)^{2i_1+2\mu+\frac{k}{2}} \\
& \cdot B_{z_1} \left(2i_1 + 2\mu + \frac{k}{2}, i_2 + \mu - \frac{k}{2} \right) \\
& \text{Momenti od } z \text{ su:} \\
m_n = \bar{z}^n &= \int_0^{\infty} dz z^n p_z(z) \\
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \\
& \cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2} \\
& \cdot \int_0^{\infty} \frac{z^{4i_1+4\mu-1+n}}{(2\mu H\Omega_2 z^2 + \mu(k+1)\Omega_1)^{2i_1+i_2+3\mu}} dz = \tag{6.113}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \\
& \cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2} \\
& \cdot \frac{(\mu(k+1)\Omega_1)^{-(2i_1+i_2+3\mu)}}{2} \cdot \left(\frac{\mu(k+1)\Omega_1}{2\mu H\Omega_2} \right)^{2i_1+2\mu+\frac{n}{2}} \cdot B_{z_1} \left(2i_1 + 2\mu + \frac{n}{2}, i_2 + \mu - \frac{n}{2} \right)
\end{aligned}$$

Za $n=1$ dobija se srednja vrednost:

$$\begin{aligned}
m_1 = \bar{x} &= \frac{4\sqrt{\pi} \mu^{\mu+\frac{1}{2}} h^\mu}{\Gamma(\mu) H^{\mu-\frac{1}{2}} \Omega_1^{\mu+\frac{1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\mu H}{\Omega_1} \right)^{2i_1+\mu-\frac{1}{2}} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu + \frac{1}{2})} \\
& \cdot \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega_2^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu)} \cdot \frac{(\Omega_1 \Omega_2)^{2i_1+i_2+3\mu}}{2} \tag{6.114} \\
& \cdot \frac{(\mu(k+1)\Omega_1)^{-(2i_1+i_2+3\mu)}}{2} \cdot \left(\frac{\mu(k+1)\Omega_1}{2\mu H\Omega_2} \right)^{2i_1+2\mu+\frac{n}{2}} \cdot B_{z_1} \left(2i_1 + 2\mu + \frac{n}{2}, i_2 + \mu - \frac{n}{2} \right)
\end{aligned}$$

6.4. Korelisan η - μ feding

U ovoj glavi formiraćemo združenu gustinu verovatnoće odnosa signal/interferencija kada su i signal fedinga i signal kokanalne interferencije modelovani pomoću η - μ združene gustine verovatnoće.

Združena gustina verovatnoće dve anvelope korisnog signala je [15, 66]:

$$\begin{aligned}
 & p_{x_1 x_2}(x_1 x_2) \\
 &= \frac{(1 - \sqrt{\rho_1})^{2\mu_1}}{\Gamma(\mu_1)^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \sum_{i_2=0}^{\infty} \sum_{i_3=0}^{\infty} \sum_{i_4=0}^{\infty} \frac{2^{4\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4} \mu_1^{4\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4}}{\Omega_1^{4\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4} (1 - \sqrt{\rho_1})^{4\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4}} \\
 & \cdot \frac{(h_1 - H_1)^{i_1+i_2} (h_1 - H_1)^{i_3+i_4} (\sqrt{\rho_1})^{i_1+i_2+i_3+i_4} (h_1^2 - H_1^2)^{2\mu_1}}{(1 - \sqrt{\rho_1})^{2\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4} i_1! i_2! i_3! i_4!} \\
 & \cdot \frac{\Gamma(\mu_1 + i_1 + i_2) \Gamma(\mu_1 + i_3 + i_4)}{\Gamma(2\mu_1 + i_1 + i_3) \Gamma(2\mu_1 + i_2 + i_4)} x_1^{2\mu_1+i_1+i_3-1} x_2^{2\mu_1+i_2+i_4-1} \\
 & \cdot F_1 \left(\mu_1 + i_1, 2\mu_1 + i_1 + i_3, \frac{4h_1 H_1}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} x_1 \right) F_1 \left(\mu_1 + i_2, 2\mu_1 + i_2 \right. \\
 & \left. + i_4, \frac{4h_1 H_1}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} x_2 \right) \cdot \exp \left(\frac{2\mu_1(h_1 + H_1)}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} x_1 \right) \cdot \exp \left(\frac{2\mu_1(h_1 + H_1)}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} x_2 \right)
 \end{aligned} \tag{6.115}$$

Združena gustina verovatnoće dve anvelope interferencije je:

$$\begin{aligned}
 & p_{y_1 y_2}(y_1 y_2) \\
 &= \frac{(1 - \sqrt{\rho_1})^{2\mu_1}}{\Gamma(\mu_1)^2} \sum_{j_1=0}^{\infty} \sum_{j_2=0}^{\infty} \sum_{j_3=0}^{\infty} \sum_{j_4=0}^{\infty} \frac{2^{4\mu_1+j_1+j_2+j_3+j_4} \mu_1^{4\mu_1+j_1+j_2+j_3+j_4}}{\Omega_1^{4\mu_1+j_1+j_2+j_3+j_4} (1 - \sqrt{\rho_1})^{4\mu_1+j_1+j_2+j_3+j_4}} \\
 & \cdot \frac{(h_1 - H_1)^{j_1+j_2} (h_1 - H_1)^{j_3+j_4} (\sqrt{\rho_1})^{j_1+j_2+j_3+j_4} (h_1^2 - H_1^2)^{2\mu_1}}{(1 - \sqrt{\rho_1})^{2\mu_1+j_1+j_2+j_3+j_4} j_1! j_2! j_3! j_4!} \\
 & \cdot \frac{\Gamma(\mu_1 + j_1 + j_2) \Gamma(\mu_1 + j_3 + j_4)}{\Gamma(2\mu_1 + j_1 + j_3) \Gamma(2\mu_1 + j_2 + j_4)} y_1^{2\mu_1+j_1+j_3-1} y_2^{2\mu_1+j_2+j_4-1} \\
 & \cdot F_1 \left(\mu_1 + j_1, 2\mu_1 + j_1 + j_3, \frac{4h_1 H_1}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} y_1 \right) F_1 \left(\mu_1 + j_2, 2\mu_1 + j_2 \right. \\
 & \left. + j_4, \frac{4h_1 H_1}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} y_2 \right) \cdot \exp \left(\frac{2\mu_1(h_1 + H_1)}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} y_1 \right) \cdot \exp \left(\frac{2\mu_1(h_1 + H_1)}{\Omega_1(1 - \sqrt{\rho_1})} y_2 \right)
 \end{aligned} \tag{6.116}$$

Neka je:

$$\lambda_1 = \frac{x_1^2}{y_1^2}, \quad x_1^2 = \lambda_1 y_1^2, \quad x_1 = y_1 \sqrt{\lambda_1} \quad (6.117)$$

$$\lambda_2 = \frac{x_2^2}{y_2^2}, \quad x_2^2 = \lambda_2 y_2^2, \quad x_2 = y_2 \sqrt{\lambda_2} \quad (6.118)$$

Združena gustina verovatnoće od λ_1 i λ_2 je:

$$p_{\lambda_1 \lambda_2}(\lambda_1 \lambda_2) = ||| p_{x_1 x_2}(y_1 \sqrt{\lambda_1}, y_2 \sqrt{\lambda_2}) \quad (6.119)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial x_1}{\partial \lambda_2} \\ \frac{\partial x_2}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial x_2}{\partial \lambda_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{y_1}{2\lambda_1^{1/2}} & 0 \\ 0 & \frac{y_2}{2\lambda_2^{1/2}} \end{vmatrix} = \frac{y_1 y_2}{4\sqrt{\lambda_1 \lambda_2}} \quad (6.120)$$

Zamenom se dobija da je združena gustina verovatnoće jednaka:

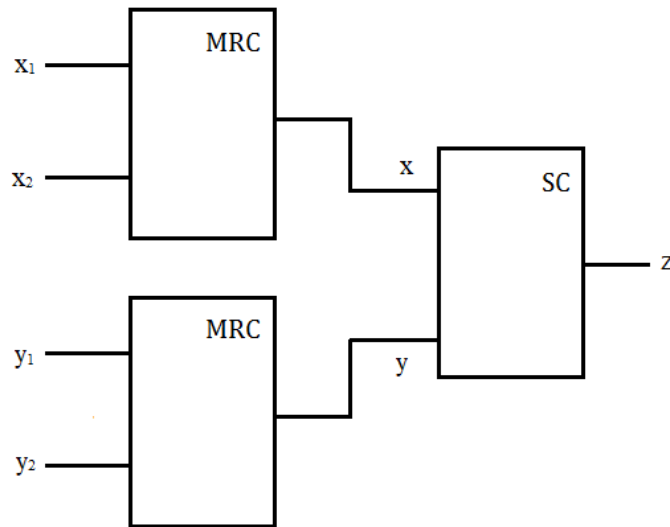
$$\begin{aligned} p_{\lambda_1 \lambda_2}(\lambda_1 \lambda_2) &= \int_0^\infty dy_1 \int_0^\infty dy_2 \frac{y_1 y_2}{4\sqrt{\lambda_1 \lambda_2}} p_{x_1 x_2}(y_1 \sqrt{\lambda_1}, y_2 \sqrt{\lambda_2}) \cdot p_{y_1 y_2}(y_1, y_2) \\ &= \sum_{i_1, i_2, i_3, i_4=0}^\infty \sum_{j_1, j_2, j_3, j_4=0}^\infty \frac{(1 - \sqrt{\rho_2})^{2\mu_2} (1 - \sqrt{\rho_1})^{2\mu_1}}{4\Gamma(\mu_1)^2 4\Gamma(\mu_2)^2} \\ &= \frac{\lambda_1^{\mu_1 + \frac{i_1 + i_3}{2} - 1} \lambda_2^{\mu_2 + \frac{i_2 + i_4}{2} - 1}}{\left((1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_1} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_1 \right)^{2\mu_1 + 2\mu_2 + i_1 + i_3 + j_1 + j_3}} \\ &\cdot \frac{\Gamma(2\mu_1 + 2\mu_2 + i_1 + i_3 + j_1 + j_3) \Gamma(2\mu_1 + 2\mu_2 + i_2 + i_4 + j_2 + j_4)}{\left((1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_2} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_2 \right)^{2\mu_1 + 2\mu_2 + i_2 + i_4 + j_2 + j_4}} \\ &\cdot F_A \left| \begin{array}{c} 2\mu_1 + 2\mu_2 + i_1 + i_3 + j_1 + j_3, \mu_2 + j_1, 2\mu_1 + i_1 + i_3, \\ 2\mu_1 + j_1 + j_3, \frac{2\mu_1 H_1 (1 - \sqrt{\rho_2}) \sqrt{\lambda_1}}{(1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_1} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_1} \\ \frac{2\mu_2 H_2 (1 - \sqrt{\rho_1}) s_1}{(1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_1} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_1} \end{array} \right| \quad (6.121) \\ &\cdot F_A \left| \begin{array}{c} 2\mu_1 + 2\mu_2 + i_2 + i_4 + j_2 + j_4, \mu_1 + i_2, \mu_2 + j_2, 2\mu_2 + i_2 + i_4, \\ 2\mu_1 + j_2 + j_4, \frac{2\mu_1 H_1 (1 - \sqrt{\rho_2}) \sqrt{\lambda_2}}{(1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_2} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_2} \\ \frac{2\mu_2 H_2 (1 - \sqrt{\rho_1}) s_2}{(1 - \sqrt{\rho_1})\mu_2 (h_2 + H_2)\sqrt{\lambda_2} + (1 - \sqrt{\rho_2})\mu_1 (h_1 + H_1)s_2} \end{array} \right| \end{aligned}$$

gde je:

$$\begin{aligned}
 c_1 = & \frac{\mu_1^{4\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4} \mu_2^{4\mu_2+j_1+j_2+j_3+j_4} (\sqrt{\rho_1})^{i_1+i_2+i_3+i_4} (\sqrt{\rho_2})^{j_1+j_2+j_3+j_4}}{(1-\sqrt{\rho_1})^{2\mu_1+i_1+i_2+i_3+i_4} (1-\sqrt{\rho_2})^{2\mu_2+j_1+j_2+j_3+j_4}} \\
 & \cdot \frac{(h_2 - H_2)^{j_1+j_2} (h_2 - H_2)^{j_3+j_4} (h_2^2 - H_2^2)^{4\mu_2} S_1^{4\mu_2+j_1+j_2+j_3+j_4}}{\Gamma(2\mu_2 + j_1 + j_3) \Gamma(2\mu_2 + j_2 + j_4) i_1! i_2! i_3! i_4!} \\
 & \cdot \frac{(h_1 - H_1)^{i_1+i_2+i_3+i_4} (h_1^2 - H_1^2)^{4\mu_1}}{\Gamma(2\mu_1 + i_1 + i_3) \Gamma(2\mu_1 + i_2 + i_4) j_1! j_2! j_3! j_4!}
 \end{aligned} \tag{6.122}$$

7. PRIMENA MAKRODIVERZITI SISTEMA ZA POBOLJŠANJE PERFORMANSI SIGNALA U η - μ FEDING OKRUŽENJU

Razmatra se makrodiverziti sistem sa dva MRC mikrodiverziti kombinera. Svaki od mikrodiverziti kombinera ima po dva ulaza. Na ulazima u mikrodiverziti kombiner prisutan je nezavisan η - μ feding. Na ulazima u makrodiverziti sistem prisutan je spori Gama feding. Makrodiverziti kombiner je selektivan. Signali na ulazima u prvi mikrodiverziti MRC prijemnik su x_1 i x_2 , a na ulazima u drugi mikrodiverziti MRC prijemnik su y_1 i y_2 . Signal na izlazu iz prvog mikrodiverziti MRC prijemnika je x , a na izlazu iz drugog mikrodiverziti MRC prijemnika je y . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je z . Model sistema koji se razmatra prikazan je na slici.



Slika 7.1: Makrodiverziti sistem sa dva MRC mikrodiverziti kombinera.

Gustina verovatnoće signala na ulazu x_1 je:

$$\begin{aligned}
 p_{x_1}(x_1) &= \int_0^{x_1} dt \cdot \frac{1}{\sigma_1^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} (x_1 - t) e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(x_1-t)} \cdot \frac{1}{\sigma_2^{\frac{\mu}{2}} z^{\frac{\mu}{2}} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)} t e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}t} \\
 &= \frac{1}{z^{\mu} \Gamma\left(\frac{\mu}{2}\right)^2 (\sigma_1 \sigma_2)^{\mu/2}} e^{-\frac{x_1}{2\sigma_1^2}} \cdot \int_0^{x_1} dt t (x_1 - t) e^{-\frac{t}{2} \left(\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{\sigma_1^2 \sigma_2^2} \right)}
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

gde je:

$$\begin{aligned}
\sigma_1^2 + \sigma_2^2 &= \Omega_1 \\
\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} &= k \\
\sigma_1^2 &= k \cdot \sigma_2^2 \\
k \cdot \sigma_2^2 + \sigma_2^2 &= \Omega_1 \\
\sigma_2^2 &= \frac{\Omega_1}{k+1} \\
\sigma_1^2 &= \frac{k\Omega_1}{k+1}
\end{aligned} \tag{7.2}$$

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{\Omega_1 \sqrt{k}}{1+k} \tag{7.3}$$

$$\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{\sigma_1^2 \sigma_2^2} = \frac{\Omega_1}{\frac{k\Omega_1^2}{(1+k)^2}} = \frac{(1+k)^2}{k\Omega_1} \tag{7.4}$$

Nakon zamene gustina verovatnoće signala na ulazu x_1 je:

$$\begin{aligned}
p_{x_1}(x_1) &= \frac{1}{z^\mu (\Gamma(\mu/2))^2} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\Omega_1 \sqrt{k}}{1+k}\right)^{\mu/2}} \cdot e^{-\frac{x_1 k+1}{2} \frac{1}{\Omega_1 k}} \cdot \int_0^{x_1} dt t(x_1 - t) e^{-\frac{t}{2} \frac{(1+k)^2}{k\Omega_1}} \\
&= \frac{1}{z^\mu (\Gamma(\mu/2))^2} \cdot \left(\frac{1+k}{\sqrt{k}}\right)^{\mu/2} \cdot \frac{1}{\Omega_1^{\mu/2}} \cdot e^{-\frac{x_1(k+1)}{2k\Omega_1}} \cdot \int_0^{x_1} dt t(x_1 - t) e^{-\frac{t}{2} \frac{(1+k)^2}{k\Omega_1}} \\
&= a_1 \cdot \frac{1}{\Omega_1^{\mu/2}} \cdot e^{-\alpha_1 \frac{x_1}{2k}} \cdot \int_0^{x_1} dt t(x_1 - t) e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}}
\end{aligned} \tag{7.5}$$

Gustina verovatnoće signala na ulazu x_2 je:

$$p_{x_2}(x_2) = a_1 \cdot \frac{1}{\Omega_1^{\mu/2}} \cdot e^{-\alpha_1 \frac{x_2}{2k}} \cdot \int_0^{x_2} dt t(x_2 - t) e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}} \tag{7.6}$$

A gustine verovatnoće signala na ulazima y_1 i y_2 su:

$$p_{y_1}(y_1) = a_1 \cdot \frac{1}{\Omega_1^{\mu/2}} \cdot e^{-\alpha_1 \frac{y_1}{2k}} \cdot \int_0^{y_1} dt t(y_1 - t) e^{-\frac{\beta_2 t}{\Omega_2}} \tag{7.7}$$

i

$$p_{y_2}(y_2) = a_1 \cdot \frac{1}{\Omega_1^{\mu/2}} \cdot e^{-\alpha_1 \frac{y_2}{2k}} \cdot \int_0^{y_2} dt t(y_2 - t) e^{-\frac{\beta_2 t}{\Omega_2}} \quad (7.8)$$

Signal z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednak je signalu x na izlazu iz prvog mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner Ω_1 veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Signal z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednak je signalu y na izlazu iz drugog mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Na ulazima u makrodiverziti sistem pojavljuje se spori Gama feding [101, 102]. Gama feding ima uticaja na ukupne snage signala Ω_1 i Ω_2 na ulazima u mikrodiverziti sisteme. Usred uticaja ovog fedinga snage Ω_1 i Ω_2 postaju promenljive i imaju združenu Gama gustinu verovatnoće.

$$p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right), \quad \Omega_1 \geq 0, \Omega_2 \geq 0 \quad (7.9)$$

Gustina verovatnoće signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je gustini verovatnoće signala x na izlazu iz prvog mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner Ω_1 veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Gustina verovatnoće signala z na izlazu iz selektivnog mikrodiverziti kombinera jednaka je gudstini verovatnoće signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti sistem manja od ukupne snage signala na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti sistem. Na osnovu ovoga je gustina verovatnoće signala z na izlazu iz makrodiverziti sistema jednaka [66]:

$$p_z(z) = \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 p_x(z/\Omega_1) p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 p_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) \quad (7.10)$$

Gustina verovatnoće signala x na izlazu iz prvog mikrodiverziti sistema je:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \int_0^x dt t(x-t) e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}} \\
&= b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \cdot \left(x \int_0^x dt t \cdot e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}} - \int_0^x t^2 \cdot e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}} dt \right) \\
&= b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right)
\end{aligned} \tag{7.11}$$

Gustina verovatnoće signala y na izlazu iz drugog mikrodiverziti sistema je:

$$p_y(y) = b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} e^{-\alpha_2 \frac{y}{\Omega_2}} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \tag{7.12}$$

Zamenom se dobija da je gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema:

$$\begin{aligned}
p_z(z) &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{z}{\Omega_1}} \int_0^z dt t(z-t) e^{-\frac{\beta_1 t}{\Omega_1}} \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1 \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} e^{-\alpha_2 \frac{z}{\Omega_2}} \int_0^z dt t(z-t) e^{-\frac{\beta_2 t}{\Omega_2}} \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \\
&\cdot e^{-\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1 \Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{7.13}$$

Kumulativna verovatnoća od x je:

$$F_x(x) = \int_0^x p_x(t) dt = b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \int_0^x \left(t \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 t}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 t}{\Omega_1} \right) \right) dt \tag{7.14}$$

Kumulativna verovatnoća od y je:

$$F_y(y) = \int_0^y p_y(t) dt = b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \int_0^y \left(t \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 t}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 t}{\Omega_2} \right) \right) dt \tag{7.15}$$

Kumulativna verovatnoća signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je kumulativnoj verovatnoći signala x na izlazu iz prvog mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne

snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz selektivnog makrodiverziti sistema jednaka je kumulativnoj verovatnoći signala y na izlazu iz drugog MRC diverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Na osnovu ovoga je kumulativna verovatnoća signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka [66]:

$$\begin{aligned}
F_z(z) &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 F_x(z/\Omega_1) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 F_y(z/\Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \int_0^z \left(t \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 t}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 t}{\Omega_1} \right) \right) dt \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \int_0^z \left(t \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 t}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 t}{\Omega_2} \right) \right) dt \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{7.16}$$

Karakteristična funkcija od x je:

$$\begin{aligned}
M_x(s) &= \overline{e^{xs}} = \int_0^\infty e^{xs} p_x(x) dx \\
&= \int_0^\infty e^{xs} b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) dx
\end{aligned} \tag{7.17}$$

Karakteristična funkcija od y je:

$$\begin{aligned}
M_y(s) &= \overline{e^{ys}} = \int_0^\infty e^{ys} p_x(x) dx \\
&= \int_0^\infty e^{ys} b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} e^{-\alpha_2 \frac{y}{\Omega_2}} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) dy
\end{aligned} \tag{7.18}$$

Karakteristična funkcija signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je karakterističnoj funkciji signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća

od ukupne snage signala na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Karakteristična funkcija signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je karakterističnoj funkciji signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Na osnovu ovoga je karakteristična funkcija signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka:

$$M(s) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 M_x\left(\frac{s}{\Omega_1}\right) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 M_y\left(\frac{s}{\Omega_2}\right) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \quad (7.19)$$

$$M(s) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} e^{xs} b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) \right) dx \right) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} e^{ys} b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} e^{-\alpha_2 \frac{y}{\Omega_2}} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) \right) dy \right) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \quad (7.20)$$

Momenti signala x su jednaki:

$$m_{nx} = \overline{x^n} = \int_0^{\infty} x^n p_x(x) dx = \int_0^{\infty} x^n b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} e^{-\alpha_1 \frac{x}{\Omega_1}} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) \right) dx \quad (7.21)$$

Momenti signala y su jednaki:

$$\begin{aligned}
m_{ny} &= \overline{y^n} = \int_0^{\infty} y^n p_y(y) dy \\
&= \int_0^{\infty} y^n b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} e^{-\alpha_2 \frac{x}{\Omega_2}} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) dy
\end{aligned} \tag{7.22}$$

Moment signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednak je momentu signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Moment signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednak je momentu signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner.

Na osnovu ovoga su momenti signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaki:

$$\begin{aligned}
m_{nz}(z) &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{nx/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 m_{ny/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} x^n b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) dx \right) \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} y^n b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) dy \right) \\
&\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{7.23}$$

Srednja vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je srednjoj vrednosti signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Srednja vrednost signala z na

izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednak je srednjoj vrednosti signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Na osnovu ovoga je srednja vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka:

$$\begin{aligned}
 m_{1x} &= \bar{x} = \int_0^{\infty} x p_x(x) dx \\
 &= \int_0^{\infty} x b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) dx
 \end{aligned} \tag{7.24}$$

Srednja vrednost od y je:

$$\begin{aligned}
 m_{1y} &= \bar{y} = \int_0^{\infty} y p_y(y) dy \\
 &= \int_0^{\infty} y b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) dy
 \end{aligned} \tag{7.25}$$

Srednja vrednost signala z je:

$$\begin{aligned}
 m_{1z} &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{1x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 m_{2y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
 &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\infty} x b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) dx \\
 &\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\infty} y b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) dy \\
 &\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
 \end{aligned} \tag{7.26}$$

Srednja kvadratna vrednost od x je:

$$\begin{aligned}
 m_{2x} &= \overline{x^2} = \int_0^{\infty} x^2 p_x(x) dx \\
 &= \int_0^{\infty} x^2 \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) dx
 \end{aligned} \tag{7.27}$$

Srednja kvadratna vrednost od y je:

$$\begin{aligned}
 m_{2y} = \overline{y^2} &= \int_0^{\infty} y^2 p_y(y) dy \\
 &= \int_0^{\infty} y^2 \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) dy
 \end{aligned} \tag{7.28}$$

Srednja kvadratna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je srednjoj kvadratnoj vrednosti signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Srednja kvadratna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je srednjoj kvadratnoj vrednosti signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Na osnovu ovoga je srednja kvadratna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka:

$$\begin{aligned}
 m_{2z} = \overline{z^2} &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{2x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 m_{2y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
 &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} x^2 \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \right. \right. \\
 &\cdot \left. \left. \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) dx \right) \\
 &\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} y^2 \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \right. \right. \\
 &\cdot \left. \left. \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) dy \right) \\
 &\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho} \Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
 \end{aligned} \tag{7.29}$$

Srednja kubna vrednost od x je:

$$\begin{aligned}
 m_{3x} &= \overline{x^3} = \int_0^{\infty} x^3 p_x(x) dx \\
 &= \int_0^{\infty} x^3 \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) dx
 \end{aligned} \tag{7.30}$$

Srednja kubna vrednost od y je:

$$\begin{aligned}
 m_{3y} &= \overline{y^3} = \int_0^{\infty} y^3 p_y(y) dy \\
 &= \int_0^{\infty} y^3 \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) dy
 \end{aligned} \tag{7.31}$$

Srednja kubna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je srednjoj kubnoj vrednosti signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Srednja kubna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je srednjoj kubnoj vrednosti signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Na osnovu ovoga je srednja kubna vrednost signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka:

$$\begin{aligned}
 m_{3z} &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 m_{3x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 m_{3y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
 &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} x^3 \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) dx \right) \\
 &\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
 &+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \left(\int_0^{\infty} y^3 \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) dy \right) \\
 &\cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
 \end{aligned} \tag{7.32}$$

Varijansa od x je jednaka:

$$\sigma_x^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (7.33)$$

Varijansa od y je jednaka:

$$\sigma_y^2 = \overline{y^2} - \bar{y}^2 \quad (7.34)$$

Varijansa signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je varijansi signala x na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Varijansa signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka je varijansi signala y na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner.

Na osnovu ovoga je varijansa signala z na izlazu iz selektivnog makrodiverziti kombinera jednaka:

$$\begin{aligned} \sigma_z^2 &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \sigma_{x/\Omega_1}^2 p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 \sigma_{y/\Omega_2}^2 p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\ &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \cdot (\overline{x^2} - \bar{x}^2) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \\ &\quad \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 (\overline{y^2} - \bar{y}^2) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \\ &\quad \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) \end{aligned} \quad (7.35)$$

Verovatnoća otkaza prvog mikrodiverziti kombinera je:

$$P_{0x} = \int_0^{x_0} p_x(x) dx = F_x(x_0) \quad (7.36)$$

Verovatnoća otkaza drugog mikrodiverziti kombinera je:

$$P_{0y} = \int_0^{y_0} p_y(y) dy = F_y(y_0) \quad (7.37)$$

Verovatnoća otkaza makrodiverziti kombinera jednaka je verovatnoći otkaza prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Verovatnoća otkaza makrodiverziti kombinera jednaka je verovatnoći otkaza drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Verovatnoća otkaza makrodiverziti sistema je jednaka:

$$\begin{aligned}
P_{oz} &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 P_{ox/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 P_{oy/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \cdot F_x(x_0) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \\
&\cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \cdot F_y(y_0) \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \\
&\cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{7.38}$$

Kapacitet kanala prvog mikrodiverziti kombinera je:

$$\begin{aligned}
C &= \int_0^{\infty} (\ln(1+x^2))p_x(x)dx \\
&= \int_0^{\infty} (\ln(1+x^2)) \cdot \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) \right) \right) dx
\end{aligned} \tag{7.39}$$

Kapacitet kanala drugog mikrodiverziti kombinera je:

$$\begin{aligned}
C &= \int_0^{\infty} (\ln(1+y^2))p_y(y)dy \\
&= \int_0^{\infty} (\ln(1+y^2)) \cdot \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) \right) \right) dx
\end{aligned} \tag{7.40}$$

Kapacitet makrodiverziti kombinera jednak je kapacitetu prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombinera veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombinera. Kapacitet makrodiverziti kombinera jednak je kapacitetu drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombinera manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombinera.

Kapacitet makrodiverziti sistema je jednak:

$$\begin{aligned}
C_z &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 C_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 C_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^\infty (\ln(1+x^2)) \\
&\quad \cdot \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(x \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) dx \\
&\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
&+ \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 \int_0^\infty (\ln(1+y^2)) \\
&\quad \cdot \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(y \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) dx \\
&\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{7.41}$$

Iznos fedinga prvog mikrodiverziti kombinera je:

$$AF_x = \frac{\overline{x^2} - \bar{x}^2}{\bar{x}^2} \tag{7.42}$$

Iznos fedinga drugog mikrodiverziti kombinera je:

$$AF_y = \frac{\overline{y^2} - \bar{y}^2}{\bar{y}^2} \tag{7.43}$$

Iznos fedinga makrodiverziti kombinera jednak je iznosu fedinga prvog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC

mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner. Iznos fedinga makrodiverziti kombinera jednak je iznosu fedinga drugog MRC mikrodiverziti kombinera ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner.

Iznos fedinga makrodiverziti sistema je jednak:

$$\begin{aligned}
AF_Z &= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 AF_{x/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 AF_{y/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^\infty d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \cdot \frac{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}{\bar{x}^2} \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \\
&\cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right) + \int_0^\infty d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^\infty d\Omega_2 \cdot \frac{\bar{y}^2 - \bar{y}^2}{\bar{y}^2} \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \\
&\cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}\right)
\end{aligned} \tag{7.44}$$

Verovatnoća greške za koherentne sisteme prvog mikrodiverziti kombinera je:

$$\begin{aligned}
P_{e_x} &= \int_0^\infty a_1(\operatorname{erfc}(b_1x^2)) p_x(x) dx \\
&= \int_0^\infty dx a_1(\operatorname{erfc}(b_1x^2)) \cdot \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1}\right) \right) \right)
\end{aligned} \tag{7.45}$$

Verovatnoća greške za koherentne sisteme drugog mikrodiverziti kombinera je:

$$\begin{aligned}
P_{e_y} &= \int_0^\infty a_1(\operatorname{erfc}(b_1y^2)) p_y(y) dy \\
&= \int_0^\infty dy a_1(\operatorname{erfc}(b_1y^2)) \cdot \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma\left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma\left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2}\right) \right) \right)
\end{aligned} \tag{7.46}$$

Verovatnoća greške za makrodiverziti sistem sa koherentnom demodulacijom signala jednaka je verovatnoći greške prvog MRC mikrodiverziti kombinera sa koherentnom demodulacijom signala ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner veća od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC

mikrodiverziti kombiner. Verovatnoća greške za makrodiverziti sistem sa koherentnom demodulacijom signala jednaka je verovatnoći greške drugog MRC mikrodiverziti kombinera sa koherentnom demodulacijom signala ako je ukupna snaga signala Ω_1 na ulazima u prvi MRC mikrodiverziti kombiner manja od ukupne snage signala Ω_2 na ulazima u drugi MRC mikrodiverziti kombiner.

Na osnovu ovoga je verovatnoća greške makrodiverziti sistema sa koherentnom demodulacijom signala jednaka:

$$\begin{aligned}
P_e &= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 P_{ex/\Omega_1} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) + \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 P_{ey/\Omega_2} p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&= \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\Omega_1} d\Omega_2 \int_0^{\infty} dx a_1(\operatorname{erfc}(b_1x^2)) \\
&\quad \cdot \left(b_1 \frac{1}{\Omega_1^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) - \left(\frac{\Omega_1}{\beta_1} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_1 x}{\Omega_1} \right) \right) \right) \\
&\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right) \\
&+ \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_{\Omega_1}^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\infty} dy a_1(\operatorname{erfc}(b_1y^2)) \\
&\quad \cdot \left(b_2 \frac{1}{\Omega_2^\mu} \cdot \left(\left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^2 \gamma \left(2, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) - \left(\frac{\Omega_2}{\beta_2} \right)^3 \gamma \left(3, \frac{\beta_2 y}{\Omega_2} \right) \right) \right) \\
&\quad \cdot \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\Omega_0^{c+1}} \cdot \rho^{-\frac{c-1}{2}} \cdot (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \cdot e^{-\frac{\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \cdot I_{c-1} \left(\frac{2\sqrt{\rho}\Omega_1\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)} \right)
\end{aligned} \tag{7.47}$$

7.1. Srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema

Pretpostavimo da su signali na ulazima u prvi mikrodiverziti MRC prijemnik x_{11} i x_{12} , a na ulazima u drugi mikrodiverziti MRC prijemnik su x_{21} i x_{22} . Signal na izlazu iz prvog mikrodiverziti MRC prijemnika bio bi x_1 , a na izlazu iz drugog mikrodiverziti MRC prijemnika bio bi x_2 . Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika je z .

Kvadrati signala na izlazima iz prvog i drugog mikrodiverziti kombinera su:

$$\begin{aligned} x_1^2 &= x_{11}^2 + x_{12}^2 \\ x_2^2 &= x_{21}^2 + x_{22}^2 \end{aligned} \quad (7.48)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera jednak je:

$$\begin{aligned} N_{x_1} &= \frac{2\sqrt{2}\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \left(\frac{1}{2\sigma_1^2}\right)^{2\mu} \left(\frac{1}{2\sigma_2^2}\right)^{2\mu} \int_0^{x^2} dy_2 \sqrt{\sigma_1^2(x^2 - y_2) + \sigma_2^2 y_2} \\ &\cdot (x^2 - y_2)^{2\mu-1} y_2^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2} \cdot (x^2 - y_2)^2 - \frac{1}{2\sigma_2^2} y_2^2} \end{aligned} \quad (7.49)$$

gde je:

$$\begin{aligned} 2\sigma_1^2 &= \Omega_1, & 2\sigma_2^2 &= \Omega_2 \\ \frac{\Omega_1}{\Omega_2} &= q, & \Omega_1 &= q\Omega_2 \end{aligned} \quad (7.50)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz prvog MRC mikrodiverziti kombinera posle zamene jednak je:

$$\begin{aligned} N_{x_1} &= \frac{2\sqrt{2}\pi f_m}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \frac{1}{q^{2\mu}\Omega_2^{4\mu-\frac{1}{2}}} \int_0^{x_1^2} dy_2 \sqrt{q^2(x_1^2 - y_2) + y_2} \\ &\cdot (x_1^2 - y_2)^{2\mu-1} y_2^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{\Omega_2} \left(\frac{1}{q^2}(x_1^2 - y_2)^2 + y_2^2\right)} \end{aligned} \quad (7.51)$$

Srednji broj osnih preseka na izlazu iz drugog MRC mikrodiverziti kombinera jednak je:

$$\begin{aligned} N_{x_2} &= \sqrt{2}\pi f_m \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \frac{1}{q^{2\mu}\Omega_4^{4\mu-\frac{1}{2}}} \int_0^{x_2^2} dy_4 \sqrt{q^2(x_2^2 - y_4) + y_4} \\ &\cdot (x_2^2 - y_4)^{2\mu-1} y_4^{2\mu-1} e^{-\frac{1}{\Omega_4} \left(\frac{1}{q^2}(x_2^2 - y_4)^2 + y_4^2\right)} \end{aligned} \quad (7.52)$$

Slučajne promenljive Ω_2 i Ω_4 imaju Gamma raspodelu:

$$p_{\Omega_2\Omega_4}(\Omega_2\Omega_4) = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \Omega_2^{i_1+c-1} \Omega_4^{i_1+c-1} e^{-\frac{\Omega_2+\Omega_4}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \quad (7.53)$$

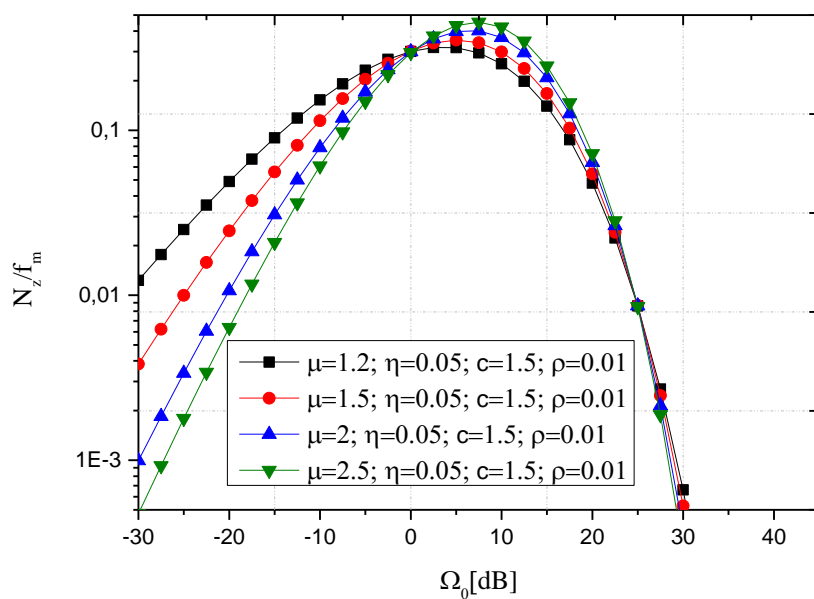
Srednji broj osnih preseka na izlazu iz SC makrodiverziti sistema je:

$$N_x = \int_0^{\infty} d\Omega_2 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_4 N_{x_1/\Omega_2} p_{\Omega_2\Omega_4}(\Omega_2\Omega_4) + \int_0^{\infty} d\Omega_4 \int_0^{\Omega_2} d\Omega_2 N_{x_2/\Omega_4} p_{\Omega_2\Omega_4}(\Omega_2\Omega_4) \quad (7.54)$$

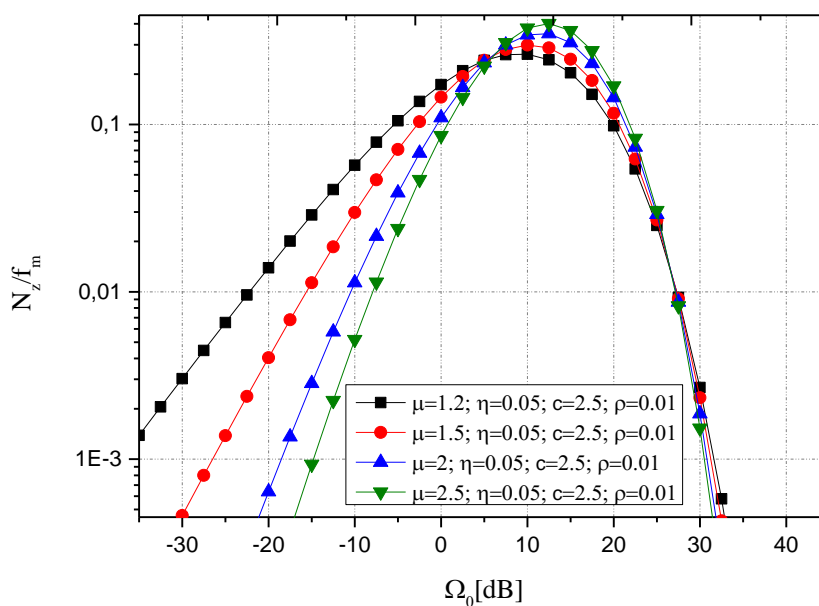
$$= J_1 + J_2$$

Integral J_1 je jednak integralu J_2 , odnosno:

$$\begin{aligned} J_1 = J_2 &= \sqrt{2}\pi f_m \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \frac{1}{q^{2\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} \\ &\cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \\ &\cdot \int_0^{x_2^2} dy_2 \sqrt{q(x_2^2 - y_2) + y_2} (x_2^2 - y_2)^{2\mu-1} y_2^{2\mu-1} \cdot \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{i_1+c-1-4\mu+\frac{1}{2}} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{\Omega_4}\left(\frac{1}{q}(x_2^2-y_2)^2+y_2^2\right)-\frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} (\Omega_0(1-\rho^2))^{i_1+c} \gamma\left(i_1+c, \frac{\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right) \\ &= \sqrt{2}\pi f_m \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \frac{1}{q^{2\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \\ &\cdot (\Omega_0(1-\rho^2))^{i_1+c} \frac{1}{i_1+c} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{i_1+c}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(i_1+c+1)(j_1)} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_1}} \\ &\cdot \int_0^{x_2^2} dy_2 \sqrt{q(x_2^2 - y_2) + y_2} (x_2^2 - y_2)^{2\mu-1} y_2^{2\mu-1} \int_0^{\infty} d\Omega_2 \Omega_2^{2i_1+2c-1-4\mu+\frac{1}{2}+j_1} \\ &\cdot e^{-\frac{1}{\Omega_4}\left(\frac{1}{q}(x_2^2-y_2)^2+y_2^2\right)-\frac{2\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho^2)}} \\ &= \sqrt{2}\pi f_m \left(\frac{2}{\Gamma(\mu)}\right)^2 \frac{1}{q^{2\mu}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho^2)\rho^{c-1}\Omega_0^{c+1}} \cdot \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\Omega_0(1-\rho^2)}\right)^{2i_1+c-1} \frac{1}{i_1!\Gamma(i_1+c)} \\ &\cdot \frac{1}{i_1+c} \sum_{j_1=0}^{\infty} \frac{1}{(i_1+c+1)(j_1)} \frac{1}{(\Omega_0(1-\rho^2))^{j_1}} \\ &\cdot \int_0^{x^2} dy_2 \sqrt{q(x^2 - y_2) + y_2} (x^2 - y_2)^{2\mu-1} y_2^{2\mu-1} \\ &\cdot \left(\frac{1}{2q}(x^2 - y_2)^2 + y_2^2\right) \Omega_0(1-\rho^2) \Big)^{i_1+c-2\mu+\frac{1}{4}+\frac{j_1}{2}} \\ &\cdot K_{2i_1+2c-4\mu+\frac{1}{2}+j_1} \end{aligned} \quad (7.55)$$



Slika 7.2: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz posmatranog makrodiverziti sistema za posmatrane parametre sistema η i μ za $c=1.5$.



Slika 7.3: Srednji broj osnih preseka na izlazu iz posmatranog makrodiverziti sistema za posmatrane parametre sistema η i μ za $c=2.5$.

Na slikama 7.2 i 7.3 prikazan je srednji broj osnih preseka na izlazu posmatranog makrodiverziti kombinera za date vrednosti parametra sistema.

8. ZAKLJUČAK

U skladu sa zahtevima potrošača u poslednjih nekoliko godina došlo je do ekspanzije bežičnih komunikacionih servisa. Kvalitet prenetog signala i pouzdanost prenosa telekomunikacionih servisa veoma zavise od faktora koji degradiraju performanse sistema kao što su feding, interferencija i efekat senke. Feding nastaje kao posledica prostiranja signala po više puteva i tada primljeni signal predstavlja sumu različito oslabljenih, zakasnelih i fazno pomerenih kopija emitovanog signala. Ova pojava je najizraženija u gradskim sredinama iz razloga što između antena mobilnih jedinica i bazne stanice ne postoji direktna linija vidljivosti zbog visokih objekata. Efekta senke se ogleda u smanjenju srednje snage signala koji se prenosi i nastaje usled specifičnosti propagacionog okruženja. Performanse sistema degradirane na gore pomenuti način mogu biti poboljšane na razne načine: povećanjem emitovane snage, veličine antene i njene efektivne visine, međutim ta rešenja nisu praktična. Upotreba diverziteti tehnika prijema predstavlja efikasan i pritom isplativ alat za eliminaciju uticaja fedinga na performanse bežičnog telekomunikacionog sistema.

U ovoj disertaciji analiziraće se metode za poboljšanje performansi bežičnog telekomunikacionog sistema pri prenosu signala u bežičnom medijumu atmosfere u prisustvu η - μ fedinga. Modelovanje uticaja fedinga je izvršeno pomoću η - μ raspodele, jer ovaj generalni model raspodele unutar sebe, kao specijalne slučajeve uključuje veliki broj modela raspodela slučajnih procesa, pa dato razmatranje ima veliki nivo generalnosti i primenjivosti.

Anvelopa signala u kanalu predstavlja slučajni proces. Postoje različiti matematički modeli za modelovanje tog slučajnog procesa. U drugom delu disertacije predstavljeni su najčešće korišćeni modeli, naznačeno je u kojim slučajevima se koriste pomenuti modeli i istaknute su prednosti i nedostaci pojedinih modela za određene propagacione scenarije.

Značajan doprinos disertacije predstavljaju izrazi izvedeni u trećem i četvrtom delu disertacije. Razmatrane su razne transformacije dve i tri η - μ slučajne promenljive. Na osnovu dobijenih izraza izvršena je analiza performansi telekomunikacionog sistema u η - μ feding okruženju. Najpre su analizirane performanse prenosa signala u kanalu sa η - μ fedingom bez primene diverziteti tehnike. Procene performansi signala izvršene su na osnovu standardnih mera performansi signala kao što su verovatnoća otkaza (OP), srednja verovatnoća greške po bitu (ABER) za posmatrani modulacioni format prenosa i kapacitet signala. Grafički su predstavljeni dobijeni rezultati. Na osnovu dobijenih grafika za srednju verovatnoću greške po bitu za različite modulacione formate u odnosu na vrednosti parametara sistema vidljivo je da

se bolje performanse sistema dobijaju u oblasti većih vrednosti parametra μ i manjim vrednostima parametra η , zato što je u takvim slučajevima signal izložen manjem uticaju fedinga.

Odnos anvelope korisnog signala i interferencije kada je interferencija dominantna smetnja u odnosu na Gausov šum je važan parametar bežičnog telekomunikacionog sistema. Iz tog razloga je analizirana slučajna promenljiva koja je jednaka količniku dve η - μ slučajne promenljive i određena je gustina verovatnoće ovako dobijene slučajne promenljive. Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji mogu se primeniti za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i kapaciteta kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi preko η - μ feding kanala u prisustvu međukanalne interferencije korumpirane η - μ fedingom.

Na osnovu rezultata transformacija slučajnih promenljivih iz trećeg i četvrtog poglavlja grafički su predstavljene gustine verovatnoće maksimuma dve i maksimuma tri η - μ slučajne promenljive. Ovi slučajevi odgovaraju prijemu signala uz upotrebu diverziti tehnike selektivnog kombinovanja (SC – Selection Combining) signala sa dve i tri grane. U tom slučaju SC prijemnik odabira i na izlaz vodi onu prijemnu granu koja ima najveću vrednost signala. Pored maksimuma razmatran je zbir dve i zbir tri η - μ slučajne promenljive. Za ove slučajne promenljive izvedeni su izrazi za gustinu verovatnoće. Navedeni slučajevi odgovaraju prijemu signala uz upotrebu EGC diverziti tehnike kombinovanja (EGC – Equal Gain Combining) signala sa dve, odnosno tri grane, jer EGC prijemnik sabira prijemni signal sa svih grana i vodi ga na izlaz. Na osnovu izraza za gustinu verovatnoće maksimuma dve, maksimuma tri i zbira dve i zbira tri η - μ slučajne promenljive izvršena je analiza ABER pri SC i EGC kombinovanju na prijemu za različite modulacione formate.

Takođe, razmatrane su i slučajne promenljive koje su jednake zbiru kvadrata dve η - μ slučajne promenljive i zbiru kvadrata tri η - μ slučajne promenljive i za njih je određena gustina verovatnoće. Dobijeni rezultati se mogu upotrebiti u analizi performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverziti tehniku sa MRC kombinerom (Maximal Ratio Combining) za smanjenje uticaja fedinga na performanse sistema. Predstavljene su i slučajne promenljive koje su jednake proizvodu dve i proizvodu tri η - μ slučajne promenljive. Dobijena gustina verovatnoće proizvoda tri η - μ slučajne promenljive može se upotrebiti u analizi performansi prijemnika na koji uticaj imaju tri brza fedinga pri čemu je ekvivalentna amplituda jednaka proizvodu tri η - μ slučajne promenljive. Svaka od ove tri slučajne promenljive modelira po jedana η - μ brzi feding.

U petom delu disertacije izvršena je analiza statističkih karakteristika drugog reda η - μ slučajnog procesa i slučajnih procesa koji predstavljaju različite varijante η - μ slučajnog

procesa. U statističke karakteristike drugog reda spadaju srednji broj osnih preseka, srednje vreme trajanja otkaza i združena gustina verovatnoće anvelope signala i prvog izvoda anvelope signala. Srednji broj osnih preseka signala jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda slučajnog procesa po vremenu kojim se opisuje anvelopa signala. Poznavanje srednjeg broja osnih preseka može da se upotrebi za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza sistema. Srednje vreme trajanja otkaza je bitna karakteristika drugog reda i određuje se kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka. Združenu gustinu verovatnoće anvelope signala i prvog izvoda signala određujemo transformacijom slučajnih promenljivih. U ovoj glavi razmatrana je združena gustina verovatnoće η - μ slučajne promenljive i prvog izvoda ove promenljive. Određen je i srednji broj osnih preseka η - μ slučajne promenljive. Transformacijom η - μ slučajne promenljive formirane su nove slučajne promenljive i za iste je određen srednji broj osnih preseka. Predstavljeni su izrazi za srednji broj osnih preseka slučajnih promenljivih višeg reda. Dobijeni izrazi mogu poslužiti za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza telekomunikacionih sistema u prisustvu η - μ fedinga i predstavljaju odličnu osnovu za dalju analizu performansi bežičnog prenosa u η - μ feding okruženju. Poznavanje ovih veličina pruža dodatnu informaciju koja kada se kombinuje sa drugim statističkim podacima omogućava projektantima da naprave racionalna rešenja sistema.

U šestom delu disertacije analizirani su bežični telekomunikacioni sistemi čiji prijemnici koriste diverziti tehniku kako bi se smanjio uticaj η - μ fedinga na performanse sistema. Korišćena diverziti tehnika je prostorna. Korisni signali se primaju na antenama, anvelope ovih signala se kombinuju i odlučivanje se vrši na osnovu signala na izlazu iz kombinera. Analiza performansi sistema određena je za slučaj MRC i SC kombinovanja. MRC kombiner daje najbolje rezultate ali je komplikovan za realizaciju iz razloga što je potrebno signale na ulazima dovesti u fazu i izvršiti procenu parametara sistema. Kvadrat signala na izlazu iz MRC kombinera jednak je zbiru kvadrata signala na njegovim ulazima. Kod SC kombinera signal na izlazu jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji je najveći. Glavna prednost ovakvih prijemnika je smanjena kompleksnost u odnosu na druge poznate diverziti tehnike. Izračunate su karakteristike signala na izlazu iz MRC i SC kombinera na čijim se ulazima pojavljuje η - μ feding. Posmatrani su SC diverziti kombineri koji imaju dva i MRC kombineri koji imaju više ulaza. Da bi se analizirale karakteristike ovih sistema potrebno je odrediti gustinu verovatnoće signala, kumulativnu verovatnoću, verovatnoću otkaza bežičnog sistema, kapacitet kanala, srednju verovatnoća greške po bitu i n -ti moment signala na izlazu iz kombinera. Kada znamo n -ti moment možemo izračunati srednju vrednost signala, srednju kvadratnu vrednost signala i varijansu signala na izlazu iz kombinera.

Takođe, razmatrana je i združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz kombinera i njegovog prvog izvoda i srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz kombinera na osnovu koga se može odrediti srednje vreme trajanja otkaza sistema.

Na osnovu predstavljenih grafičkih rezultata za slučaj upotrebe SC diverziti tehnike kombinovanja na prijemu i poređenjem sa slučajevima prijema bez upotrebe diverziti tehnika pokazano je poboljšanje standardnih mera performansi bežičnih telekomunikacionih sistema. Sa grafikona je vidljivo da se pri istom dometu veze dobijaju bolje performanse sistema izražene kroz manju verovatnoću otkaza i manju srednju verovatnoću greške po bitu pri prenosu signala različitim modulacionim formatima. Srednja verovatnoća greške po bitu analizirana je za neke koherentne i nekoherentne modulacione formate. Na osnovu prezentovanih rezultata zaključujemo da se primenom diverziti tehnika pri bežičnom prenosu ostvaruje očigledno smanjenje uticaja η - μ fedinga na performanse sistema.

U ovom delu je razmatran i bežični telekomunikacioni prijemnik u prisustvu korisnog signala, interferencije i η - μ brzog fedinga. Određene su statističke karakteristike odnosa anvelope korisnog signala i interferencije.

U poslednjoj glavi razmatran je makrodiverziti sistem koji se koristi da se smanji uticaj nezavisnog η - μ fedinga i sporog korelisanog Gama fedinga na performanse sistema. Makrodiverziti sistem sadrži dva mikrodiverziti kombinera. Mikrodiverziti kombineri su MRC, a makrodiverziti kombiner je selektivan - SC. Na ulazima u mikrodiverziti kombiner prisutan je brzi η - μ feding, a na ulazima makrodiverziti sistema prisutan je nezavisan Gama feding. Mikrodiverziti kombineri se koriste da se smanji uticaj η - μ fedinga na performanse sistema, a makrodiverziti sistem se koristi da se smanji uticaj sporog Gama fedinga na performanse sistema. Za ovako modelovan makrodiverziti sistem određena je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera. Na osnovu n -tog momenta određena je srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i varijansa signala na izlazu iz kombinera. Signal na izlazu iz makrodiverziti kombinera jednak je signalu na izlazu iz prvog mikrodiverziti kombinera ako je snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner veća od snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Signal na izlazu iz makrodiverziti kombinera jednak je signalu sa izlaza drugog mikrodiverziti kombinera ako je korisni signal na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner manji od korisnog signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Analizirani su i verovatnoća otkaza, verovatnoća greške i kapacitet kanala makrodiverziti sistema. Određen je i srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti kombinera.

9. LITERATURA

- [1] D. B. da Costa and M. D. Yacoub, The η - μ joint phase-envelope distribution. *IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 195-198, 2007.
- [2] M. D. Yacoub, The κ - μ distribution and the η - μ distribution. *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, vol. 49, pp. 68–81, Feb. 2007.
- [3] J. C. Silveira Santos Filho and M. D. Yacoub, Highly accurate η - μ approximation to the sum of M independent nonidentical Hoyt variates. *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 436–438, 2005.
- [4] N. Y. Ermolova, O. Tirkkonen, The η - μ Fading Distribution with Integer Values of μ . *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(6), pp. 1976-1982, June 2011.
- [5] M. K. Simon, M. S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*. USA: John Wiley & Sons. 2000.
- [6] W. C. Y. Lee, *Mobile communications engineering*. Mc-Graw-Hill, NewYork, USA, 2003.
- [7] G. L. Stuber, *Mobile communication*. Kluwer, 2nd edn., 2003.
- [8] H. Stefanovic, D. N. Milic, D. C. Stefanovic, S. Milosavljevic, Some integral characteristics of MRC receiver in Nakagami-m fading environment. *IJRIS* 5(3), pp. 183-188, 2013.
- [9] D. Krstić, M. Głabowski, D. Radenković and I. Temelkovski, Level crossing rate of MRC receiver over η - μ multipath fading. *9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP)*, Manchester, pp. 111-116, 2014.
- [10] B. Milošević, P. Spalević, M. Petrović, D. Vučković, S. Milosavljević, Statistics of macro SC Diversity system with two Micro EGC diversity Systems and Fast Fading. *Elektronika ir elektrotehnika (Electronics and Electrical Engineering)*, No. 8(96), pp. 55-58, 2009.
- [11] A. Annamalai, C. Tellambura and V. Bhargava, Equal-Gain Diversity Receiver Performance in Wireless Channels. *IEEE Transaction on Communications*, vol. 48, no. 10, pp. 1732-1745, 2000.
- [12] I. Petrović, S. Panić, M. Stefanović, J. Anastasov, A. Savić, S. Milosavljevic, Outage probability of SSC receivers over correlated Weibull fading channel with multiple

cochannel interferers. *Multi-konferencija vo organizacija na ETAI*, Ohrid, Macedonia, 16-20. septembar 2011.

- [13] M. Stefanovic et al., Performance analysis of system with selection combining over correlated Weibull fading channels in the presence of cochannel interference. *International Journal of Electronics and Communications (AEUE)*, vol.62, issue 9, pp. 695-700, 2008.
- [14] S. Milosavljević, J. Anastasov, M. Stefanović and S. Panić, Average BER of SSC receiver over correlated Rayleigh fading channels in the presence of interference. *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*, No 2/2012, pp. 262-265, Februar 2012.
- [15] M. Č. Stefanović, S. R. Panić, N. Stamenković, P. Spalević, D. Đošić, Z. Perić, Performance analysis of SSC diversity reception over η - μ fading channel in the presence of CCI. *International Journal of Electronics Letters*, Volume 4, Issue 3, pp. 302-312, 2016.
- [16] S. Mukherjee and D. Avidor, Effect of Microdiversity and Correlated Macrodiversity on Outages in a Cellular System. *IEEE Transactions on Wireless Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 50-59, 2003.
- [17] S. Panic et al. Second-order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed k - μ fading channels. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Article ID 151, pp. 1-7, 2011.
- [18] D. Stefanovic, S. Panic and P. Spalevic, Second Order Statistics of SC Macrodiversity System Operating over Gamma Shadowed Nakagami-m fading channels. *International Journal of Electronics and Communications (AEUE)*, vol. 65, issue 5, pp. 413-418, 2011.
- [19] P. Papoulis, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, 4th edition, McGraw-Hill Europe. 2002.
- [20] J. G. Proakis, *Digital Communications*. McGraw-Hill, 2001.
- [21] M. S. Alouini and A. Goldsmith, Capacity of Rayleigh fading channels under different adaptive transmission and diversity-combining techniques. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 4, pp. 1165-1181, 1999.
- [22] M. S. Alouini and M. Simon, An MGF-based performance analysis of generalized selection combining over Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 3, pp. 401-415, 2000.

-
- [23] V. Bhaskar, Capacity evaluation for equal gain diversity schemes over Rayleigh fading channels. *International Journal of Electronics and Communications (AEUE)*, vol. 63, issue 4, pp. 235-240, 2009.
- [24] S. O. Rice, Statistical properties of a sine wave plus random noise. *Bell System Technical Journal*, vol.27, no. 1 pp. 109-157, 1948
- [25] M. Stefanović, N. Sekulović, S. Milosavljević, Z. Popović, Analiza makrodiverziti sistema sa dve grane u prisustvu Rajsovog fedinga i gama senke. *Konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN*, Vrnjačka Banja, 15-18. jun 2009.
- [26] N. Sekulovic and M. Stefanovic, Performance Analysis of System with Micro- and Macrodiversity Reception in Correlated Gamma Shadowed Rician Fading Channels. *Wireless Personal Communications*, vol. 65 no. 1, pp. 143-156. 2012.
- [27] A. Abdi, W. C. Lau, M. S. Alouini and M. Kaveh, A new simple model for land mobile satellite channels: first-and second-order statistics. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, no. 2, pp. 519-528, 2003.
- [28] D. B. Da Costa, J. C. Filho, M. D. Yacoub and G. Fraidenraich, Second-Order statistics of η - μ Fading Channels: Theory and Applications. *IEEE Transaction and Wireless Communicatins*, vol. 7, no. 3, pp. 819-824, 2008.
- [29] G. K. Karagiannidis, Performance analysis of SIR-based dual selection diversity over correlated Nakagami-m fading channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 52, no. 5, pp. 1207-1216, 2003.
- [30] B. Nikolic et al., Selection combining system over correlated Generalized-K (K_G) fading channels in the presence of co-channel interference. *ETRI Journal*, vol.33, no.3, pp. 320-325, 2011.
- [31] M. Nakagami, The m -distribution - A general formula of intensity distribution of rapid fading. *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, Pergamon Press, pp. 3-36, 1964.
- [32] N. Tanasković, S. Milosavljević, V. Doljak i F. Destović, Analiza performansi diverziti sistema sa dve grane u prisustvu Nakagami-m fedinga. *VII međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh®-Jahorina*, Volume 7, pp. 140-143, 2008.
- [33] U. Charash, Reception through Nakagami fading multipath channels with random delays. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 27, issue 4, pp. 657-670, 1979.
- [34] J. Filho and M. D. Yacoub, Simple Precise Approximations to Weibull Sums. *IEEE Communication Letters*, vol. 10, no. 8, pp. 614-616, 2006.
-

-
- [35] N. C. Sagias and G. K. Karagiannidis, Gaussian class multivariate Weibull distributions: Theory and applications in fading channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, issue 10, pp. 3608-3619, 2005.
- [36] N. C. Sagias, et al., Channel Capacity and Second Order Statistics in Weibull Fading. *IEEE Communications Letters*, vol. 8, no. 6, pp. 377-379, 2004.
- [37] J. Zhang and V. Aalo, Effect of macrodiversity on average-error probabilities in a Rician fading channel with correlated lognormal shadowing. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, issue 1, pp. 14-18, 2001.
- [38] A. Adinoyi, H. Yanikomeroglu, S. Loyka, Hybrid macro and generalized selection combining microdiversity in lognormal shadowed Rayleigh fading channels. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, vol. 1, pp. 244 - 248, 2004.
- [39] A. Abdi and M. Kaveh, On the utility of Gamma PDF in modeling shadow fading (slow fading). *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 2308-2312, 1998.
- [40] G. Marsaglia, W. W. Tsang, A simple method for generating Gamma Variables. *ACM Transactions on Mathematical Software*, vol. 26, no. 3, pp. 363-372, (2000).
- [41] S. R. Panic, *Mitigating the influence of α - μ multipath fading on wireless telecommunication system performances*. PhD thesis, University of Nis, 2010.
- [42] M. D. Yacoub, The α - μ distribution: a general fading distribution. *Proceedings of the 13th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 629-633, 2002.
- [43] M. D. Yacoub, The α - μ distribution: A physical fading model for the Stacy distribution. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, issue 1, pp. 27-34, 2007.
- [44] M. D. Yacoub, The k - μ distribution: A General Fading Distribution. *IEEE Atlantic City Fall Vehicular Technology Conference 2001*, Oct. 2001.
- [45] S. L. Cotton and W. G. Scanlon, Higher-order statistics for kappa-mu distribution. *Electronic Letters*, vol. 43, no. 22, pp. 1215-1217, 2007.
- [46] S. Cotton, W. Scanlon, J. Guy, The k - 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.
- [47] M. D. Yacoub, The symmetrical η - μ distribution: A general fading distribution. *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, no. 4, pp. 504-511, 2005.
-

-
- [48] N. Ermolova, O. Tirkkonen, Multivariate η - μ Fading Distribution with Constant Correlation Model. *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 4, pp. 454-457, 2012.
- [49] D. Morales-Jimenez, J. Paris, Outage probability analysis for η - μ fading channels. *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 521-523, June 2010.
- [50] D. Krstic, R. Gerov, S. Milosavljevic, G. Petkovic, Statistics of η - μ Random Variable. *Recent advances on applied mathematics, Proceedings of the 20th International Conference on Applied Mathematics (AMATH '15)* Budapest, Hungary December 12-14, 2015.
- [51] K. P. Peppas, G. Efthymoglou, V. A. Aalo, M. Alwakeel and S. Alwakeel, Energy detection of unknown signals in Gamma-shadowed Rician fading environments with diversity reception. *IET Communications*, vol. 9, no. 2, pp. 196-210, 2015.
- [52] M. Hadzialic, S. Colo and A. Sarajlic, An Analytical Approach to Probability of Outage Evaluation in Gamma Shadowed Nakagami-m and Rice Fading Channel. *The 2007 International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST 2007)*, Cardiff, pp. 217-222, 2007.
- [53] H. Al-Hmood, H. Al-Raweshidy, Unified Modeling of Composite κ - μ / Gamma, η - μ / Gamma, and α - μ / Gamma Fading Channels Using a Mixture Gamma Distribution With Applications to Energy Detection. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Volume 16, pp. 104-108, 2016.
- [54] P. C. Sofotasios and S. Freear, The $\kappa - \mu$ / gamma Composite Fading Model. *IEEE ICWITS '10*, Honolulu, HI, USA, Aug. 2010.
- [55] R. A. Amaral de Souza, A. M. Oliveira Ribeiro and D. A. Guimarães, On the Efficient Generation of α - κ - μ and α - η - μ White Samples with Applications. *International Journal of Antennas and Propagation*, Article ID 873890, 13 pages, 2015.
- [56] G. Fraidenraich, M. Yacoub, The alpha-eta-mu and alpha-kappa-mu Fading Distributions. *IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, Brasil, 2006.
- [57] P. C. Sofotasios and S. Freear, On the $\eta - \mu$ / gamma and the $\lambda - \mu$ / gamma multipath/shadowing distributions. in *Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)*, Melbourne, Australia, pp. 1-6, Nov. 2011.
- [58] J. Zhang, M. Matthaiou, Z. Tan and H. Wang, Performance analysis of digital communication systems over composite $\eta - \mu$ / gamma fading channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 7, pp. 3114-3124, Sep. 2012.

-
- [59] E. Salahat and A. Hakam, Performance analysis of α - η - μ and α - κ - μ generalized mobile fading channels. *European Wireless - 20th European Wireless Conference*, Barcelona, Spain, 14-16 May, 2014.
- [60] Anastasios K. Papazafeiropoulos, Stavros A. Kotsopoulos, Statistical Properties for the Envelope and Phase of the $\alpha - \eta - \mu$ Generalized Fading Channels. *Wireless Personal Communications*, October 2012, Volume 66, Issue 4, pp 651–666
- [61] K. P. Peppas, F. Lazarakis, T. Zervos, A. Alexandridis, and K. Dangakis, Sum of non-identical squared η - μ variates and applications in the performance analysis of DS-CDMA systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 9, no. 9, pp. 2718–2723, Sep. 2010.
- [62] V. Asghari, D. da Costa, and S. Aissa, Symbol error probability of rectangular QAM in MRC systems with correlated η - μ fading channels. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 3, pp. 1497–1503, Mar. 2010.
- [63] N. Youssef, W. El Bahri, M. Patzold and S. El Asmi, On the crossing statistics of phase processes and random FM noise in Nakagami-q mobile fading channels. *IEEE Transaction on Wireless Communicatins*, vol. 4, no. 1 pp. 24-29, 2005.
- [64] P. Spalevic, M. Stefanovic, S. Panic, B. Milosevic, Z. Trajcevski, The co-channel interference effect on average error rates in Nakagami-q (Hoyt) fading channels. *Revue Roumaine Des Sciences Techniques. Ser. Electrotechnique et Energetique*, 56 (3), pp. 305-313, 2011.
- [65] S. Okui, Effects of SIR selection diversity with two correlated branches in the m-fading channel. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, issue 10, pp. 1631-1633, 2000.
- [66] S. Panic, M. Stefanovic, J. Anstasov, P. Spalevic, *Fading and Interference Mitigation in Wireless Communications*, CRC Press, Amazon.com, USA, 2013.
- [67] S. R. Panić, D. Jakšić, S. Ninković, S. Jovković, B. Milošević, Performance Analysis of Wireless Communication System over α - η - μ Fading Channels in the Presence of CCI. *Infoteh-Jahorina* Vol. 12, pp. 395-398, March 2013.
- [68] G. Stamenovic, S. R. Panic, D. Rancic, C. Stefanovic and M. Stefanovic, Performance analysis of wireless communication system in general fading environment subjected to shadowing and interference. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2014:124, 2014.
- [69] C. V. Helstrom, *Probability and Stochastic Processes for Engineers*, McMillian, 2nd edition. 1991.

-
- [70] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, PTR Prentice-Hall, 1996.
- [71] M. Abramowitz and I. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions*, 10th ed. New York: Dover, Dec. 1972.
- [72] I. Gradshteyn, I. Ryzhik, *Tables of Integrals, Series and products*. Academic Press, 1980.
- [73] M. Kang, M. Alouini, L. Yang, Outage probability and spectral efficiency of cellular mobile radio systems with smart antennas. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, issue 12, pp. 1871-1877, 2002.
- [74] L. R. Freeman, *Fundamentals of telecommunications*, John Wiley & sons, Hoboken, 2005.
- [75] M. Stefanovic, et. al., The CCI effect on system performance in k - μ fading channels. *Technics Technologies Education Management*, vol. 7, no. 1, pp. 88-92, 2012.
- [76] I. Trigui, et.al., Outage Analysis of wireless Systems over Composite Fading/Shadowing Channels with Co-channel Interferences. *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 1-6, 2009.
- [77] M. Alouini, and A. Goldsmith, Area Spectral Efficiency of Cellular Mobile Radio Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, issue 4, pp. 1047-1065, 1999.
- [78] M. S. Alouini and A. J. Goldsmith, A unified approach for calculating the error rates of linearly modulated signals over generalized fading channels. *IEEE Transaction on Communications*, vol. 47, issue 9, pp. 1324-1334, 1999.
- [79] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, Diversity MPSK receivers in co-channel interference. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 6, pp. 1959-1965, 1999.
- [80] X. Dong, N. C. Beaulieu and P. H. Wittke, Signaling constellations for fading channels. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 47, issue 5, pp. 703-714, 1999.
- [81] M. Stefanović, V. Todosijević, S. Milosavljević, F. Destović and B. Milošević, Coherent PSK System with Decision by Two Samples in the Presence of Gaussian Noise and Fading. *International Scientific Conference - UNITECH*, Gabrovo, 24-27. novembar 2007.
- [82] M. Ibnkahla, *Signal processing for mobile communications*, CRC Press LLC, 2000.

-
- [83] C. Tellambura, A. Annamalai and V. K. Bhargava, "Unified analysis of switched diversity systems in independent and correlated fading channels", *IEEE Trans. Commun.*, 2001, vol. 49, pp. 1955-1965
- [84] J. Shao, M. Alouini and A. Goldsmith, Impact of fading correlation and unequal branch gains on the capacity of diversity systems. *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2159-2163, 1999.
- [85] R. Subadar and P. Sahu, Channel capacity of adaptive transmission schemes using equal gain combining receiver over Hoyt fading channels. *Proceedings of National Conference on Communications*, pp 1-5, 2011.
- [86] K. Peppas, Capacity of η - μ fading channels under different adaptive transmission techniques. *IET Communications*, vol. 4, no. 5, pp. 532-539, 2010.
- [87] A. Cvetković, J. Anastasov, D. Milić, M. Stefanović and S. Milosavljević, Capacity evaluation for maximal-ratio diversity technique over Rician fading channels. *10th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSIKS*, Niš, pp. 505-508, 2011.
- [88] A. Goldsmith and P. Varaiya, Capacity of fading channels with channel side information. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 43, no. 6, pp. 1896-1992, 1997.
- [89] X. Dong and N. C. Beaulieu, Average Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Selection Diversity. *IEEE Communication Letters*, vol. 10, no 5, pp. 396-399, 2001.
- [90] C. D. Iskander and P. T. Mathiopoulos, Analytical Level Crossing Rate and Average Fade Duration in Nakagami fading channels. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, issue 8, pp 1301-1309. 2002.
- [91] W. C. Y. Lee, Statistical Analysis of the Level Crossings and Duration of Fades of the Signal from an Energy Density Mobile Radio Antenna. *Bell System Technical Journal*, vol. 46, issue 2, pp. 412-448, 1967.
- [92] A. Mitic, and M. Jakovljevic, Second-Order Statistics in Weibull-Lognormal Fading Channels. *Proceedings of Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services Conference*, pp. 26-28, 2007.
- [93] I. Trigui, et al., On the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Composite Multipath/Shadowing Channels. *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 1-5, 2008.

-
- [94] D. Brennan, Linear diversity combining techniques. *Proceedings of Institute of Radio Engineers*, vol. 47, pp. 1075-1102, 1959.
- [95] V. A. Aalo, Performance of maximal-ratio diversity systems in a correlated Nakagami fading environment. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, issue 8, pp. 2360-2369, 1995.
- [96] G. Fraidenraich, J. Filho and M. D. Yacoub, Second-Order statistics of maximal-ratio and equal-gain combining in Hoyt fading. *IEEE Communications Letters*, vol. 9, no. 1, pp.19-21, 2005.
- [97] G. K. Karagiannidis, N. C. Sagias and P. Takis Mathiopoulos, N*Nakagami: A Novel Stochastic Model for Cascaded Fading Channels. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 55, No. 8, pp. 1453-1458, 2007.
- [98] E. A. Neasmith and N. C. Beaulieu, New Results in selection diversity. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 46, issue 5, pp. 695-704, 1998.
- [99] N. C. Sagias, Capacity of dual-branch selection diversity receivers in correlative Weibull fading. *European Transactions on Telecommunications*, vol. 16, no. 1, pp. 37-43, 2006.
- [100] M. Č. Stefanović, P. Nikolić, S. D. Krstić, Lj. G. Stamenović and S. Milosavljević, The Performances of Generalized Selection Combiner in the Presence of Generalized-K Fading Channels. *XLIV International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies- ICEST*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2009.
- [101] P. M. Shankar, Analysis of microdiversity and dual channel macrodiversity in shadowed fading channels using a compound fading model. *International Journal of Electronics and Communications (AEUE)*, vol. 62, no. 6, pp. 445-449, 2008.
- [102] P. M. Shankar, Error rates in generalized shadowed fading channels. *Wireless Personal Communications*, vol. 28, no. 4, pp. 233-238, 2004.

BIOGRAFIJA

Srđan Z. Milosavljević je rođen 02.06.1980. godine u Kosovskoj Mitrovici. Osnovnu školu završio je u Zvečanu, a Gimnaziju prirodno-matematičkog smera u Kosovskoj Mitrovici kao nosilac Vukove diplome. Godine 1999. upisao je Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, odsek elektrotehnika, smer elektronika i telekomunikacije. Diplomirao je 2006. godine sa prosečnom ocenom 8,00 u toku školovanja i ocenom 10 (deset) na diplomskom radu.

Nakon toga upisao je doktorske studije na Elektronskom fakultetu u Nišu, studijski program elektrotehnika i računarstvo, smer telekomunikacije, gde je položio sve ispite predviđene nastavnim planom i programom.

Zaposlio se 2006. godine na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici kao sistem inženjer u Računarskom centru fakulteta, a od strane Izbornog veća Ekonomskog fakulteta 2008. godine biva biran u zvanje asistenta za užu naučnu oblast Poslovna informatika. Tehnički je urednik časopisa „Ekonomski pogledi“ i Erasmus+ koordinator na fakultetu.

Posvećen je i radu u sportu gde kao rukometni sudija obavlja dužnost na utakmicama rukometne Super lige Srbije, najvišeg ranga takmičenja u Srbiji.

Autor je i koautor naučnih radova objavljenih u međunarodnim i domaćim časopisima, kao i u Zbornicima radova sa međunarodnih i domaćih naučnih konferencija.

Živi u Zvečanu, oženjen je i otac je dva sina, Ignjata i Save.

IZJAVE AUTORA



IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija, pod naslovom:

Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu η-μ fedinga

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da predložena disertacija, ni u celini, ni u delovima, nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome, prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava, niti zloupotrebio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

U Nišu, _____

Autor disertacije

Srdan Z. Milosavljević

Potpis doktoranda:



IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKE DISERTACIJE

Ime i prezime autora: Srđan Z. Milosavljević

Studijski program: Telekomunikacije

Naslov rada: Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu η - μ fedinga

Mentor: dr Dejan N. Milić, redovni profesor

Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije istovetna elektronskoj verziji, koju sam predao/la za unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada, i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

U Nišu, _____

Autor disertacije

Srđan Z. Milosavljević

Potpis doktoranda:



IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla” da, u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom:

Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu η-μ fedinga

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

U Nišu, _____

Autor disertacije

Srđan Z. Milosavljević

Potpis doktoranda:
