

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za drugi stepen studija Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu imenovala nas je za članove Komisije za pregled i ocenu master rada kandidata **Tijane Bovan** pod naslovom „**Uticaj neželjenih efekata na kvalitet signala u realnim 4G MIMO bežičnim sistemima**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Tijana Bovan rođena je 15. januara 1991. godine u Prištini. Završila je VIII beogradsku gimnaziju u Beogradu. 2009. godine upisala je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirala je oktobra 2014. godine na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, smer Radio komunikacije, odbranom diplomskog rada „Analiza RF neprilagođenja u MIMO primopredajnicima“. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemska inženjerstvo i Radio komunikacije, upisala je 2014. godine.

2. Predmet master rada

Bežični komunikacioni sistemi se stalno razvijaju kako bi podržali veći broj korisnika i obezbedili veće protoke podataka u ograničenom radio-frekvencijskom (RF) spektru. LTE (*Long Term Evolution*) je nastao evolucijom 3G sistema i omogućava korisnicima pristup raznim multimedijalnim servisima sa velikim brzinama protoka. Protoci koje nudi su 100 Mb/s na DL (*downlink*) i 50 Mb/s na UL (*uplink*). Kako je frekvencijski spektar ograničen resurs, da bi se obezbedila spektralna efikasnost, koriste se kompaktne konstalacije i tehnike višestrukog pristupa zasnovane na bazi kodne raspodele korisnika (CDMA) i dodele različitih frekvencijskih opsega (OFDM). Međutim, ova spektralna efikasnost se postiže po cenu značajno strožijih zahteva po pitanju performansi RF *front-end-a*, što je rezultat postojanja amplitudski modulisanog signala sa anvelopom koja nije konstantne vrednosti tako da su izobličenja signala izazvana nelinearnošću predajnika neizbežna.

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) sistemi omogućavaju mnoge prednosti koristeći više od jedne antene, kao što su veći kapacitet i pouzdanost u bežičnim sistemima. Stoga se njihovo korišćenje podrazumeva u trenutnim i budućim standardima dizajna bežičnih sistema. Međutim, dizajn radio frekvencijskog (RF) predajnika za MIMO bežični sistem je veoma izazovan zadatak, a upravo je njegov efektivan dizajn od vitalnog značaja za implementaciju MIMO tehnike.

Kvalitet signala u realnim 4G MIMO bežičnim sistemima može biti znatno degradiran usled neželjenih efekata kao što su uticaj pojačavača snage, IQ nebalansiranost, efekat preslušavanja, krosmodulacijski efekat itd. Pojačavač snage predstavlja najveći problem prilikom dizajna LTE predajnika iz razloga što LTE signal ima jako veliki odnos vršne i srednje snage, zbog toga što je pojačavač najveći potrošač energije i najnelinearnija komponenta u predajniku. Nelinernost PA se može razdvojiti na dve komponente: statička nelinearnost i memorijski efekti. U slučaju statičke nelinearnosti, trenutno pojačanje pojačavača zavisi samo od trenutnog odbirka na njegovom ulazu (pri tom nije uzeto u obzir kašnjenje signala kroz pojačavač). Memorijski efekti ili dinamička distorzija, mogu biti električni ili termički. Pri njihovom prisustvu trenutno pojačanje zavisi i od određenog broja prethodnih odbiraka na ulazu (opet se ne uzima u obzir kašnjenje kroz pojačavač). Doprinos statičke nelinearnosti ponašanju PA je primetno veće, ali se obe komponente moraju kompenzovati da bi se postigla zahtevana linearnost. IQ modulator još jedna je od komponenti u sistemu koja znatno može da degradira signal, i može dovesti do linearne odnosno nelinearne distorzije. U cilju održavanja linearosti i poboljšanja efikasnosti bežičnih predajnika predložena je tehnika digitalne predistorzije (DPD – *Digital PreDistortion*). Preslušavanje ili efekat spajanja je rezultat pojave interferencije signala koji potiču od dva ili više izvora. U MIMO primopredajnicima preslušavanje je rezultat pojave interferencije između signala sa različitih RF *front-end* putanja. Pošto signali koji pripadaju različitim putanjama koriste iste frekvencije i imaju istu predajnu snagu, pojava preslušavanja je verovatnija između putanja. Postoji i druga vrsta MIMO sistema, a to su multi-frekvencijski MIMO sistemi. U multi-frekvencijskom MIMO predajniku, pored nelinearnog zajedničkog širokopojasnog ili *multi-band* pojačavača snage, neželjeni efekat je i krosmodulacija koja nastaje usled međusobnog uticaja signala koji se sinhrono šalju u isto vreme na različitim frekvencijama.

U ovom radu opisan je uticaj svakog od ovih efekata na MIMO sisteme i ilustrovan kroz rezultate simulacija korišćenjem različitih modela sistema. Prvo je korišćen Memorijski polinomijalni model pojačavača snage, potom *Wiener* model, a na kraju *Wiener-Hammerstain* model pojačavača snage. Prezentovana je analiza uticaja nelinearnog pojačavača snage u 4G multi-frekvencijskom MIMO predajniku. Takođe, analiziran je združeni uticaj nelinearnosti, IQ nebalansiranosti i nelinearnog preslušavanja u klasičnom MIMO predajniku sa više RF *front-end* grana. Takođe, analiza je urađena i na primeru *dual-band* predajnika za slučaj kada se sinhrono šalju dva potpuno ista signala na različitim učestanostima. Pokazalo se da je na ukupan odziv na izlazu iz pojačavača uticaj krosmodulacije čak i veći od uticaja intermodulacije. Zato se krosmodulacija obavezno mora uračunati

prilikom modelovanja pojačavača i digitalne predistorzije signala kojom se žele potisnuti neželjeni efekti na izlazu iz pojačavača.

Prezentovane analize mogu biti od velike koristi za one koji dizajniraju digitalne predistortere za različite vrste MIMO predajnika.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Tijane Bovan „**Uticaj neželjenih efekata na kvalitet signala u realnim 4G MIMO bežičnim sistemima**“, obuhvata 56 strana štampanog teksta sa 56 slika, 2 tabele i 27 citiranih referenci. Rad je organizovan tako da sadrži uvod, tri poglavlja, zaključak i spisak literature.

4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnom poglavlju razmatrani su razlozi za izradu teze i dat je pregled ostalih poglavlja rada.

U drugom poglavlju opisan je princip rada MIMO sistema, njegove podele na dve vrste podsistema, *Multi-branch* i *Multi-frequency* MIMO, kao i prednost korišćenja MIMO sistema u 4G LTE mrežama.

U trećem poglavlju diskutovano je o distorziji u MIMO sistemima. Opisan je uticaj pojačavača snage, IQ nebalansiranosti, preslušavanja i krosmodulacije na degradaciju performansi sistema.

U četvrtom poglavlju izvršeno je modelovanje prethodno opisanih neželjenih efekata, i analizirano kako svaki od njih deluje na bežični 4G MIMO sistem.

U petom poglavlju su izneti zaključci do kojih se došlo tokom izrade master rada.

Šesto poglavlje predstavlja spisak korišćene literature.

5. Zaključak i predlog

Master rad Tijane Bovan prikazuje rezultate ponašanja MIMO predajnog lanca na njegovom izlazu kada su u opisanim modelima predajnika menjani različiti modeli pojačavača, IQ modulatora, nelinearnog preslušavanja i krosmodulacije. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- Detaljno je opisan i u Matlabu implementiran 4G MIMO OFDM model predajnika na fizičkom sloju.
- Kroz simulacije je pokazan uticaj PA nelinearnosti, nebalansiranosti IQ modulatora, nelinearnog preslušavanja i krosmodulacije na kvalitet signala u realnim MIMO sistemima u vremenskom i frekvencijskom domenu kroz grafička i numerička poređenja.

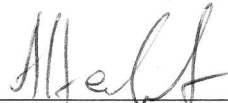
Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Tijane Bovan, pod naslovom „**Uticaj neželjenih efekata na kvalitet signala u realnim 4G MIMO bežičnim sistemima**“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 25.08.2017.

Članovi komisije:



Dr Nataša Nešković, redovni profesor



Dr Aleksandar Nešković, redovni profesor