

# 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 **Duške Čoja** pod naslovom „**Analiza nelinearne distorzije u pojačavačima snage u LTE Advanced sistemima**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

## IZVEŠTAJ

### 1. Biografski podaci

Duška Čoja rođena je 5. septembra 1989. godine u Sarajevu, BiH. Završila je Matematičku gimnaziju u Beogradu. 2008. godine upisala je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirala je oktobra 2012. godine na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, smer Radio komunikacije, odbranom diplomskog rada „*Modelovanje MIMO kanala*“. Tokom osnovnih studija postigla je prosečnu ocenu 9.62. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemsko inženjerstvo i Radio komunikacije, upisala je 2012. godine.

### 2. Predmet master rada

Osnovni zahtevi modernih bežičnih komunikacionih sistema su velika brzina prenosa podataka, linearnost, efikasnost i rekonfigurabilnost primopredajnih komponenti. Tehnologije kao HSPA (*High Speed Packet Access*), 3GPP LTE (*Long Term Evolution*) i LTE *Advanced* koriste modulacije višeg reda i tehnike višestrukog pristupa što donosi veliki broj izazova u ovu oblast istraživanja. LTE *Advanced*, kao jedna od inovativnih tehnologija, predstavlja pravi izazov u dizajnu RF (*Radio Frequency*) komponenti zbog opsega za prenos do 100 MHz, kao i zahteva za velikom linearnošću i dinamičkom konfiguracijom radio komponenti. Pojačavač snage, koji je veoma nelinearan, vitalna je komponenta u modernim komunikacionim sistemima. Njegova nelinearnost manifestuje se kroz kompresiju amplitude i distorziju faze što rezultuje degradacijom BER (*Bit Error Rate*) parametra prouzokovanog interferencijom unutar opsega za prenos, kao i interferencijom iz susednih kanala koja utiče na povećanje nivoa šuma. Jedan od glavnih zahteva pri dizajnu pojačavača snage za bežične sisteme jeste i njegova efikasnost, koja uslovljava rad na ivici nelinearne zone, što sa druge strane stvara nelinearnu distorziju i širi signal u spektralnom domenu. Kako bi se redukovala nelinearnost i napravila energetski efikasna komponenta, brojne tehnike linearizacije predložene su do sada. Među njima najpoznatije su *feedforward*, *feedback* i *predistortion* tehnike linearizacije pojačavača. Pokazalo se da je tehnika digitalne predistorzije (*Digital PreDistortion* - DPD) najisplativija, a pored toga je i posebno pogodna za primenu u sistemima koji rade u više frekvencijskih opsega. Osnovna ideja predistorzije jeste konstrukcija DPD bloka (*digital predistorter*) za kompenzaciju nelinearnosti koje unosi pojačavač tako da nastali kaskadni DPD + PA sistem jeste linearan operator koji posledično uklanja ili značajno redukuje nelinearnost pojačavača. Prvi korak u dizajnu dobrog linearnog sistema jeste konstrukcija modela koji sa velikom tačnošću opisuje nelinearnosti pojačavača snage. Zbog toga je modelovanje RF pojačavača snage, u kontekstu naprednih modulacionih tehnika i tehnika sa visokim PAPR (*Peak to Average Power Ratio*), kao što je npr. LTE *Advanced* postalo izuzetno važna oblast koja je izazvala veliko interesovanje u vidu karakterizacije pojačavača snage. Ključna prednost modelovanja ponašanja komponente je to što ne zahteva dublje znanje o fizici same komponente kao i o njenoj funkcionalnosti, što u mnogome uprošćava samo modelovanje, pošto se modelovana komponenta (*Device Under Modeling* - DUM) može posmatrati kao crna kutija. U zavisnosti od toga da li se uzimaju u obzir memorijski efekti pri modelovanju, izvršena je opšta klasifikacija modela pojačavača snage na one koji uzimaju u obzir memorijske efekte i one koji ih zanemaruju. Različiti *memoryless* modeli (*Saleh*, polinomski model, LUT (*look up table*) model...), predloženi u prošlosti, smatraju se prostim i efikasnim u uskopojasnim sistemima. Sa povećanjem opsega za prenos u modernim komunikacionim sistemima, memorijski efekti su postali svojevrsan problem i zbog toga *memoryless* modeli nisu više dovoljno dobri. Danas su modeli koji uzimaju u obzir memorijske efekte u fokusu istraživanja i različiti modeli su predloženi do sada. Jedan od njih je i model baziran na *Volterra* redovima koji se koristi pri modelovanju pojačavača sa umerenim nelinearnostima, ali je veoma kompleksan i ima ograničenu primenljivost. Pored toga, *Hammerstein*-ov, *Wiener*-ov, generalizovani memorijski polinomijalni model, model baziran na neuralnim mrežama, itd. Su, takođe, u upotrebi. Sa evolucijom radio sistema u napredne strukture koje koriste napredne modulacione tehnike i zahtevaju veći opseg za prenos, mnoge tehnike modelovanja prethodno pomenute su daleko od optimalnih zbog toga što tačnost njihovih modela veoma zavisi od strukture i procedure ekstrakcije parametara za modelovanje. U prethodnoj deceniji, Neuralne mreže (*Artificial Neural Networks* - ANN) su se pokazale kao efikasne i moćan alat za obradu signala, prepoznavanje oblika, kontrolu sistema, itd. Pristup baziran na neuralnim mrežama istražuje se kao jedan od mogućih načina modelovanja i dizajna DPD bloka, prevashodno zbog sposobnosti neuralnih mreža da uče kao i njihovih izuzetnih mogućnosti po pitanju aproksimacije brojnih nelinearnih funkcija. Danas su ANN bazirani modeli

odlična alternativa za modelovanje pojačavača snage sa strogim zahtevima po pitanju memorijskih efekata i nelinearnosti i zbog toga su odabran optimizacioni postupak pri modelovanju pojačavača snage u ovom master radu.

### 3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata **Duške Čoja** „Analiza nelinearne distorzije u pojačavačima snage u LTE *Advanced* sistemima“, obuhvata 95 strana štampanog teksta sa 67 slika i 13 tabela. Rad je organizovan tako da sadrži uvod, pet poglavlja, zaključak i spisak slika, tabela, skraćenica i literature.

### 4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnom poglavlju ukratko je opisana problematika rada i izvršen je pregled ostalih poglavlja rada.

Drugo poglavlje predstavlja pregled LTE *Advanced* sistema i sumira karakteristike LTE signala koji su korišćeni za simulaciju i eksperimentalnu verifikaciju uz pregled regulacionih zahteva koji isti moraju da ispune.

U trećem poglavlju izvršen je sažet pregled teorije pojačavača snage, sa akcentom na njihovoj nelinearnosti i linearizacionim tehnikama koje se koriste u praksi.

Detaljna studija teorije Neuralnih mreža izvršena je kroz četvrto poglavlje.

U petom poglavlju izložena je postavka eksperimenta i primenjeni merni proces za sakupljanje podataka korišćenih pri simulaciji i verifikaciji.

Šesto poglavlje predstavlja detaljan opis simulacionog procesa u etapama i daje pregled postignutih rezultata. Detaljna studija izabrane neuralne mreže korišćene za predikciju ponašanja pojačavača snage korišćenog u eksperimentu izvršena je kroz temeljno testiranje kako bi se utvrdili optimalni parametri mreže sa kojima se postiže najbolji rezultat po pitanju tačnosti predikcije. Generalizacije karakteristike mreže su testirane sa LTE signalima različite širine. Poređenje predloženog modela sa modelima korišćenim u praksi je izvršeno kako bi se utvrdile prednosti i nedostaci predloženog modela. Na osnovu direktnog modela pojačavača snage, predstavljen je i inverzni model - digitalni predistorter. Poslednja etapa simulacije predstavlja utvrđivanje stepena linearizacije koji „DPD + PA“ modeli zasnovani na Neuralnim mrežama mogu da postignu.

Sedmo poglavlje predstavlja zaključak i kroz njega je dat pregled doprinosa ove master teze i baza za budući rad.

### 5. Zaključak i predlog

Master rad **Duške Čoja** prikazuje rezultate modelovanja pojačavača snage i predistortera pomoću neuralnih mreža u LTE mobilnim bežičnim sistemima. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

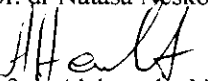
- Kroz simulacije je, pomoću neuralnih mreža, razvijen model pojačavača snage koji uzima u obzir neželjene efekte nastale usled rada pojačavača u oblasti blizu zasićenja.
- Na osnovu direktnog modela, korišćenjem neuralnih mreža, formiran je i inverzni model pojačavača snage (digitalni predistorter).
- Testirana je uspešnost kompenzacije nelinearnosti pojačavača snage primenom digitalne predistorzije kroz simulacije.
- Dat je predlog za eksperimentalnu verifikaciju predložene tehnike predistorzije za LTE *Advanced* sisteme.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad **Duške Čoja** pod naslovom „Analiza nelinearne distorzije u pojačavačima snage u LTE *Advanced* sistemima“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 30.12.2013.

Članovi komisije:

  
Prof. dr Nataša Nešković

  
Prof. dr Aleksandar Nešković