

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 **Ana Anastasijević** pod naslovom „**Modelovanje nelinearnih efekata u predajnicima LTE Advanced sistema**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Ana Anastasijević je rođena 8. septembra 1989. godine u Beogradu. 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 „*Praktična realizacija kNN modela pozicioniranja u javnim mobilnim mrežama u zatvorenom prostoru*“. Tokom osnovnih studija postigla je prosečnu ocenu 9.73. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemsko inženjerstvo i Radio komunikacije, upisala je 2012. godine.

2. Predmet master rada

Uvođenjem nove generacije bežičnih mobilnih sistema poznate kao *Long Term Evolution - Advanced* (LTE-A) dizajn kompletnog sistema, a posebno predajnika, podignut je na nov, značajno viši nivo. Sa porastom zahteva za nove sisteme koji treba da omoguće kako velike kapacitete, tako i visoku energetske i spektralnu efikasnost, konstrukcija ovakvih predajnih sistema postaje značajno složenija. Glavni problem leži u potrebi da se najnelinearnija komponenta predajnog lanca, pojačavač snage, koristi blizu oblasti zasićenja, odnosno saturacije, gde su efekti nelinearnosti najizraženiji. Ukoliko se pojačavač koristi na nižim snagama, odnosno u linearnom režimu, pojačanja koja unosi u sistem su manja i samim tim se gubi na energetske efikasnosti, a povećava se i cena. Dodatno, moderne modulacione tehnike poput *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) koje povećavaju kapacitet, unose i visoke odnose nivoa vršne i srednje snage (engl. *Peak-to-Average-Ratios- PAPR*), čime doprinose ukupnoj distorziji signala propuštenog kroz pojačavač. Pored pojačavača, druge komponente u predajniku doprinose ukupnoj nelinearnosti sistema, posebno I/Q modulator, koji pored sopstvenih nelinearnosti, unosi i amplitusku i faznu neusaglašenost komponente u fazi i kvadraturi (engl. *I/Q imbalance*), kao i postojanje parazitne jednosmerne komponente (engl. *DC offset*). Usled varijacije anvelope signala i nelinearnosti koje unose gore navedene komponente dolazi i do susednokanalne interferencije, čime se dodatno ograničava kapacitet samog sistema.

Često predlagano rešenje za pristupanje problemu kompromisa linearnosti i energetske efikasnosti je uvođenje metoda linearizacije kojima se prenošeni signal dodatno obrađuje sa ciljem da se omogući korišćenje predajnog podsistema, prvenstveno pojačavača, u nelinearnom režimu. Poznate metode linearizacije su *feedforward*, *feedback* i tehnike analogne i digitalne predistorzije. Digitalna predistorzija (DPD) je postala dominantna zbog mogućnosti da se njom postigne rekonfigurabilnost sistema kao i visoka preciznost. Ove dve osobine su od posebnog značaja za moderne radio komunikacije. Osnovni princip DPD zasnovan je na unošenju nelinearnosti, odnosno distorzije u emitovani signal pre same nelinearne komponente. Ovaj oblik dodatne distorzije treba da bude inverzan onom koji sama komponenta unosi sa ciljem da signal koji se propusti kroz rednu vezu DSP (*Digital Signal Processor*) i pojačavača snage bude oslobođen izobličenja. Da bi se omogućio ovakav vid obrade signala, neophodno je poznavati prenosnu funkciju pojačavača, odnosno kompletnog predajnika. Modelovanje ponašanja predajnika, posebno pojačavača je stoga ključni korak za uspešnu kompenzaciju izobličenja, tj. linearizaciju. U skladu sa tim, glavni predmet ovog master rada je razvijanje preciznog modela predajnika, konkretno redne veze IQ modulatora i pojačavača snage koji su svojim združenim nelinearnostima glavni uzrok za izobličenje signala na predaji. Za formiranje modela izvršena je akvizicija potrebnih ulaza i izlaza komponente koja se modeluje, odnosno *Device Under Model* (DUM). Korišćenja je oprema američkog proizvođača *Agilent* i to signal generatori i spektralni analizator (kao i prateći softver za snimanje rezultata merenja *Distortion Suite*). Na osnovu tako prikupljenih podataka, model je konstruisan i testiran kroz *Matlab* softverski paket. DUM se testira signalima koji su u skladu sa standardima za LTE Advanced sistem.

Samo modelovanje je sprovedeno uz pomoć neuralnih mreža, a na osnovu eksperimentalno sakupljenih podataka. Pored neuralnih mreža (engl. *Artificial Neural Networks* ANNs), alternativni pristupi uključuju primenu redova *Volterra*, polinomijalnog modela i sl, od kojih se ANN izdvajaju kao precizan i efikasan način kako za modelovanje nelinearnosti predajnika, tako i za razvijanje linearizatora zasnovanog na DPD. Različite vrednosti za parametre direktnog modela su testirane, kao i različite arhitekture neuralnih mreža radi komparativne analize. Na osnovu direktnog modela, razvijen je i inverzan model, odnosno model predistortera i njegova uspešnost u kompenzaciji nelinearnih efekata predajnika je ispitana.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Ane Anastasijević „Modelovanje nelinearnih efekata u predajnicima LTE *Advanced* sistema“, obuhvata 94 strane štampanog teksta sa 115 slika i 19 tabela. Rad je organizovan tako da sadrži pregled rada, uvod, četiri poglavlja, zaključak i spisak literature.

4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnom poglavlju na srpskoj jeziku nazvanom „Pregled rada“ dat je sažetak rada sa komentarima originalnosti, značaja i primenjenih metodologija, zajedno sa kraćim pregledom ostalih poglavlja rada. Ostatak rada je napisan na engleskom jeziku.

Prvo poglavlje predstavlja uvod u problematiku i prezentuje motivaciju za odabir teme, kao i ciljeve koje rad treba da zadovolji. Pored toga, pružen je i kraći pregled organizacije rada.

U drugom poglavlju uvedene su pojedinosti vezane za dizajn predajnika, karakteristike pojačavača, kao i ideju združenog modela nelinearnosti. Nakon toga definisani su osnovni pojmovi vezani za LTE *Advanced* sisteme, modulacije, frekvencijske opsege i osobine LTE *Advanced* signala.

Treće poglavlje uvodi teoriju iza neuralnih mreža, sa pregledom različitih vrsta mreža, različitih podešavanja parametara, algoritama učenja i pruža uvid u mogućnosti modelovanja nelinearnih dinamičkih sistema upotrebom neuralnih mreža. Kroz pregled karakteristika i objašnjenja pojedinih slučajeva u ovom poglavlju se jasno ističu prednosti primene neuralnih mreža, pa je samim tim predstavljena i objašnjena motivacija iza odabira ovog pristupa za ostvarivanje digitalne predistorzije.

Sama postavka eksperimenta i merni proces koji je primenjen da bi se sakupili neophodni eksperimentalni podaci dat je u četvrtom poglavlju.

Kroz peto poglavlje uvedeno je konkretno rešenje za modelovanje, kao i predistorziju. Objašnjeni su detalji oko odabranih arhitektura, vrednosti za parametre i slično. U ovom poglavlju su svi rezultati predstavljeni kroz tekst, tabele i grafike, a objašnjenja je i procedura testiranja, odnosno ispitivanja uticaja pojedinih parametara na preciznost modela i njegovu uspešnost u potiskivanju nelinearnosti. Pored toga, u ovom poglavlju je izložena metoda za implementaciju dodatnih nelinearnosti IQ modulatora sa ciljem da se modeluje realan slučaj komercijalnog homodinskog predajnika.

U šestom poglavlju je dat zaključak i dodatno je analiziran doprinos ove master teze. Dati su i predlozi za dalji rad koji prvenstveno uključuju predlog eksperimentalne verifikacije, kao i predlozi za nastavak testiranja konfiguracije parametara neuralnih mreža.

5. Zaključak i predlog

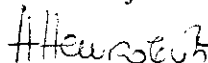
Master rad Ane Anastasijević prikazuje rezultate modelovanja i potom kompenzacije nelinearnosti predajnika LTE *Advanced* mobilnog bežičnog sistema primenom digitalne predistorzije. Glavni doprinosi master rada su sledeći:

- Predložena je postavka za eksperimentalno skupljanje podataka i urađena su laboratorijska merenja na osnovu kojih su formirani uslovi za konstruisanje direktnog i indirektnog modela.
- Razvijen je model združenih nelinearnosti IQ modulatora i pojačavača korišćenjem veštačkih neuralnih mreža.
- Konstruisan je model predistortera na osnovu razvijenog direktnog modela, takođe korišćenjem neuralnih mreža.
- Kroz simulacije je testirana uspešnost kompenzacije neželjenih efekata u predajniku primenom digitalne predistorzije.
- Dat je predlog za eksperimentalnu verifikaciju predloženog rešenja predistorzije LTE *Advanced* sistema.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Ane Anastasijević, pod naslovom „Modelovanje nelinearnih efekata u predajnicima LTE *Advanced* sistema“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 14.10.2011.

Članovi komisije:


Prof. dr Nataša Nešković


Prof. dr Aleksandar Nešković