

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 **Marijane Novaković** pod naslovom „**Komparativna analiza modelovanja ponašanja različitih pojačavača snage korišćenjem veštačkih neuralnih mreža**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Marijana Novaković rođena je 29. februara 1988. godine u Priboju. Završila je Pribojsku gimnaziju i 2007. godine upisala je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirala je septembra 2011. godine na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, smer Radio komunikacije, odbranom diplomskog rada „Metode analize diskretnih signala i sistema u telekomunikacijama“. Tokom osnovnih studija postigla je prosečnu ocenu 8.64. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemsko inženjerstvo i Radio komunikacije, upisala je 2011. godine.

2. Predmet master rada

Nove generacije mobilnih sistema kao što su HSPA (*High Speed Packet Access*), 3GPP, LTE (*Long-Term Evolution*) i Mobile WiMAX zahtevaju radio predajnike koji su u mogućnosti da podrže visoke brzine prenosa i visok protok. Protokoli zasnovani na 3GPP LTE (*Long Term Evolution*) omogućavaju korisnicima pristup različitim multimedijalnim servisima obezbeđujući pri tome brzinu od 100 Mb/s. Da bi se postigla zahtevana spektralna efikasnost u ovim sistemima potrebno je postaviti strožije uslove po pitanju performansi na RF *front end*-u, jer su u pitanju amplitudski modulirani signali sa promenljivom anvelopom, tako da su izobličenja signala izazvana nelinearnošću predajnika neizbežna. Nelinearno ponašanje predajnika je u najvećoj meri posledica rada pojačavača snage (PA - *Power Amplifier*) blizu regiona zasićenja u cilju postizanja adekvatne energetske efikasnosti. Rad pojačavača u linearnom opsegu sa signalom koji ima veliku vrednost odnosa vršne i srednje snage (PAPR), rezultiraće veoma niskom vrednošću energetske efikasnosti. S obzirom da PA predstavlja najveći potrošač u predajniku, poželjno je da radi sa maksimalnom efikasnošću. Efikasnost PA bi trebalo da bude što veća da bi PA trošio manje energije. Ovo je posebno važno kada se koriste terminali koji rade na bateriju. Međutim, porast efikasnosti obično je praćen gubitkom linearnosti, što podrazumeva da kompromis između efikasnosti i linearnosti mora biti uspostavljen. Sa ciljem povećanja efikasnosti, ceo predajni sklop se dizajnira tako da PA radi u nelinearnom režimu, a dodatni sklopovi i obrada signala se koriste za njegovu linearizaciju. U cilju održavanja linearnosti i poboljšanja efikasnosti bežičnih predajnika predložena je tehnika digitalne predistorzije (DPD - *Digital PreDistortion*). DPD je jedna od tehnika koja koristi digitalnu obradu signala i oslanja se na uvođenje elementa predistortera, koji ima inverznu nelinearnu karakteristiku u odnosu na pojačavač. On se postavlja ispred PA i time kompenzuje njegovu nelinearnost. Novija tehnika koja je u poslednje vreme privukla ogromnu pažnju naučnika, kad je u pitanju modelovanje PA, je tehnika modelovanja veštačkim neuralnim mrežama, ANN (*Artificial Neural Network*), i to zahvaljujući relativno jednostavnoj implementaciji, kvalitetnoj obradi signala i fleksibilnosti. ANN pristup ispunjava protivrečne zahteve i u odnosu na druge metode daje bolje rezultate u pogledu performansi PA. 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). Kada su memorijski efekti prisutni, 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 приметно veće, ali se obe komponente moraju kompenzovati da bi se postigla zahtevana linearnost. Bitan korak u analizi PA je tačno modelovanje nelinearnosti PA. Modelovanje ponašanja (*behavioral modeling*) služi za predikciju nelinearnosti predajnika, posebno PA. *Behavioral Modeling* predstavlja računarski efikasnu tehniku za povezivanje ulaznog i izlaznog signala *device under test* (DUT). DUT predstavlja komponentu ili skup komponenti koje se nalaze između tačaka u kojima se posmatra ulazni i izlazni signal. Modelovanje ponašanja podrazumeva matematičku formulaciju veze između ulaza i izlaza DUT-a. Za *behavioral modeling* su bitna dva aspekta: posmatranje i formulacija. Posmatranje podrazumeva tačnu akviziciju signala na ulazu i izlazu, dok se posmatra određeno ponašanje, dok formulacija podrazumeva pronalaženje pogodne matematičke formule koja opisuje značajne interakcije između ulaza i izlaza. Performanse modela se određuju na osnovu nekoliko metrika, od kojih treba izdvojiti NMSE (*Normalized Mean-Square Error*) u vremenskom, i NAMSE (*Normalized Absolute Mean Spectrum Error*) u frekvencijskom domenu. NMSE daje dobar uvid u *in-band* odziv, ali ne pokazuje dobro performanse u susjednim kanalima, dok NAMSE predstavlja više mikroskopsku metriku koja daje jednak značaj svim spektralnim regionima, nezavisno od nivoa snage.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Marijane Novaković „Komparativna analiza modelovanja ponašanja različitih pojačavača snage korišćenjem veštačkih neuralnih mreža“, obuhvata 162 strana štampanog teksta sa 253 slike, 12 tabela i 22 citirane reference. Rad je organizovan tako da sadrži uvod, pet 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 je detaljno predstavljena LTE tehnologija, prikazana modulacija na *downlink*-u i *uplink*-u, kao i poboljšanja u odnosu na prethodnu HSPA tehnologiju.

U trećem poglavlju je opisan pojačavač snage (*Power Amplifier-PA*), prikazana njegova nelinearna prenosna karakteristika, kao i parametri koji u najvećoj meri utiču na nelinearnu transfer funkciju.

U četvrtom poglavlju je prikazan princip modelovanja pojačavača snage na principu veštačkih neuralnih mreža. Opisan je RVFTDANN model pojačavača snage. Prikazano je i promenom kojih parametara strukture mreže se može uticati na što bolje performanse mreže (broj skrivenih slojeva, broj neurona u slojevima, broj kola za kašnjenje na ulazu, funkcije u slojevima, broj epoha za treniranje...).

U petom poglavlju je opisano modelovanje ponašanja PA (*Behavioral Modeling*). Modelovanje ponašanja služi za matematički opis realnog pojačavača snage, i za potrebe ovog rada su sva merenja izvršena u laboratorijskim uslovima.

U šestom poglavlju je predstavljen uporedni prikaz rezultata dobijenih modelovanjem ponašanja različitih pojačavača snage kako bi se izvršila komparativna analiza na osnovu više kriterijuma: NMSE, NAMSE, *Error Spectrum*, kao i AM/AM i AM/PM karakteristike.

U sedmom poglavlju su doneti zaključci do kojih se došlo tokom izrade master rada .

Osmo glava sadrži spisak korišćene literature

5. Zaključak i predlog

Master rad Marijane Novaković prikazuje rezultate primene veštačkih neuralnih mreža za modelovanje ponašanja PA. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- Izvršena je detaljna analiza veštačkih neuralnih mreža pomoću kojih su modelovani PA.
- Prilikom komparativne analize dobijenih rezultata zaključeno je kako pojedini parametri ANN mreže utiču na performanse različitih pojačavača snage.
- Na osnovu toga izvršena je optimizacija modela PA i predloženi su modeli za različite pojačavače snage sa što je moguće boljim performansama, a što je moguće manjom kompleksnošću strukture ANN.
- Pokazano je da se svaki pojačavač snage (simulirani ili realni) može modelovati primenom veštačkih neuralnih mreža, s tim da se za svaki slučaj u kom se nalazi pojačavač moraju odrediti odgovarajući parametri neuralnih mreža.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Marijane Novaković, pod naslovom „Komparativna analiza modelovanja ponašanja različitih pojačavača snage korišćenjem veštačkih neuralnih mreža“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 01.07.2013.

Članovi komisije:

Prof. dr Nataša Nešković

Prof. dr Aleksandar Nešković