

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 **Srdana Maksimovića** pod naslovom „**Razvoj modela ponašanja pojačavača snage zasnovanog na podeli odbiraka na regione i paralelnim neuralnim mrežama**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Srdan Maksimović rođen je 29. oktobra 1985. godine u Kragujevcu. Završio je Prvu kragujevačku gimnaziju i 2004. godine upisao je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirao je oktobra 2009. godine na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, smer Sistemsko Inženjerstvo, odbranom diplomskog rada „Metoda bezkontaktnog merenja brzih elektromagnetnih prelaznih pojava“. Tokom osnovnih studija postigao je prosečnu ocenu 8.22. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemsko inženjerstvo i Radio komunikacije, upisao je 2009. godine.

2. Predmet master rada

Dizajniranje pojačavača snage (*Power Amplifier* - PA) u predajnicima nove generacije mobilnih sistema predstavlja veliki izazov. Postavljeni zahtevi – visoka linearnost pojačavača, velika izlazna snaga i visoka energetska efikasnost su zapravo protivrečni zahtevi. Kako bi se navedeni zahtevi zadovoljili, potrebno je da pojačavač snage radi na ivici oblasti zasićenja. Posledica toga je nelinearnost koja izaziva širenje spektra koje uzrokuje interferenciju u susjednim kanalima, i distorziju unutar opsega posmatranog signala (*in-band*) koja degradira performanse sa stanovišta verovatnoće greške po bitu. Da bi se zadovoljili zahtevi za linearnošću, a da pojačavač snage radi u nelinearnoj oblasti blizu zasićenja, potrebno je korigovati različite izvore distorzije u lancu predajnika. Velike vrednosti PAPR (*Peak to Average Power Ratio*) parametra signala unose dodatnu nelinearnost i nameću još veću potrebu za linearizacijom PA sistema. Digitalna predistorzija je dobro poznata tehnika linearizacije pojačavača snage u predajnicima savremenih sistema. Osnovna ideja digitalne predistorzije je konstrukcija DPD bloka (*Digital PreDistorter*) za kompenzaciju nelinearnosti koje unosi pojačavač, tako da kaskadni DPD + PA sistem bude linearan. Bitan korak u analizi PA sistema i dizajniranju PA lineajzera je tačno modelovanje nelinearnosti PA. Za modelovanje nelinearnosti PA često se koristi modelovanje ponašanja (*behavioral modeling*), jer predstavlja računarski efikasno sredstvo 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. Značaj modelovanja ponašanja je i u tome što se i predistorzija može posmatrati kao *behavioral modeling* problem. Naime, sinteza funkcije predistorzije je analogna modelovanju inverzne funkcije PA posmatranjem signala na njegovom ulazu i izlazu. Za *behavioral modeling* su bitna dva aspekta: tačna akvizicija signala na ulazu i izlazu dok se posmatra određeno ponašanje, i pronalaženje pogodnih matematičkih formula koje opisuju značajne interakcije između ulaza i izlaza. Za formulaciju matematičke veze između ulaza i izlaza PA postoji nekoliko matematičkih modela, čiji bi izbor trebalo da uzme u obzir njegove performanse i njegovu kompleksnost. Za ocenu performansi modela postoji nekoliko metrika, od kojih se može 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, dok NAMSE predstavlja metriku koja daje jednak značaj svim spektralnim regionima, nezavisno od nivoa snage. Model neuralnih mreža (*Artificial Neural Network* - ANN) je u poslednje vreme postao popularan zbog kvalitetnih performansi, jednostavne implementacije i fleksibilnosti. ANN pristup na polju modelovanja pojačavača snage i digitalnog predistortera zadovoljava visoke ulazne kriterijume, i u direktnom poređenju sa ostalim metodama pokazuje bolje rezultate u smislu performansi. Iako pristup klasičnog ANN modelovanja daje bolje rezultate u odnosu na druge tehnike linearizacije, postoje ograničenja koja limitiraju praktičnu primenu tehnike. Pre svega, nije garantovana opštost modelovanja za različite tipove pojačavača snage, a, takođe, ne postoji algoritam pronalaska optimalnih parametara ANN mreže. Krajnji rezultat je ANN mreža koja predstavlja dobar model za samo jedan PA, dobijena za relativno dugo vreme pronalaska optimalnih parametara. Imajući u vidu potencijal ANN mreža na polju modelovanja PA, ali i nedostatke klasičnog ANN modela, uveden je novi model ponašanja pojačavača snage, zasnovan na podeli odbiraka signala na regione i korišćenju posebne neuralne mreže za svaki region.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Srđana Maksimovića „Razvoj modela ponašanja pojačavača snage zasnovanog na podeli odbiraka na regione i paralelnim neuralnim mrežama“, obuhvata 187 strana štampanog teksta sa 300 slika, 14 tabela i 53 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 opisani su problemi zbog kojih se linearizacije PA uvode, i predstavljena su tradicionalna rešenja za linearizaciju pojačavača snage.

U trećem poglavlju su opisani bitni aspekti modelovanja ponašanja, uticaj parametara signala na karakteristiku PA, i način na koji se vrši karakterizacija PA.

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

U petom poglavlju predstavljen je novi model ponašanja pojačavača snage zasnovan na podeli odbiraka na regione i paralelnim ANN mrežama. Opisan je konkretan model korišćen u ovom radu, i dati su pravci budućih optimizacija.

U šestom poglavlju prikazani su rezultati modelovanja korišćenjem tradicionalnog i paralelnog ANN modela i vršeno je direktno poređenje ove dve tehnike. Za testiranje su korišćena dva signala, jedan dobijen modelovanjem u Matlab softverskom paketu, dok je drugi izmeren u laboratorijskim uslovima.

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

Osmu glava sadrži listu skraćenica korišćenih u radu.

U devetom poglavlju nalazi se spisak korišćene literature.

5. Zaključak i predlog

Master rad Srđana Maksimovića prikazuje rezultate primene novog, paralelnog ANN modela i rezultate direktnog poređenja sa klasičnim ANN modelom. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- Predstavljen je novi model ponašanja pojačavača snage, zasnovan na podeli odbiraka signala na regione i korišćenju posebne neuralne mreže za svaki region (paralelni ANN model), koji ima bolje performanse od klasičnog ANN modela i u vremenskom (NMSE) i u frekvencijskom (NAMSE, *error spectrum*) domenu.
- Prilikom komparativne analize dobijenih rezultata zaključeno je kako pojedini parametri ANN mreže utiču na predloženi model. Paralelni ANN model je jako robustan i vrši dobro modelovanje za širok spektar parametara ANN mreža koje ulaze u njegov sastav. Time je rešen jedan od osnovnih nedostataka klasičnog ANN modela, a to je uzak skup parametara ANN mreže za koje se dobija dobar rezultat modelovanja, kao i nepostojanje algoritma za pronalaženje optimalnih parametara.
- Pokazano je da paralelni ANN model daje optimalne rezultate modelovanja uz korišćenje jednostavnijih ANN mreža u odnosu na klasični model. Jednostavnije ANN mreže koje ulaze u sastav paralelnog ANN modela i korišćenje principa paralelizacije imaju za posledicu skraćeno vreme modelovanja u odnosu na klasični ANN model.
- Predstavljeni su pravci daljih optimizacija paralelnog ANN pristupa u modelovanju pojačavača snage.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Srđana Maksimovića, pod naslovom „Razvoj modela ponašanja pojačavača snage zasnovanog na podeli odbiraka na regione i paralelnim neuralnim mrežama“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 26.08.2013.

Članovi komisije:


Prof. dr Nataša Nešković


Prof. dr Aleksandar Nešković