



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ • ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 • 11000 Београд • Република Србија •

Тел. 011/324-8464 • Факс: 011/324-8681

Универзитет у Београду
Већу научних области техничких наука

З А Х Т Е В

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно чл.46 ст.5.тач.4 Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр.131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Мр РАДИВОЈА (Милија) ЂУРИЋА

Кандидат Мр Радивоје Ђурић предао је урађену докторску дисертацију под називом:
„Самоосцилујући *fluxgate* струјни трансформатори“

Универзитетско веће научних области техничких наука је дана 19.12.2008.године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Радивоја Ђурића образована је на седници 02.02.2010./02.3.2010.године, одлуком Наставно-научног већа Факултета бр.811/3, у саставу:

Име и презиме члана Комисије	Звање	Установа у којој је запослен
1. Др Милан Поњавић	доцент	Електротехнички факултет у Београду
2. Др Лазар Сарановац	доцент	Електротехнички факултет у Београду
3. Др Жарко Јанда	научни сарадник	Електротехнички институт „Никола Тесла“
4. Др Вујо Дрндаревић	редовни професор	Електротехнички факултет у Београду
5. Др Јован Цветић	ванредни професор	Електротехнички факултет у Београду

Наставно-научно веће Факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 02.03.2010.године.

Прилози:

1. Извештај Комисије са предлогом
2. Одлуку Наставно-научног већа Факултета о усвајању извештаја

ДЕКАН
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Миодраг Поповић



На основу чл.128 Закона о високом образовању и чл.66 и 68 и Статута Електротехничког факултета у Београду, Наставно-научно веће на седници од 02.03.2010.године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се Извештај комисије у саставу: др Милан Поњавић, доцент Електротехничког факултета, др Лазар Сарановац, доцент Електротехничког факултета, др Жарко Јанда, научни сарадник Електротехничког института „Никола Тесла“, др Вујо Дрндаревић, редовни професор Електротехничког факултета, др Јован Цветић, ванредни професор Електротехничког факултета, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под насловом: „Самоосцилујући *fluxgate* струјни трансформатори“ коју је предао **мр РАДИВОЈЕ ЂУРИЋ**, и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука.

Комисија за усмену одбрану именована је у саставу: др Милан Поњавић, доцент Електротехничког факултета, др Лазар Сарановац, доцент Електротехничког факултета, др Жарко Јанда, научни сарадник Електротехничког института „Никола Тесла“, др Вујо Дрндаревић, редовни професор Електротехничког факултета, др Јован Цветић, ванредни професор Електротехничког факултета.

ДЕКАН

Електротехничког факултета

Проф.др Миодраг Поповић

Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

Na svojoj 710. sednici od 02.02.2010. godine, Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu odredilo nas je za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije kandidata **Mr Radivoja M. Đurića**, dipl. inž, pod naslovom "Samooscilujući fluxgate strujni transformatori". Disertaciju smo pregledali i imamo čast da Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu podnesemo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

Kratka biografija

Radivoje M. Đurić je rođen 11.05.1967. godine u Bioski, Užice, gde je i završio osnovnu školu. Srednju školu, prirodno-tehničke struke, završio je u Užicu. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1986. Godine 1986/87 služio je vojni rok u Beogradu i Valjevu. Diplomirao je 1992. godine. Godine 1993. upisao je postdiplomske studije, smer Elektronika. Od 1993. god. zaposlen je na Katedri za elektroniku kao stažer ministarstva za nauku. Za 1993. godinu dobitnik je Tesline nagrade za stvaralaštvo mladih. Početkom 1994. godine je izabran u zvanje asistenta pripravnika. Godine 1997 odbranio je magistarsku tezu pod naslovom "Paralelan rad prekidačkih izvora za napajanje". Godine 1998. prvi put je izabran u zvanje asistenta, dok je 2007. ponovo reizabran u isto zvanje.

Stručna delatnost

Učestvovao je u izvođenju nastave iz predmeta za koje je zadužena Katedra za elektroniku na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, kao i u Vojno-tehničkoj akademiji u Žarkovu i bio višegodišnji mentor za elektroniku na takmičenju u znanju na elektrijadi.

Kandidat Radivoje Đurić je učestvovao u realizaciji više projekata finansiranih od strane vojske, privrede, kao i od strane ministarstva za nauku. Objavio je više radova na domaćim konferencijama, dva rada u domaćim časopisima, i dva rada u renomiranim međunarodnim časopisima. Recezent je časopisa IEEE Sensors Journal.

Osnovni podaci o objavljenim radovima iz oblasti disertacije

Radovi u renomiranim međunarodnim časopisima (sa IMPACT faktorom):

- M. Ponjavić, **R. Đurić**, "Nonlinear modeling of the Self-Oscillating Fluxgate Current Sensor", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 7, No. 11, pp. 1546-1553, November 2007.

Radovi na domaćim konferencijama:

- M. Ponjavić, **R. Đurić**, "Beskontaktni strujni senzor sa jednostrukim napajanjem," *ETRAN*, Palić, jun 2008.
- **R. Đurić**, M. Ponjavić, N. Smiljanić, „Galvanski izolovani strujni senzor sa digitalnim izlazom,“ *INFOTEH*, vol. 8, pp. 379-383, Jahorina, mart 2009.
- **R. Đurić**, M. Ponjavić, „Prekidački samooscilujući fluxgate strujni senzor sa nultim fluksom,“ *ETRAN*, Vrnjačka Banja, jun 2009.

2. Analiza rada

Predmet doktorske disertacije

Značajan broj industrijskih primena zahteva galvanski izolovano merenje i jednosmerne i promenljive komponente električne struje. Standardne industrijske komponente koje se u tu svrhu koriste jesu senzori zasnovani na kombinaciji Hallovog elementa i standardnog strujnog transformatora. Sreću se u literaturi pod nazivom jednosmerni strujni transformatori.

Standardni jednosmerni strujni transformatori se proizvode u dve osnovne varijante: kao senzori bez povratne sprege i kao senzori sa povratnom spregom. Senzori sa povratnom spregom se odlikuju visokom preciznošću ali i velikom potrošnjom i visokom cenom, dok se senzori bez povratne sprege odlikuju znatno nižom preciznošću, malom potrošnjom i niskom cenom. Kako je konstrukcija senzora u obe varijante zasnovana na jezgru sa procepom i Hallovim elementom koji je ugrađen u taj procep, senzor je značajno osetljiv na spoljašnje magnetsko polje. Pri tome, osetljivost senzora na magnetski šum raste sa veličinom procepa u jezgru, dok se cena senzora sa smanjenjem procepa povećava.

Alternativa standardnim jednosmernim strujnim transformatorima su strujni senzori zasnovani na *fluxgate* principu, *fluxgate* strujni transformatori. *Fluxgate* princip, u kome se dodatnom elektronikom jezgro transformatora naizmenično odvodi u oba zasićenja, poznat je zadnjih nekoliko decenija, i intenzivno se primenjivao u izradi preciznih magnetskih senzora, namenjenih prvenstveno za merenje geomagnetskog polja. Elektronika takvih senzora je komplikovana a izlazna informacija se dobija detektovanjem drugog harmonika složenoperiodičnog signala koji se generiše. U poslednjih desetak godina svi renomirani proizvođači strujnih senzora ubacili su u svoj program i komponente zasnovane na *fluxgate* principu. Ovi senzori se odlikuju preciznošću za red veličine većom nego što je to slučaj sa standardnim strujnim transformatorima sa povratnom spregom, ali i velikom potrošnjom i visokom cenom.

Kompromis između cene i performansi predstavljaju samooscilujući *fluxgate* strujni transformatori. Za razliku od klasičnih *fluxgate* strujnih transformatora, samooscilujući strujni transformatori imaju znatno jednostavniju elektroniku, pa je zbog toga i cena uporediva sa cenom standardnih strujnih transformatora. Ukoliko samooscilujući *fluxgate* strujni transformator nije zasnovan na principu detekcije drugog harmonika, i nema povratnu spregu, tada je njegova realizacija jednostavna, preciznost merenja je uporediva sa standardnim strujnim transformatorima sa povratnom spregom, potrošnja je mala, a pri tome je zbog nepostojanja procepa u jezgru transformatora očuvana imunost na eksterno magnetsko polje. Ukoliko se u osnovnu verziju takvog senzora uvede povratna sprega, preciznost takvog transformatora se povećava za red veličine.

Samooscilujući *fluxgate* strujni transformatori bez povratne sprege obrađeni su u stručnoj i naučnoj literaturi u nekoliko radova i patenata, dok je prva varijanta takvog senzora sa povratnom spregom razvijena na Katedri za elektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Pri tome nekoliko bitnih problema prilikom realizacije takvih senzora nije detaljno obrađeno: nedostatak zadovoljavajućeg matematičkog modela kojim bi se mogle predvideti mogućnosti takvog tipa senzora; grejanje pobudnog kola senzorskog transformatora koje je posledica preslikane jednosmerne komponente primarne struje; teškoće u realizaciji preciznih naponskih nivoa pobudnog signala senzorskog transformatora, što prouzrokuje drift ofseta izlaznog napona; problemi prilikom realizacije senzora sa jednostrukom napajanjem i malom potrošnjom;

Većina ovih problema, kao što su: mala potrošnja, jednostruko napajanje, mali gubici u sekundarnom kolu strujnog transformatora i smanjenje drifta i ofseta izlaznog napona, rešena je u disertaciji. Rešenje u vezi adekvatnog modelovanja samooscilujućeg *fluxgate* strujnog transformatora sa eksperimentalnim rezultatima autor je objavio u časopisu *IEEE Sensors Journal*.

Referentna i korišćena literatura

U svakom od ključnih poglavlja disertacije iscrpno je razmatrana literatura vezana za problematiku odgovarajućeg poglavlja. Na kraju teze se nalazi zbirni spisak referenci

klasifikovan po poglavljima. Kao literatura je korišćena većina fundamentalnih radova iz oblasti *fluxgate* principa, pretežno iz IEEE časopisa i konferencija, referentne monografije iz iste oblasti i tehnička literatura najpoznatijih proizvođača strujnih senzora. Komisija je mišljenja da je svako poglavlje disertacije pokriveno relevantnom referentnom literaturom, koja na odgovarajući način postavlja okvire za obrađivanje problematike u užoj naučnoj oblasti disertacije.

Kratak opis primenjenih metoda

U disertaciji je matematičkim modelovanjem opisao ponašanje samooscilujućeg *fluxgate* senzora bez i sa povratnom spregom. Na osnovu toga je formiran skup kvantitativnih pokazatelja karakteristika senzora u zavisnosti od njegovih električnih i magnetskih parametara. Modelovanjem i simulacijom u SPICE-u i SIMULINK-u potvrđeni su pokazatelji dobijenog matematičkog modela, a konačna verifikacija je izvedena na eksperimentalnim prototipovima.

Kratak opis rezultata istraživanja

Na osnovu analitičkog modelovanja, simulacije i eksperimenta utvrđeno je da samooscilujući *fluxgate* strujni transformatori bez povratne sprege imaju metrološke karakteristike bolje od strujnog transformatora u otvorenoj sprezi zasnovanog na Hallovom elementu, a neznatno lošije od istog takvog senzora sa zatvorenim spregom. Samooscilujući *fluxgate* strujni senzor sa povratnom spregom imaju znatno bolje karakteristike od bilo koje konfiguracije strujnih transformatora na bazi Hallovog elementa.

Podaci o objavljenom naučnom radu u vezi sa disertacijom

Jedan od doprinosa disertacije u vezi sa matematičkim modelovanjem i eksperimentalnom verifikacijom modela publikovan je u časopisu *IEEE Sensors Journal* pod naslovom "Nonlinear modeling of the Self-Oscillating Fluxgate Current Sensor". U radu je opisana jednostavnija varijanta modelovanja magnetizacije krive upotrebljenog feritnog jezgra senzora, bazirana na nelinearnoj bezhisterezisnoj aproksimaciji. Većina parametara koji utiču na glavne karakteristike senzora je uključena u taj model i efekti njihovog podešavanja se mogu lako ispitati. U radu je priložena i eksperimentalna verifikacija predloženog modelovanja.

3. Zaključak

Glavni naučni doprinosi

U radu su razvijeni analitički modeli senzora gde je izvedeno modelovanje nelinearne histerezisne krive magnetskih jezgara upotrebljenih transformatora, gde su uključeni svi paraziti efekti, kao što su histerezisni i kondukcioni gubici, rasipne induktivnosti i parazitne kapacitivnosti. Na osnovu tih modela razvijeno je nekoliko konstrukcionih rešenja samooscilujućih *fluxgate* senzora sa i bez povratne sprege u polumostnoj, mostnoj i rezonantnoj konfiguraciji. Predložena rešenja odlikuju se jako malom potrošnjom, koja je posledica prekidačke pobude, kao i prekidačke povratne sprege kod senzora sa zatvorenim povratnom spregom, što sve realizacije čini pogodnim za implementaciju u integrisanoj tehnologiji.

Područja primena i ograničenja

Primena ovih senzora je moguća u svim uređajima gde je potrebno galvanski izolovano precizno i u širokom mernom opsegu izmeriti jednosmernu i naizmeničnu struju niske učestanosti. Ograničenja su povezana sa potencijalnom razlikom primarne i sekundarne strane i probojnim naponom međuizolacije. Opseg merenja sa donje strane je određen minimalnom vrednošću magnetskog polja koje stvara merena struja, dok je sa gornje strane ograničeno disipacijom u kolu.

Sa većim prenosnim odnosima transformatora, gornja granica merenja struje je ograničena na struje reda hiljadu ampera.

Moguća dalja istraživanja

Procena je da dalja istraživanja u ovoj oblasti mogu da idu u dva pravca. Prvi je proširenje propusnog opsega i smanjenje generisanih smetnji u cilju merenja promenljivih struja što veće učestanosti. Drugi je u realizaciji inteligentnog integrisanog samooscilujućeg *fluxgate* strujnog senzora sa malom potrošnjom i baterijskim napajanjem. Tokom izrade teze, dobijeni su početni ohrabrujući rezultati za oba pravca daljeg istraživanja.

Predlog Komisije Nastavno-naučnom veću

Na osnovu svega izloženog, Komisija smatra da je Mr Radivoje M. Đurić u svojoj doktorskoj disertaciji dao originalne naučne doprinose analizi i projektovanju samooscilujućih *fluxgate* strujnih transformatora. Kako su ispunjeni svi formalni uslovi, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da prihvati doktorsku disertaciju i kandidatu odobri usmenu javnu odbranu.

Beograd, 12. 02. 2010. godine

Članovi Komisije,

dr Milan Ponjavić, docent

dr Lazar Saranovac, docent

dr Žarko Janda, naučni saradnik

dr Vujo Drndarević, redovni profesor

dr Jovan Cvetić, vanredni profesor