

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 741. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 27. 12. 2011. godine određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije M.Sc. Popov Nikole, pod naslovom „Određivanje temperature i otpornosti namotaja rotora asinhronne mašine na osnovu analize statorskih napona i struja“. Nakon pregleda dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

Kandidat Nikola Popov rođen je 24.08.1984. godine u Beogradu gde je završio osnovnu i srednju školu. Elektrotehnički fakultet upisao je 2003 godine gde je i diplomirao na Odseku za energetiku 2008. godine sa prosečnom ocenom 9,04. Master studije na Elektrotehničkom fakultetu upisao je 2008 godine a završio 2010 godine sa prosečnom ocenom 9,67. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu upisao je 2010 godine. Od marta 2009. godine zaposlen je na Elektrotehničkom fakultetu kao saradnik za nastavu a nakon upisanih doktorskih studija je u zvanju asistenta. Angažovan je na Katedri za Energetske pretarače i pogone u nastavnom procesu kao i na nekoliko projekata.

Master studije završio je radom sa naslovom „Procena temperature rotora asinhronog motora analizom spektra napona i struja“. Nakon odbranjenog rada kandidat je nastavio da radi istraživanje i naučni rad u ovoj oblasti. Objavio je nekoliko radova u domaćim časopisima i konferencijama. Kandidat je u završnoj fazi pripreme rada za međunarodni časopis.

Na osnovu navedenih podataka Komisija je zaključila da je kandidat Nikola Popov pogodan za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet naučne rasprave u okviru disertacije je ocena temperature rotorskog namotaja asinhronne mašine i rotorske otpornosti u toku rada. Analiziraju se asinhronne mašine sa kratko spojenim rotorom napajane iz energetske pretvarača sa širinskom modulacijom, sa ciljem da se predloži novi neinvazivni metod zasnovan na merenju raspoloživih napona i struja statora, koji bi sa velikom tačnošću pratio promene temperature tokom rada asinhronne mašine. Robusna ocena temperature rotora ne može biti zasnovana na zamenskom kolu za ustaljena stanja stoga što se parametri ovakvog kola menjaju sa temperaturom i učestanošću. Premda bi ocena temperature bila značajno olakšana upotrebom termičkog modela mašine, promene u termičkim otpornostima usled stalnih promena u uslovima za odvođenje toplote čine termički model manje pouzdanim i mogu dovesti do grešaka u oceni temperature. Robusna ocena temperature se može ostvariti injekcijom test signala, ali su loše strane perturbacije pojava valovitosti momenta što nije prihvatljivo u većini primena.

Jedna od polaznih hipoteza u okviru predložene disertacije je mogućnost korišćenja inherentne valovitosti napona i struja statora koje nastaju usled napajanja asinhronne mašine iz energetske pretvarača sa širinskom modulacijom. Učestanost komutacija snažnih poluprovodničkih prekidača u energetskim pretvaračima za napajanje električnih mašina najčešće se kreće od 5 kHz do 20 kHz. Naponi statorskog namotaja uzimaju oblik povorke impulsa promenljive širine. Posledica toga je da statorske struje imaju valovitost na učestanosti komutacija. Valovitost struje je relativno mala, reda veličine 5%. Postoje

indicije da se harmonijske komponente struja i napona na učestanosti komutacija mogu koristiti kao inherentni test signal koji je prisutan u svim asinhronim mašinama koje se napajaju iz energetskih pretvarača. Spektar struja i spektar napona u takvim slučajevima sadrže komponentu na učestanosti komutacija, ali i bočne komponente koje nastaju kroz interakciju komutacione učestanosti pretvarača, osnovne učestanosti statorskih struja, žlebnih harmonika i drugih harmonijskih komponenti. Obradom podataka može se doći do ocene impedanse motora na komutacionoj učestanosti. Budući da impedansa motora obuhvata i temperaturno zavisne otpornosti statora i rotora, postoji mogućnost da se na opisani način dobiju podaci o relevantnim temperaturama. Naznačeni metod bi omogućio ocenu temperature bez oslanjanja na parametre mašine, bez potrebe za termičkim modelom i bez dodavanja test signala u statorske struje i napone.

3. Metodologija

U prvom delu rada će biti izvršena klasifikacija i komparativna analiza postojećih algoritama za ocenu temperature rotorskog namotaja asinhronih mašina. Zatim će biti predstavljene polazne hipoteze i sprovedena analiza temperaturnih promena ulazne impedanse asinhronne mašine u oblasti učestanosti komutacija pretvarača. Na osnovu teorijskih razmatranja i analize biće razvijen novi model koji omogućuje ocenu uticaja karakteristika magnetskog i strujnog kola mašine na zastupljenost statorskih i rotorskih otpornosti u aktivnom delu impedanse. Sprovešće se komparativna analiza raspoloživih tehnika širinske modulacije u različitim radnim režimima radi ocene energije u spektru napona i procene opravdanosti korišćenja efekata širinske modulacije kao inherentne perturbacije u procesu ocene temperature. Zasebna analiza će sumirati greške u akviziciji signala struja i napona. Utvrdiće se iznos i efekti faznog zaostajanja i transportnih kašnjenja na ocenu impedanse u zoni komutacione učestanosti. Na osnovu teorijskih razmatranja i karakteristika realnih sistema biće predložen novi algoritam za ocenu temperature i otpornosti rotora, robustan u odnosu na promene kašnjenja i faznog zaostajanja signala kao i na promene radnog režima i parametara motora.

Verifikacija teorijskih razmatranja i predloženog neinvazivnog metoda za praćenje promena temperature rotora biće obavljena eksperimentalno, korišćenjem eksperimentalne postavke sa digitalno upravljanim asinhronim motorom koji se napaja iz trofaznog tranzistorskog invertora sa širinskom modulacijom. Budući da se širinski modulirani impulsi napona koriste kao inherentna perturbacija u algoritmu za ocenu temperature, eksperimentalna verifikacija će biti obavljena za sve tehnike širinske modulacije koje ispoljavaju karakteristične razlike u spektralnom sastavu u zoni komutacione učestanosti. Verifikacija će uključiti i dosadašnja rešenja koja su opisana u referentnoj literaturi da bi se na uniforman način ocenile prednosti predloženog rešenja u svim karakterističnim primenama.

U okviru predmetne oblasti postoji obimna literatura koja će se koristiti u svim segmentima ovog rada. U sledećim radovima se analizira asinhrona mašina u oblasti komutacionih učestanosti i predlaže se ekvivalentan model:

1. Behrooz Mirafzal, G. L. Skibinski, R. M. Tallam, D. W. Schlegel, R. A. Lukaszewski, „Universal Induction Motor Model With Low-to-High Frequency-Response Characteristic“, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 43, No. 5, 2007
2. Omar M. O. Gatous, J. Pissolato Filho, „A New Formulation for Skin-effect Resistance and Internal Inductance Frequency-Dependent of a Solid Cylindrical Conductor“, IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition 2004.

U oblasti određivanja temperature u literaturi se javljaju radovi koji proučavaju estimaciju temperature na bazi injektovanjem test signala, analizom spektra struje u oblasti osnovnog harmonika ili korišćenjem termičkog modela motora. Značajniji radovi iz oblasti su:

3. C. Kral, T. G. Habetler, R. G. Harley, F. Pirket, G. Pascoli, H. Oberguggenberger, C. J. M. Fenz, "Rotor Temperature Estimation of Squirrel Cage Induction Motor by Means of a Combined Scheme of Parameter Estimation and a Thermal Equivalent Model", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, No. 4, 2004
4. F. Briz, M. W. Degner, J. M. Guerrero, A. B. Diez, "Temperature Estimation in Inverter Fed Machine Using High Frequency Carrier Signal Injection", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 44, No. 3, 2008,
5. Kyung-Rae Cho, Jul-Ki Seok, "Induction Motor Rotor Temperature Estimation Based on a High-Frequency Model of a Rotor Bar", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 4, 2009
6. Zhi Gao, T. G. Habetler, R. G. Harley, Roy S. Colby, "A Sensorless Rotor Temperature Estimation for Induction Machines Based on a Current Harmonic Spectral Estimation Scheme", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 1, 2008
7. Ying Wu, Hongwei Gao, „Induction Motor Stator and Rotor Winding Temperature Estimation Using Signal Injection Method“, IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 42, No. 4, 2006
8. R. Beguenane, M. E. H. Benbouzid, „Induction Motors Thermal Monitoring by Means of Rotor Resistance Identification“, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, 1999

4. Naučne metode istraživanja

Metodologija istraživanja predložene doktorske disertacije uključuje:

- Pregled postojećih rezultata u oblasti i analizu literature koja pokriva oblast beskontaktnog određivanja temperature asinhronih mašina
- Analiza temperaturnih promena ulazne impedanse asinhronih mašina u oblasti učestanosti komutacija
- Razvoj analitičkog modela magnetskog i strujnog kola u zoni komutacione učestanosti radi ocene udela statoske i rotorske otpornosti u aktivnom delu impedanse
- Analiza energije pobude koju u zoni komutacionih učestanosti unose najčešće korišćene tehnike širinske modulacije
- Predlog novog metoda za robusnu ocenu temperature rotora asinhronih mašina.

5. Očekivani naučni doprinos

Naučni doprinosi koji se očekuju kao rezultat ove doktorske disertacije su:

- Teorijska razmatranja prelaznih pojava u asinhronim mašinama i razvoj modela koji predstavlja karakteristike strujnih i magnetskih kola u zoni komutacione učestanosti i omogućuje određivanje frekvencijski i temperaturno zavisne ulazne impedanse.
- Analiza promena ulazne impedanse u zoni komutacione učestanosti usled varijacija temperature i projektovanje algoritma za izdvajanje statoskog i rotorskog dela aktivne komponente.

- Razvoj metoda za ocenu verodostojnosti podatka o aktivnom delu impedanse u uslovima promene radnog režima i promena energije pobude koje širinski modulirani energetski pretvarač unosi u sistem.
- Projektovanje algoritma za beskontaktnu ocenu temperature i otpornosti rotora koji ne zahteva korišćenje test signala i koji je otporan na promene radnog režima i parametara mašine.

6. Zaključak i predlog

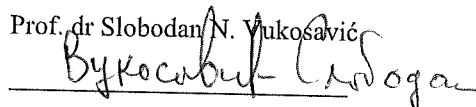
Na osnovu svega izloženog, Komisija smatra da kandidat Nikola Popov ispunjava sve formalne i suštinske uslove da pristupi izradi doktorske disertacije. Očekivani rezultati imaju značajan doprinos u oblasti estimacije temperature asinhronih mašina, u zaštiti asinhronih mašina kao i u oblasti upravljanja koje se oslanja na poznavanje parametara rotora. Stoga Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da kandidatu M.Sc. Popov Nikoli odobri izradu doktorske disertacije pod naslovom „Određivanje temperature i otpornosti namotaja rotora asinhronih mašina na osnovu analize statorskih napona i struja“.

Beograd

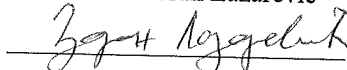
14. 03. 2012. godine

Članovi komisije

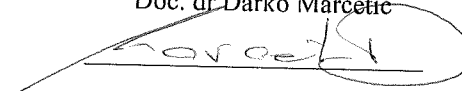
Prof. dr Slobodan N. Vukosavić



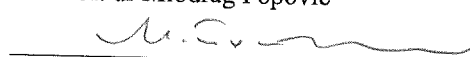
Prof. dr Zoran Lazarević



Doc. dr Darko Marčetić



Prof. dr Miodrag Popović



Prof. dr Željko Đurović

