

KOMISIJI ZA STUDIJE II STEPENA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za studije II stepena, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, na svojoj sednici održanoj 09.07.2013. godine imenovalo nas je u Komisiju za pregled i ocenu master rada dipl. inž. Spasoja Mirića pod naslovom „Analiza ponašanja elektromotornog pogona centrifugalne pumpe pomoću laboratorijskog simulatora opterećenja”. Nakon pregleda materijala Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci kandidata

Spasoje M. Mirić je rođen 29.09.1989. godine u Beogradu. Srednju Tehničku školu je završio u Lazarevcu sa odličnim uspehom. U trećoj godini srednje škole iz predmeta Energetska elektronika je osvojio prvo mesto na republičkom takmičenju. Elektrotehnički fakultet je upisao 2008. godine, od druge godine na odseku za Energetiku. Najbolji je student u generaciji iz glavnih predmeta na prvoj godini Osnovi elektrotehnike 1 i Osnovi elektrotehnike 2. Od druge godine je demonstrator na predmetima Laboratorijske vežbe iz OET-a, OET1 i OET2. Na Elektrijadi 2011. godine je bio član ekipe iz Električnih mašina i u pojedinačnom plasmanu je osvojio 3. mesto. Nosilac je Dositejeve stipendije iz fonda Republike Srbije za mlade talente. Kao najbolji student na grupi predmeta iz elektromotornih pogona (Elektromotorni pogoni, Regulacija elektromotornih pogona, Višemotorni pogoni i Odabrana poglavlja iz elektromotornih pogona) je nagrađen 15. septembra 2012. godine nagradom koju je dodelila firma ABB. Diplomirao je u septembru 2012. godine sa prosečnom ocenom na ispitima 9.62, na diplomskom 10. Master studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je upisao oktobra 2012. godine na odseku za energetiku. Položio je sve ispite sa prosečnom ocenom 10.

2. Opis master rada

Master rad kandidata sadrži 70 strana teksta, zajedno sa slikama i dodacima. Rad sadrži 6 poglavlja i spisak literature. Spisak literature sadrži 9 referenci.

Prvo poglavlje predstavlja uvod u kome su opisani predmet, cilj i metode rada. Obrazložena je važnost proučavanja pumpnih sistema sa regulacijom protoka promenom brzine obrtanja pumpe sa aspekta povećanja energetske efikasnosti ovih sistema. U skladu sa tim, razmatrani su pogoni pumpi sa frekventnim pretvaračima, a akcenat je postavljen na analizu rada upravljačkih komponenti elektromotornih pogona, kao i na analizu rada celokupnih elektromotornih pogona pre implementacije u industrijsku aplikaciju ili proces, što je ujedno i predmet ovog master rada. Utvrđeno je da su u tom smislu, u toku protekle decenije, HIL (hardware-in-the-loop) simulacije postale napredno sredstvo za ispitivanje, kroz detaljnu analiza literature navedene na kraju rada. Predstavljene su najčešće korišćene metode za nadgledanje i analizu rada pogona centrifugalne pumpe i objašnjene prednosti korišćenja laboratorijskog simulatora u odnosu na laboratorijski model.

U drugom poglavlju su prikazane mogućnosti HIL (hardware-in-the-loop) sistema. Identifikovani su različiti nivoi ovakvih analiza: analiza ponašanja na nivou signala (engl. Controller in the Loop), analiza ponašanja na nivou energetske pretvarača (engl. Converter in the Loop) i analiza ponašanja na mehaničkom nivou (engl. Drive in the Loop). Dat je detaljan opis opreme koja je korišćena za realizaciju laboratorijskog simulatora na primeru centrifugalne pumpe i razrađena metoda ispitivanja regulisanog pogona centrifugalne pumpe.

Treće poglavlje se bavi elektromotornim pogonom centrifugalne pumpe kroz jednačine, karakteristike, analizu stepena korisnog dejstva i mogućnosti za uštedu električne energije u brzinski regulisanom pogonu centrifugalne pumpe sa asinhronim motorom napajanim iz frekventnog pretvarača.

U četvrtom poglavlju je obrađena način realizacije elektromotornog pogona centrifugalne pumpe pomoću laboratorijskog simulatora opterećenja. Dat je detaljan opis algoritma sa implementacijom.

Rezultati snimljeni na laboratorijskom simulatoru opterećenja (Drive-in-the-Loop, DIL), koji je realizovan u Laboratoriji za elektromotorne pogone Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, kao i rezultati snimljeni na realnom pogonu pumpe na terenu, prikazani su u petom poglavlju. U oba slučaja su ispitivane karakteristike sistema i karakteristike pumpe, za zadate parametre sistema i otvorenost ventila pri regulaciji brzine, i to za dve vrste sistema: za sistem sa gravitacionom komponentom pritiska i sistem bez gravitacione komponente pritiska. Na oba sistema je dodatno ostvarena regulacija pritiska, što je iziskivalo da za pogon realne pumpe bude upotrebljen davač pritiska. Na osnovu prikazanog, izvršena je verifikacija rezultata dobijenih u DIL simulatoru podacima dobijenim u eksperimentu sa realnom pumpom.

Šesto poglavlje predstavlja zaključak u okviru koga je na osnovu analize rezultata prikazanih u radu obrazložen značaj i prednosti primenjene metode u ispitivanju rada elektromotornih pogona, pre implementacije u industrijsku aplikaciju ili proces. Istaknute su mogućnosti za nadgledanje radne tačke pumpe i uštedu električne energije. Date su smernice za dalji rad koje se odnose na korišćenje karakteristika pumpe za procenu protoka (rad bez davača protoka).

3. Analiza rada sa ključnim rezultatima

U master radu dipl. inž. Spasoja Mirića prikazani su rezultati ostvareni na laboratorijskom simulatoru opterećenja (Drive-in-the-Loop, DIL), kao i rezultati snimljeni na realnom pogonu pumpe. Ispitivanje je sprovedeno za regulisani pogon centrifugalne pumpe sa asinhronim motorom napajanim iz frekventnog pretvarača. Upravljanje ovim pogonom realizovano je pomoću tastera, prekidača i potenciometra na upravljačkom pultu, a praćenje rada pogona vrši se pomoću PLC-a, koji sa frekventnim pretvaračem komunicira preko PROFIBUS protokola. Da bi se ostvarilo opterećenje ovog pogona upotrebljen je jednosmerni motor odgovarajuće snage. Jednosmerni motor se napaja iz četvoro-kvadratnog tiristorskog ispravljača, koji je upravljao po momentu. Pomenuti PLC koristi se za upravljanje ispravljačem. Frekventni pretvarač i tiristorski ispravljač su savremeni industrijski uređaji visoke tehnologije, u koje su integrisani i odgovarajući regulatori momenta i brzine, odnosno procesne veličine (pritiska). Korišćenjem opisane opreme stvoreni su uslovi za analizu rada i istraživanje upravljanja pogonom centrifugalne pumpe kao u realnim uslovima rada, sa tim što ne postoje ograničenja u pogledu vremena i načina sprovođenja testova.

Važnost u proučavanju pumpnih sistema leži u činjenici da 22% od ukupne energije koja se koristi u pogonima se troši na pogon pumpi, od čega su 73% centrifugalne pumpe. Regulacija protoka promenom brzine obrtanja pumpe uvek je efikasnija od bajpas regulacije ili regulacije prigušenjem ventila, što je dovelo do povećanja upotrebe energetskih pretvarača u pumpnim sistemima, kao investicije koja se isplati kroz uštedu energije. Stvorene su potrebe i nova polja za istraživanje pumpi sa promenljivim brojem obrtaja, kako bi se uštedelo što više energije. Javljaju se nova radna stanja koja se ranije nisu javljala u pogonima sa pumpama koje nisu imale mogućnosti regulacije brzine.

Osnovni doprinosi radu su:

- a) razvijen je i implementiran softver uz pomoć koga se simulira rad centrifugalne pumpe na laboratorijskom simulatoru,
- b) izvršena su merenja na laboratorijskom simulatoru opterećenja u uslovima koji najpribližnije odgovaraju realnim uslovima u postrojenju sa centrifugalnom pumpom,
- c) na realizovanom pogonu sa realnom centrifugalnom pumpom na terenu izvršena su testiranja u skladu sa sprovedenim u laboratorijskim uslovima,
- d) izvršena je verifikacija rezultata dobijenih u DIL laboratorijskom simulatoru podacima dobijenim u eksperimentu sa realnom pumpom,
- e) predložene su mogućnosti za dalji nastavak rada na razvijenom laboratorijskom simulatoru opterećenja na primeru centrifugalne pumpe.

4. Zaključak i predlog

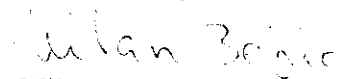
Kandidat Spasoje Mirić je u svom master radu detaljno analizirao i obrazložio naprednu i aktuelnu metodu za analizu rada elektromotornih pogona pre implementacije u industrijsku aplikaciju ili proces. Uspešno je razvio i realizovao laboratorijski simulator opterećenja na primeru centrifugalne pumpe. Izvršio je merenja u laboratorijskim uslovima, kao i u uslovima na terenu, na osnovu kojih je verifikovao razvijeni model. Predložio je mogućnosti za dalji nastavak rada u datoj oblasti.

Kandidat je iskazao samostalnost, sistematičnost i inventivnost u rešavanju problematike izložene u ovom radu, kako sa aspekta teorijske analize, tako i sa aspekta praktične realizacije.

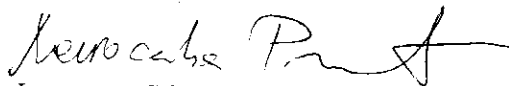
Na osnovu gore navedenog, Komisija za pregled i ocenu master rada Spasoja Mirića predlaže Komisiji za studije II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da prihvati rad „Analiza ponašanja elektromotornog pogona centrifugalne pumpe pomoću laboratorijskog simulatora opterećenja” dipl. inž. Spasoja Mirića kao master rad i odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 19.08.2013. god.

Članovi komisije:



dr Milan Bebić, doc.



dr Leosava Ristić, doc.