

KOMISIJI ZA STUDIJE II STEPENA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za studije II stepena, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, na svojoj sednici održanoj 02.06.2015. godine imenovala nas je u Komisiju za pregled i ocenu master rada dipl. inž. Zdravka Rangelova pod naslovom „Raspodela opterećenja u višemotornom pogonu primenom internih funkcija pretvarača”. Nakon pregleda materijala Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci kandidata

Zdravko Rangelov je rođen 26. oktobra 1991. godine u Kruševcu. Osnovnu školu je završio u Trsteniku 2006. godine. 2010. je završio gimnaziju u Vrnjačkoj banji sa odličnim uspehom. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je iste godine i kasnije se opredelio za modul Energetika, smer Energetski pretvarači i pogoni. Diplomirao je oktobra 2014. godine sa prosečnom ocenom 8,14 i ocenom na diplomskom radu 10, na katedri za Energetske pretvarače i pogone, sa temom diplomskog rada „Regulisani elektromotorni pogon pumpe”. Tokom studija obavio je stručnu praksu u kompaniji “MIKA Engineering”. Master studije, na modulu Energetska efikasnost, upisao je odmah nakon diplomiranja. Tečno govori engleski jezik.

2. Opis master rada

Master rad kandidata sadrži 85 strane teksta, zajedno sa 35 slika, 2 tabele i 2 priloga. Rad sadrži 5 poglavlja i spisak literature. Spisak literature sadrži 9 referenci.

U prvom poglavlju je kandidat u okviru uvodnih razmatranja predstavio predmet, cilj i metode korišćene u okviru svog master rada. Dao je osnovne podatke o industriji aluminijuma i njenom značaju u svetu, kao i osnovni podatke o tehnološkom postupku premazivanja aluminijumskih traka bojom. Ovim su obezbeđeni uslovi da se predstavi višemotorni pogon brajdlja, koji je karakterističan za ovu vrstu industrije, a spada u grupu višemotornih pogona čija su vratila elastično povezana preko materijala koji je predmet obrade u procesu proizvodnje. Obrazložena je važnost proučavanja različitih upravljačkih struktura u cilju obezbeđenja ravnomerne raspodele opterećenja između pojedinačnih pogona u ovom višemotornom pogonu i kontrole sile u materijalu.

Na osnovu dostupnih podataka iz jedne fabrike za obradu aluminijumskih traka iz Kine je u drugom poglavlju formiran matematički model izabranog pogona brajdlja, koji se konkretno sastoji od četiri motora. Na osnovu merenja karakterističnih veličina u dužem vremenskom periodu dobijenih iz fabrike i formiranog modela, primenom metodologije opisane u ovom poglavlju, dokumentovane detaljima datim u Prilogu 1 ovog rada, određena je vrednost koeficijenta trenja.

U trećem poglavlju su prikazani najčešće primenjivani načini upravljanja višemotornim pogonima u industriji, čija su vratila elastično povezana preko materijala koji je predmet obrade. Date su osnovne karakteristike prikazanih upravljačkih struktura sa kritičkim osvrtom na prednosti i nedostatke svake od njih, a za detaljniju analizu i implementaciju na laboratorijskom modelu višemotornog pogona izabrana je upravljačka struktura za realizaciju raspodele opterećenja primenom jedne od internih funkcija pretvarača. Ova funkcija je implementirana u većini industrijskih frekventnih pretvarača i

njome se obezbeđuje korekcija referentne vrednosti za brzinu u slučaju variranja momenta opterećenja. Izabrana upravljačka struktura primenjena je na matematički model višemotornog pogona brajdlja. Simulacije koje su vršene na ovom modelu dale su očekivani dinamički odziv. Rezultati simulacija, prikazani u poglavlju, kvalitativno odgovaraju snimljenim vremenskim dijagramima za brzine i momente pojedinačnih motora u konkretnom višemotornom pogonu iz fabrike.

Hardverska i softverska struktura laboratorijskog modela višemotornog pogona su detaljno prikazane u okviru četvrtog poglavlja. Takođe su prikazana i detaljno analizirana merenja sprovedena u Laboratoriji za elektromotorne pogone. Na laboratorijskom modelu grupe koju čine dva trofazna asinhrona motora sa kaveznim rotorom i jednosmerni motor sa nezavisnom pobudom koji su spregnuti kaišnim prenosnicima, proučavani su režimi rada višemotornog pogona u različitim zadatim radnim tačkama. Za regulaciju raspodele opterećenja, koristi se dodatna tzv. „droop” funkcija u PID regulatoru brzine u frekventnim pretvaračima različitih proizvođača, iz kojih se napajaju asinhroni motori. PLC (Programmable Logic Controller), kao nadređeni sistem upravljanja prosleđuje reference pretvaračima. Za zadavanje reference, grafički prikaz i snimanje vremenskih odziva brzina i momenata asinhronih motora koristi se laboratorijski računar i Ethernet komunikacioni protokol sa PLC-om. Asinhroni motori se napajaju iz frekventnih pretvarača različitih proizvođača i koriste različite komunikacione protokole (Industrijski Ethernet i Profibus) za razmenu podataka sa PLC-om, kao nadređenim sistemom upravljanja. Dvokvadrantni jednosmerni pogon služi kao opterećenje, a sastoji se od motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom, koji se napaja iz strujno regulisanog tiristorskog ispravljača.

Peto poglavlje predstavlja zaključak u okviru koga je na osnovu analize rezultata prikazanih u radu obrazložen značaj izvršenih ispitivanja i date smernice za dalji rad.

3. Analiza rada sa ključnim rezultatima

Dipl. inž. Zdravko Rangelov je u svom master radu razvio matematički model četvoromotornog brajdlja, koji predstavlja karakteristični pogon u industriji obrade aluminijumskih traka. Radi se o višemotornom pogonu sa elastičnom mehaničkom vezom, čija su vratila povezana preko materijala koji je predmet obrade u procesu. Određena je vrednost koeficijenta trenja u konkretnom višemotornom pogonu u industriji obrade aluminijumskih traka, na osnovu analize podataka dobijenih merenjem i analize modela u stacionarnom stanju. Prikazan je dinamički odziv višemotornog pogona brajdlja sa regulacijom raspodele opterećenja koja se dobija primenom „droop” funkcija u PID regulatoru brzine u frekventnim pretvaračima. Realizovan je laboratorijski model dvomotornog pogona i primenjena navedena raspodela opterećenja. Za programiranje potrebnih funkcija u PLC-u (Siemens S7-1500), korišćen je softver TIA portal V 13. Za zadavanje reference i snimanje vremenskih odziva brzina i momenata asinhronih motora koristi se laboratorijski računar, Ethernet komunikacioni protokol sa PLC-om i modul *Trace* u okviru TIA portal V 13 softvera, dok se za grafički prikaz pomenutih vremenskih dijagrama koristi DriveWindow softver firme ABB, koji se pored ostalog koristi i za grafički prikaz veličina iz elektromotornih pogona ovog proizvođača. Jedan asinhroni motor se napajaju iz frekventnog pretvarača sa vektorskim upravljanjem, Siemens Sinamics G120, koji koristi industrijski Ethernet za komunikaciju sa PLC-om. Drugi asinhroni motor se napaja iz frekventnog pretvarača ABB ACS 800 sa primenjenim upravljačkim algoritmom za direktnu kontrolu momenta. Korišćeni frekventni pretvarači i PLC su savremeni industrijski uređaji visoke tehnologije. Da bi se ostvarilo opterećenje ovog pogona konstantnim momentom opterećenja, upotrebljen je jednosmerni motor odgovarajuće snage. Jednosmerni motor se napaja iz strujno regulisanog dvokvadratnog tiristorskog ispravljača. Rezultati snimljeni u

karakterističnim režimima rada ovog višemotornog pogona, potvrdili su očekivano ponašanje, kao i rezultate dobijene simulacijom na modelu.

Osnovni doprinosi rada su:

a) Formiran je matematički model višemotornog pogona sa elastičnom mehaničkom vezom, čija su vratila povezana preko materijala koji je predmet obrade u procesu i implementirana je regulacija raspodele opterećenja primenom interne funkcije pretvarača. Izvršena je identifikacija koeficijenta trenja na osnovu analize sprovedene za stacionarna stanja. Analiziran je dinamički odziv višemotornog pogona brajdlja sa primenjenom regulacijom raspodele opterećenja.

b) Realizovan je laboratorijski model dvomotornog pogona i primenjena regulacija raspodele opterećenja. Rezultati sprovedene analize simulacijom na modelu provereni su eksperimentalnim merenjima na laboratorijskom modelu u Laboratoriji za elektromotorne pogone. Ovim su stvoreni uslovi za nastavak rada u cilju daljih ispitivanja različitih mogućnosti upravljanja višemotornim pogonom.

d) Iz master rada Zdravka Rangelova proistekao je rad koji će biti prikazan na međunarodnoj konferenciji Energetska elektronika 2015 u Novom Sadu.

4. Zaključak i predlog


Kandidat Zdravko Rangelov je u svom master radu razvio model višemotornog pogona, karakterističnog za proizvodne linije za obradu aluminijumskih traka. Odredio je parametre razvijenog modela, korišćenjem vremenskih dijagrama karakterističnih veličina snimljenih u fabrici aluminijuma, kao i ostalih dostupnih podataka o pogonu. Simulacijama na modelu sa implementiranom regulacijom raspodele opterećenja korišćenjem „droop” funkcije u PID regulatorima brzine u frekventnim pretvaračima, dobio je dinamički odziv u skladu sa odzivom realnog pogona u karakterističnim slučajevima. Primenom ovog načina upravljanja na realizovanom laboratorijskom modelu višemotornog pogona obezbeđena je ravnomerna raspodela opterećenja između pojedinačnih pogona. Uspešno je sproveo teorijsku analizu, realizovao i izvršio merenja u laboratorijskim uslovima, na osnovu kojih je verifikovao rezultate dobijene simulacijom na modelu.

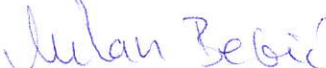
Kandidat Zdravko Rangelov je iskazao visoki stepen samostalnosti, sistematičnosti i inventivnosti u rešavanju problematike izložene u svom radu, kako sa aspekta teorijske analize, tako i sa aspekta praktične realizacije.

Na osnovu gore navedenog, Komisija za pregled i ocenu master rada Zdravka Rangelova predlaže Komisiji za studije II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da prihvati rad „Raspodela opterećenja u višemotornom pogonu primenom internih funkcija pretvarača” dipl. inž. Zdravka Rangelova kao master rad i odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 28.09.2015. god.

Članovi komisije:


dr Leposava Ristić, doc.


dr Milan Bebić, doc.