

Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду

На својој седници од 24. маја 2011. године, Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду одредило нас је за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Мр Петра Матића**, дипл. инж, под насловом “**Директно управљање асинхроним мотором у режиму слабљења поља**”. Дисертацију смо прегледали и имамо част да Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду поднесемо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

Наслов и обим дисертације. Докторска дисертација Мр Петра Матића, дипл. инж, под насловом “Директно управљање асинхроним мотором у режиму слабљења поља”, написана је на 150 страница са 60 слика, 537 нумерисаних једначина, и садржи 8 поглавља, списак од 129. библиографских референци и прилог.

Хронологија одобравања и израде дисертације. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду именovalo је комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Мр Петра Матића, под горе наведеним насловом. Позитиван извештај именоване Комисије усвојен је на 730. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета од 29.03.2011. године, а Мр Петру Матићу одобрена је израда докторске дисертације. На седници од 09.05.2011. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду такође је одобрило израду докторске дисертације. Мр Петар Матић је имао раније пријављену тему дисертације на којој је све до сада радио. Будући да кандидат није благовремено предао рад, поступак прихватања теме је морао бити поновљен. Дана 15. маја 2011. Мр Петар Матић предао је Електротехничком факултету у Београду докторску дисертацију у прописаној штампаној форми. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду, на седници од 24.05.2011. године, одредило је чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Место дисертације у одговарајућој научној области. Докторска дисертација спада у научну област електротехника – електроенергетика и представља мултидисциплинарни приступ моделирању и управљању електричним машинама и електромоторним погонима.

Биографски подаци о кандидату. Петар Матић је рођен 22.09.1974. године у Сремској Митровици. Основну школу и математичку гимназију завршио је у Бијељини. Факултет техничких наука у Новом Саду, Одсек за електротехнику и рачунарство, Смер за електроенергетику завршио је са просечном оценом од 8.10, дипломиравши 28.04.1999. године на теми: “Анализа утицаја параметара асинхроног мотора на управљање погоном са индиректним векторским управљањем без давача брзине”. Школске 1999./2000. уписан је на постдипломске студије на Факултету техничких наука у Новом Саду, Смер за електроенергетику. Положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.00, те је 08.11.2002. одбранио магистарски рад под називом “Нови алгоритам за директно управљање моментом и флуksom трофазног асинхроног мотора” под менторством проф. др Слободана Вукосавића.

Од 01.06.1999. године запослен је на Одсеку за електроенергетику Електротехничког факултета у Бањалуци у звању асистента, а од октобра 2003. године у звању вишег асистента, на групи предмета основних и постдипломских студија из области електричних машина и електромоторних погона. Од 01.10.2008. ангажован је и као сарадник у настави на предметима Електричне машине 1 и 2 на Електротехничком факултету у Источном Сарајеву.

Резултате дисертације је објавио у два рада публикована у међународним научним часописима са SCI листе. Поред тога, кандидат има и 44 рада који су публиковани у часописима ван SCI листе или у зборницима конференција.

2. Опис дисертације

Структура и садржај дисертације. Докторска дисертација Мр Петра Матића има осам поглавља и то: 1. Увод, 2. Математички модели, 3. Транзијентна карактеристика асинхроне машине у слабљењу

поља, 4. Карактеристични приступи управљања у слабљењу поља, 5. Анализа промјене момента у лимиту напона, 6. Директно управљање у слабљењу поља, 7. Експериментална верификација, и 8. Закључак. Рад садржи и списак кориштене литературе и Прилог.

Кратак приказ појединачних поглавља. У првом поглављу наведени су мотиви за истраживање, детаљно је анализирана стручна литература и идентификовани су нерешени проблеми везани за предметно истраживање. Истакнути су недостаци досадашњих резултата у управљању асинхроним мотором у режиму слабљења поља, као и смернице за развој нове структуре за директно управљање која ће да у потпуности искористи расположиве ресурсе мотора и придруженог погонског претварача. Дат је и садржај даљег излагања.

Друго поглавље дисертације бави се формирањем математичких модела асинхроног мотора и придруженог погонског претварача прилагођених директном управљању. Математички модели изведени су уз уобичајена и оправдана занемарења секундарних феномена која се користе у општој теорији електричних машина. У овом делу описан је и поступак управљања погонским претварачем заснован на методи модулације вектора напона.

Предмет трећег поглавља је анализа транзијентне моментне карактеристике асинхроне машине у режиму слабљења поља. Анализирана је могућност добијања максималног момента у зависности од карактеристика погонског претварача. Истражен је утицај струјног, напонског, те истовременог струјног и напонског лимита на максимални момент у режиму слабљења поља. Анализирана је проблематика колапса флукса ротора, која је последица напонског лимита у слабљењу поља.

У четвртном поглављу детаљно су анализирани карактеристични приступи управљања асинхроним мотором у слабљењу поља. Поглавље се састоји од четири дела. Прво је изведен општи модел векторски управљаног асинхроног мотора, на основу којег су анализирани варијанте векторског управљања према флуксу ротора и флуксу статора у слабљењу поља. Након тога је анализиран један од алгоритама директног управљања у слабљењу поља који се користи у индустрији. На крају поглавља анализа је заокружена међусобним поређењем карактеристика ова три репрезентативна постојећа концепта управљања асинхроном машином.

У петом поглављу истражена је промена момента, флуксева статора и ротора, клизања, синхроне брзине и струје у условима рада где се јавља системско ограничење напона. Изведен је израз за промену момента у датим условима током једног управљачког периода. На основу спроведене анализе, на оригиналан начин је представљена промена одговарајућих полифазора асинхроног мотора у режиму слабљења поља.

Шесто поглавље садржи синтезу оригиналне управљачке структуре за директно управљање моментом у слабљењу поља. Полазна основа за формирање структуре је захтев да се расположиви напон инвертора искористи у потпуности. Системско ограничење напона доводи до спреге флукса и момента у стационарном стању и у прелазним режимима. У посматраном случају, једина независна управљачка величина тада је оријентација вектора статорског напона. Ради формирања алгорита за директно управљање у слабљењу поља, изведен је динамички математички модел асинхроне машине у условима системског ограничења напона. Усвојена је модификација генерализованог математичког модела у синхроно ротирајућем координатном систему, те је тако модификовани модел линеаризован и добијена је одговарајућа функција преноса. На основу добијене функције преноса предложена је оригинална управљачка структура за регулацију момента у условима системског ограничења напона, а затим и поступак за одређивање параметара регулатора. Као пројектни захтеви у погледу перформанси регулатора момента усвојени су су брз апериодични одзив и нулта грешка у устаљеном стању. Перформансе предложеног регулатора момента су најпре верификоване путем рачунарских симулација. Анализиран је и утицај варијације параметара регулатора као и напона напајања. У наставку је формирана и надређена структура за управљање брзином у режиму слабљењу поља. Предложена је структура регулатора и усвојен је поступак за избор вредности параметара.

Експериментална верификација предложеног решења описана је у седмом поглављу. Анализирана је промена момента и флукса у три карактеристична радна режима, (1) одзив на скоковиту промену задатог момента при константној брзини обртања, (2) убрзање до троструке номиналне брзине уз сталну задату вредност момента и (3) рад погона са затвореном повратном спрегом по брзини. Резултати експеримента приказани су у облику осцилоскопских снимака. Они су детаљно описани и упоређени са резултатима симулација.

У осмом поглављу (Закључак) истакнути су главни доприноси појединих поглавља и докторске дисертације у целини. Такође, указано је и на могуће правце даљег развоја у разматраној области.

На крају рада налази се списак коришћене литературе, као и прилози који садрже обимније анализе и извођења која би оптеретили основни текст, податке коришћене у рачунарским симулацијама, као и технички опис реализованог прототипа.

3. Оцена дисертације

Савременост, оригиналност и значај. Дисертацијом је анализирано директно управљање моментом асинхроног мотора у савременим микропроцесорски управљаним електромоторним погонима. Сложени захтеви су инкорпорирани у оригиналну структуру за директно управљање у режиму слабљења поља. Остваривање потребног покретачког момента у режиму када делују системска ограничења је остварено на бази непосредног управљања акцелерацијом и амплитудом обртног поља у условима системског ограничења напона. Показано је да се на предложени начин остварује одзив без паразитне спреге управљачких контура, као и покретачки момент који је ограничен искључиво системским ограничењима претварача и параметрима мотора. Предложена оригинална управљачка структура укључује промену појачања у зависности од стања погона, како би се остварили захтеви за пуним искориштењем расположивих ресурса. Предложена стратегија може да нађе примену у широј инжењерској пракси.

Осврт на референтну литературу. У уводном поглављу дат је свеобухватан преглед референци везаних за релевантну проблематику. Анализиране су референце из области директне контроле момента, векторског управљања флуksom статора и ротора у слабљењу поља, као и управљања погонском претварачем у присуству лимита напона. Поглавље дисертације под називом „Карактеристични приступи управљања у слабљењу поља“ (четврто поглавље) садржи детаљну анализу постојећих приступа управљања асинхроним мотором у режиму слабљења поља. Кандидат усваја систематски хронолошки приступ приказу релевантних референци у области, почевши од фундаменталних радова у формирању области до савремених резултата. Коришћена је IEEE нотација, одакле потиче и већи део референци. Комисија је мишљења да је свако поглавље дисертације адекватно повезано са референтном литературом, која поставља оквире за лоцирање разматране и обрађиване проблематике у ужој научној области дисертације.

Анализа научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање. Разматрана проблематика директног управљања асинхроним мотором у режиму слабљења поља укључује проблем моделовања, аналитичког пројектовања управљачке структуре, као и кораке анализе и верификације предложеног решења. Кандидат даје практичан динамички модел који одражава најзначајније аспекте динамике погона који ради у условима системског ограничења напона. Управљачка структура развијена је помоћу оригиналног аналитичког приступа линеаризацији и одређивању функције преноса. Анализа остварених резултата је спроведена применом рачунарских симулација и експерименталном верификацијом на реалном прототипу. Комисија оцењује да је примењена научна методологија адекватна, као и да су анализе детаљне и да се из њих могу извести позитивни закључци о погодностима предложене структуре за директно управљање асинхроним мотором у режиму слабљења поља.

Оцена применљивости и верификације остварених резултата. Компаративна анализа укључује поређење упрошћених линеаризованих аналитичких израза са свеобухватним нелинеарним моделима начињеним на рачунару. Модели верно одсликавају понашање погона са асинхроним машином у режиму слабљења поља и системског ограничења напона. Предложено решење је верификовано експериментално на прототипу дигитално управљаног погона са асинхроним мотором. Комисија је мишљења да су резултати верификовани на адекватан начин и да се могу применити за управљање асинхроним мотором у режиму слабљењу поља уз оптимално коришћење расположивих ресурса, што представља оригиналан резултат директно примењив у индустрији.

Оцена способности кандидата за самостални научни рад. На основу прегледане докторске дисертације као и увида у два научна рада на којима је кандидат први од два аутора и која су публикована у научним часописима са импакт фактором, Комисија закључује да је Мр Петар Матић способан за самосталан научни рад.

4. Остварени научни допринос

Приказ остварених научних резултата. По мишљењу Комисије, у раду су остварени следећи научни доприноси:

- Предложено решење омогућује оптимално коришћење системских ресурса и омогућује остварење експлоатационих карактеристика погона које су ограничене искључиво системским ограничењима мотора и претварача а не управљачком структуром.
- Алгоритам је конципиран тако да се флуks у устаљеном стању али и у прелазним режимима одржава на највећој могућој вредности коју дефинише системско ограничење напона и параметри мотора. Стога преоптеретљивост погона узима највећу могућу вредност. У сваком тренутку је могуће остварити вршне вредности момента ограничене једино струјним капацитетом погонског претварача. Једновременно, умањени су губици у устаљеном стању јер се моменат може остварити са мањом јачином струје.
- Предложени алгоритам за аутоматско усклађивање параметара регулације радном режиму погона омогућује очување брзог одзива момента без пребачаја.
- Предложено решење је примењено у системима са линеарном простопериодичном ширинском модулацијом у погонском претварачу, али се може користити и у случајевима када се модулација доводи у режим засићења, где се остварује већа основна вредност напона али и хармонијска изобличења.

Критичка анализа резултата истраживања. Анализом расположиве литературе утврђено је да постојећи алгоритми за управљање асинхроним мотором не остварују задовољавајуће перформансе у режиму слабљења поља. Утврђено је да досада предложена решења раде у режиму слабљења поља са флуksом који је мањи од вредности која би се могла достићи у условима задатих системских ограничења. Кандидат предлаже решење које омогућује оптимално коришћење системских ресурса и остварење експлоатационих карактеристика погона ограничених искључиво системским ограничењима мотора и претварача а не управљачком структуром. Квалитет динамичког одзива погона са предложеном структуром одржава се аутоматским усклађивањем параметара регулације радном режиму погона. Алгоритам измене појачања је оригиналан, а добијени резултати представљају допринос који до сада није био доступан. У раду је доказано да примена предложеног решења омогућује оптимално коришћење расположивих ресурса и развијање највећих могућих вредности момента, брзине и снаге у условима датих системских ограничења. У погледу динамичког одзива, предложено је решење за аутоматску измену појачања које даје задовољавајућу брзину и квалитет одзива. Не постоји основ за закључак да је остварен најбржи могући апериодични одзив у свим режимима, тако да у овом погледу постоји простор за даљи рад.

Очекивана примена резултата у пракси.

Предложено решење ствара могућност за оптимално коришћење погона са асинхроним мотором у режиму слабљења поља. Решење је верификовано експериментално на прототипу дигитално управљаног погона са асинхроним мотором. Комисија је мишљења да су резултати верификовани на адекватан начин и да се могу применити за управљање асинхроним мотором у режиму слабљењу поља уз оптимално коришћење расположивих ресурса, што је резултат директно примењив у индустрији.

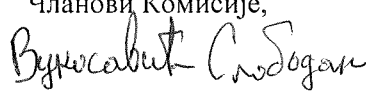
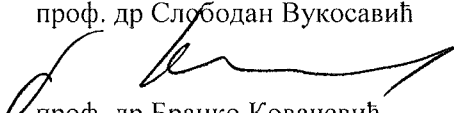
Верификација научних доприноса саопштавањем радова на конференцијама и објављивањем у часописима. Оригинални научни доприноси кандидата у вези са докторском дисертацијом, објављени су у 16 релевантних радова на којима је кандидат наведен као први аутор. Од тога је један рад прихваћен за публикавање у међународном часопису *IET Electrical Power Applications* са SCI листе (публиковано *on-line*, IET Electr. Power Appl. May 2011 Volume 5, Issue 5, p.404–414), други рад је публикован у међународном часопису *Advances in Electrical and Computer Engineering* са Expanded SCI листе, четири рада су публикована у часописима од националног интереса, три рада су саопштена на иностраним конференцијама са међународном рецензијом, а седам радова је саопштено на домаћим конференцијама.

5. Закључак и предлог

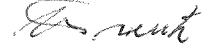
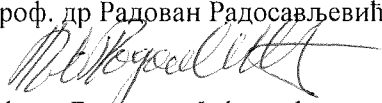
Кратак осврт на дисертацију у целини, на научне доприносе конкретној научној области и методологији, на примену у пракси и способности кандидата. Докторска дисертација Мр Петра Матића под насловом “Директно управљање асинхроним мотором у режиму слабљења поља”, садржи више оригиналних научних доприноса у области моделовања, анализе и пројектовања управљачких структура примењених на рад асинхроног мотора у режиму слабљењу поља. Кандидат је дао допринос синтезом оригиналне управљачке структуре која решава проблеме до сада предлаганих решења и омогућује да се директно управљање моментом оствари при брзинама већим од номиналне без деградације експлоатационих карактеристика. Решење је верификовано експериментално на прототипу дигитално управљаног погона са асинхроним мотором. Резултати су верификовани на адекватан начин и могу се применити за управљање асинхроним мотором у режиму слабљењу поља уз оптимално коришћење расположивих ресурса, што је резултат директно примењив у индустрији. Резултати истраживања из области дисертације објављени су у већем броју радова у међународним и домаћим часописима, од чега су два рада у часописима са SCI листе. Анализа докторске дисертације и објављених радова указује на задовољавајућу способност кандидата за самосталан научни рад, као и на могућност директне примене резултата његових истраживања у пракси.

Предлог Комисије Наставно-научном већу. На основу свега изложеног, Комисија сматра да је Мр Петар Матић у својој докторској дисертацији дао оригиналне научне доприносе анализи, пројектовању и реализацији структуре за директно управљање асинхроним мотором у режиму слабљења поља. Како су испуњени сви формални услови, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да прихвати докторску дисертацију и кандидату одобри усмену јавну одбрану.

Београд, 03.06.2011. године

Чланови Комисије,

проф. др Слободан Вукосавић

проф. др Бранко Ковачевић

проф. др Милорад Божић
(Електротехнички факултет, Бањалука)


в. проф. др Радован Радосављевић

проф. др Борислав Јевтенић
