

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовео комисију
26.10.2016. Наставно-научно веће Факултета техничких наука
2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:
 1. **др Владимир Катић**, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони и ОИЕЕ, изабран у звање 30.10.2002. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 2. **др Ђура Орос**, ванредни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони и ОИЕЕ, изабран у звање 30.12.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 3. **др Милан Рапаић**, ванредни професор, уно Аутоматика и управљање системима, изабран у звање 04.04.2016. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 4. **др Петар Матић**, доцент, уно Електроенергетика, изабран у звање 01.03.2012. године, Електротехнички факултет, Универзитет у Бања Луци
 5. **др Дарко Марчетић**, ванредни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони и ОИЕЕ, изабран у звање 23.02.2012. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Марко, Александар, Гецић
2. Датум рођења, општина, држава:
27.10.1987., Кикинда, Република Србија
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив
Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
2011. Енергетика, електроника и телекомуникације
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
нема
6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
Нема

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Енергетски ефикасно дигитално управљање синхроним мотором са сталним магнетима при великим брзинама обртања
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл. Докторска дисертација написана је на 135 страна. Садржи 8 поглавља, 6 табела, 92 слике и 152 навода из литературе. Кључна документација написана је на српском и енглеском језику. Дисертација садржи следећа поглавља: 1. Увод 2. Електрични погон синхроног мотора са сталним магнетима на ротору 3. Моделовање губитака у електричном погону синхроног мотора са сталним магнетима 4. Алгоритам за енергетски ефикасно дигитално управљање синхроним мотором са сталним магнетима 5. Опис прототипа и експериментални резултати 6. Закључак 7. Литература 8. Прилози
V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Предмет научне расправе у овом раду је унапређење векторског управљања синхроним мотором са сталним магнетима на ротору у широком опсегу брзина обртања, у смислу повећања енергетске ефикасности. У раду је предложена шема са оригиналном модификацијом стандардног решења векторски управљаног погона, погодна за наведену примену. Приликом модификације шеме управљања у обзир су узете и промене параметара синхроног мотора у току рада, тачније промене индуктивности са оптерећењем, као и промена отпорности којом је моделована промена губитака у гвожђу са брзином. Путем рачунарских симулација и експерименталним резултатима над изабраним прототипом мотора је показано да је коришћењем предложене шеме могуће постићи ефикасније управљање синхроним мотором у широком опсегу брзина обртања. Такође, показано је да се иста шема уз минималну модификацију може применити и код других типова мотора као што су асинхронни мотор и синхронни релуктантни мотор. Спроведена аналитичка израчунавања, рачунарске симулације и експериментални резултати показују стабилан рад наведеног погона чак и дубоко у слабљењу поља, на граници напонских и струјних могућности инвертора. Рад се састоји од осам поглавља. У уводном поглављу укратко је описана мотивација за тему истраживања докторске дисертације, циљ истраживања и хипотеза. Такође, представљено је стање у области истраживања. У другом поглављу приказан је математички модел синхроног мотора у три различита координатна система, уз дефинисање концепта комплексног просторног вектора. Укратко су приказане основе векторског управљања синхроним мотором са сталним магнетима, структура и подешавање параметара струјног и брзинског регулатора. Такође, представљена је стандардна шема управљања синхроним мотором и шема којом се остварује потребан момент уз минималну струју статора. У трећем поглављу анализирани су губици снаге у електромоторном погону. Претходно изведен математички модел синхроног мотора са сталним магнетима проширен је тако да се уваже губици у гвожђу. Моделовани су кондукциони губици у исправљачу, као и кондукциони и комутациони губици у инвертору. Анализирани су могућности минимизације губитака у погонима са синхроним моторима са сталним магнетима. У четвртном поглављу рада предложена је оригинална шема управљања погодна за рад синхроне

машине са и без давача положаја у широком опсегу брзина. У датој шеми јасно је назначена оригинална модификација конвенционалне шеме управљања. Представљен је алгоритам погодан за генерисање референтних вредности компоненти вектора струје статора којим се постиже ефикасније управљање у односу на конвенционално. За оптимизацију укупних контролабилних губитака користи се алгоритам роја честица. Приликом генерисања оптималних компоненти вектора струје статора узета су у обзир напонска и струјна ограничења инвертора. Приказани су резултати оптимизације губитака погона са синхроним мотором, а затим су упоређени са конвенционалним методом управљања. Показано је да се уз минималне измене алгоритам роја честица може употребити за оптимизацију контролабилних губитака у погону са другим типовима мотора наизменичне струје као што су асинхрони мотори и синхрони релуктантни мотори.

У петом поглављу приказани су експериментални резултати којима је верификован предложени алгоритам за енергетски ефикасно управљање синхроним мотором у широком опсегу брзина обртања. Ово поглавље је подељено у више целина. Прво је дат детаљан опис експерименталне опреме, а затим детаљно описан блок дијаграм алгоритма управљања којим се остварује предложено ефикасно управљање погоном. Затим су представљени експериментални резултати подешености струјних и брзинског регулатора. Коначно, доказана је увећана енергетска ефикасност рада погона са предложеном шемом управљања у односу на класичну шему, поготово у области слабљења поља.

Шесто поглавље представља закључно поглавље тезе. Резимира се теза, представља даљи рад омогућен овим истраживањем и износи могућности примене резултата истраживања.

Седмо поглавље садржи списак коришћене стручне литературе, која је савремена и правилно одабрана према захтевима разматране теме.

На крају рада, у Прилогу дат је опис коришћених метода за одређивање параметара синхроног мотора са сталним магнетима, као и списак параметара мотора коришћеног приликом експеримената.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

M21 – Рад у врхунском међународном часопису

1. Marcetic, D.P.; Krčmar, I.R.; **Gecic, M.A.**; Matic, P.R., "Discrete Rotor Flux and Speed Estimators for High-Speed Shaft-Sensorless IM Drives," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.61, no.6, pp. 3099 - 3108, June 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2258311
2. Matic, P.R.; **Gecic, M.A.**; Lekic, M. Dj.; Marcetic, D.P., "Thermal Protection of Vector Controlled IM Drive Based on DC Current Injection," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.62, no.4, pp. 2082-2089, April 2015, doi: 10.1109/TIE.2014.2354015

M23 – Рад у међународном часопису

1. **M. Gecic**, M. Kapetina, D. Marcetic, "Energy Efficient Control of High Speed IPMSM Drives - A Generalized PSO Approach," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol.16, no.1, pp.27-34, 2016, doi:10.4316/AECE.2016.01004

M24 – Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком

1. **Gecić M.**, Marčetić D., Vasić V., Krčmar I., Matić P, "Towards an Improved Energy Efficiency of the Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Drives," *Serbian Journal of electrical engineering*, vol.11, no.2, 2014, 257-268, DOI: 10.2298/SJEE131227021G

M33 – Саопштење са међународног скупа штампаног у целини

1. **Gecić M.**, Oros Đ., Marčetić D., Božić M., Varga R., "Performance Evaluation of HF Test Signal Based Sensorless Method for IPMSM in the Presence of Cross-Coupling Inductance," " 9. INDEL, Banja Luka, 1-3 Novembar, 2012, pp 76-80, ISBN 978-99955-46-14-4
2. **Gecić M.**, Matić P., Katić V., Krčmar I., Marčetić D., Cvetičanin S., "Evaluation of Energy

- Efficiency of HighSpeed PMSM Drives," 17th International Symposium on Power Electronics – Ee 2013, Novi Sad, Serbia, October 30th- November 1st, 2013
3. **Gecić M.**, Kapetina M., Popović V., Marčetić D., "Particle Swarm Optimization Based Energy Efficiency Method for High Speed IPMSM Drives, " 10. INDEL, Banja Luka, 6-8 Novembar, 2014
 4. Jerkan D., **Gecić M.**, Marčetić D., "IPMSM Inductances Calculation Using FEA, " 10. INDEL, Banja Luka, 6-8 Novembar, 2014
 5. **Gecić M.**, Kapetina M., Popović V., Marčetić D., "Generalized PSO Based Energy Efficiency Control for High Speed IM Drives, " Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015, Silver Lake, Serbia, June 8 – 11, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6
 6. Popović V., **Gecić M.**, Oros Đ., Marčetić D., "Full order IPMSM observer using extended back-emf in stationary reference frame," 18th International Symposium on Power Electronics – Ee 2015, Novi Sad, Serbia, October 28th - October 30th, 2015
 7. Popović V., **Gecić M.**, Vasić V., Oros Đ., Marčetić D., "Evaluation of Luenberger Observer Based Sensorless Method for IM, " 10. INDEL, Banja Luka, 6-8 Novembar, 2014

M53 – Рад у научном часопису

1. Gajić N., **Gecić M.**, Marčetić D., "Vektorsko upravljanje PMSM na bazi dsPIC30f4011 sa inkrementalnim enkoderom kao senzorom pozicije," Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Edicija: Tehničke nauke – Zbornici, God. XXIX, Br.12, 2014, pp.2517-2520

M61 – Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини

1. Marčetić D., **Gecić M.**, "Pravci razvoja savremenih energetski efikasnih elektromotornih pogona namenjenih za uređaje široke potrošnje, " Naučno–stručni simpozijum Energetska efikasnost – ENEF 2015, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, 25-26 Septembar, 2015

M63 – Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

1. **Gecić M.**, Marčetić D., Vasić V., Krčmar I., Matić P, "Uvećanje efikasnosti pogona sa sinhronim motorom sa utisnutim magnetima," 57. ETRAN, Zlatibor, 03–06 Jun, 2013
2. **Gecić M.**, Marčetić D., Katić V., Matić P., "Pregled metoda za optimizaciju gubitaka sinhronih motora sa stalnim magnetima," Naučno–stručni simpozijum Energetska efikasnost – ENEF 2013, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, 22-23 Novembar, 2013
3. **Gecić M.**, Kapetina M., Popović V., Marčetić D., " Energetski efikasno upravljanje pogonom sa sinhronim reluktantnim motorom, " INFOTEH-JAHORINA, Vol 14, Mart 2016, 1047-1050, ISBN 978-99955-763-9-4
4. Popović V., **Gecić M.**, Oros Đ., Marčetić D., " Podešavanje parametara regulatora u IPMSM pogonu sa minimalnim brojem senzora korišćenjem klasičnih regulacionih metoda, " INFOTEH-JAHORINA, Vol 14, Mart 2016, 1047-1050, ISBN 978-99955-763-9-4
5. Matić P., Krčmar I., Marčetić D., **Gecić M.**, "Uticaj varijacije parametara asinhronog motora na diskretne estimatore fluksa rotora u pogonima visokih brzina, " INFOTEH-JAHORINA, Vol 12, Mart 2013, ISBN 978-99955-763-1-8
6. Marčetić D., **Gecić M.**, Matić P., "Robust online stator resistance estimation of high-speed vector controlled induction motor, " INFOTEH-JAHORINA, Vol 13, Mart 2014, 1047-1050, ISBN 978-99955-763-3-2
7. Popović V., **Gecić M.**, Oros Đ., Marčetić D., " Tehnike rekonstrukcije faznih struja u pogonu sa šantom u jednosmernom međukolu invertora, " INFOTEH-JAHORINA, Vol 13, Mart 2015, 1047-1050, ISBN 978-99955-763-6-3

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Први резултат истраживања је развој математичког модела енергетски ефикасног електромоторног погона са синхроним мотором са сталним магнетима који ради на великим брзинама обртања ротора, а уз уважавање губитака у мотору. У дисертацији је представљен модел губитака који се користи приликом избора одговарајућег начина управљања.

Показано је да се енергетски ефикаснији рад погона може остварити избором оптималног вектора струје статора за сваки пар брзине и оптерећења. Изабрани контролни алгоритам при разним брзинама и оптерећењима остварује ефикаснији рад погона у односу на постојећи стандардни алгоритам. Контролни алгоритам уважава зависност индуктивности од струје мотора, зависност отпорности којом су моделовани губици у гвожђу од брзине обртања, а такође уважава струјна и напонска ограничења инвертора.

Показано је да се уз минималне измене предложени алгоритам за енергетски ефикаснији рад погона са синхроним мотором са сталним магнетима може применити у погонима са асинхроним моторима и синхроним релуктантним моторима.

Други резултат се односи на реализацију робусног, квалитетног и енергетски ефикасног погона са синхроним мотором са сталним магнетима на ротору који ради на великим брзинама обртања. Као контролни алгоритам примењен у погону је онај који се показао као најефикаснији приликом анализе путем рачунарских симулација.

Дисертација показује оправданост наставка истраживања будући да се у будућности очекује развој дигиталних сигналних процесора који ће имати такве ресурсе да у реалном времену изврше све математичке и логичке операције које су у дисертацији урађене ван програмског кода коришћењем постојећих рачунарских софтвера.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз навођење претходних истраживачких резултата у овој области.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Да. Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Оригинални научни допринос докторске дисертације чини доказ полазне хипотезе на основу експерименталног и теоријског истраживања. На основу предложеног модела губитака представљеног у дисертацији изабран је одговарајући метод за њихову оптимизацију. Алгоритам приликом генерисања оптималног вектора струје статора уважава промену индуктивности са струјом мотора и отпорности којом су моделовани губици у гвожђу са брзином мотора. Такође, уважавају се струјна и напонска ограничења инвертора.

Резултати дисертације су објављени у међународном часопису (M23) и саопштени на међународним скуповима.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација нема битне недостатке који утичу на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

Комисија предлаже да се докторска дисертација Марка Геџића под називом “Енергетски ефикасно дигитално управљање синхроним мотором са сталним магнетима при великим брзинама обраћања” прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Владимир Катић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
председник комисије

Др Ђура Орос, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
члан комисије

Др Милан Рапаић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
члан комисије

Др Петар Матић, доцент,
Електротехнички факултет, Бања Лука,
члан комисије

Др Дарко Марчетић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.