

**НАЗИВ ФАКУЛТЕТА 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)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 2013-11-28, бр. 012-72/32-2012, Декан Факултета техничких наука</p> <p>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:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. др Веран Васић, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони, 14.04.2011, Факултет техничких наука, Нови Сад.</li> <li>2. др Мариан Греционици, ванредни професор, уно Теоријска електротехника, 05.04.2010, Универзитет „Политехника“ у Тимишвару (Universitatea „Politehnica“ din Timisoara), Румунија.</li> <li>3. др Борис Думнић, доцент, уно Енергетска електроника, машине и погони, 12.09.2013, Факултет техничких наука, Нови Сад.</li> <li>4. др Стеван Грабић, доцент, уно Енергетска електроника, машине и погони, 27.01.2012, Факултет техничких наука, Нови Сад.</li> <li>5. др Владимир Катић, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони, 30.10.2002, Факултет техничких наука, Нови Сад</li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: <b>Драган, Митар, Милићевић</b></p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 29.08.1977., Тузла, БиХ.</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Електротехника и рачунарство, Енергетика, електроника и телекомуникације, дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука, „Модулационе технике управљања шестофазним напонским инвертором за напајање асинхроних мотора са асиметрично изведеним намотајем“, Енергетска електроника и електричне машине, 04.07.2008.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Енергетска електроника и електричне машине</p>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<b>Развој напредног управљања погоном са шестофазним асиметричним асинхроним мотором</b>

#### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација је написана на укупно 237 страна организованих у 9 поглавља и садржи 106 референци, 24 табеле, 76 слика и 65 графикана.

Дисертација је подељена на 9 поглавља и то:

- 1) Увод – 19 страна,
- 2) Математички модел шестофазног асиметричног асинхроног мотора и шестофазног претварача – 31 страна,
- 3) Технике управљања шестофазним напонским инвертором у погонима са шестофазним асиметричним асинхроним машиним – 49 страна,
- 4) Векторско управљање шестофазним асиметричним асинхроним мотором – 12 страна,
- 5) Анализа рада инвертором напајане шестофазне асинхроне асиметричне кавезне машине у ситуацији квара на једној од напојних фаза – 23 стране,
- 6) Експериментални резултати – 63 стране,
- 7) Закључак – 4 стране,
- 8) Коришћена литература – 7 страна,
- 9) Прилог – 29 страна.

Садржај рада, који није третиран као поглавље, има 4 стране.

У раду је дата детаљна анализа модулационих техника управљања шестофазним напонским инвертором за напајање шестофазних асинхроних мотора са асиметрично изведеним намотајем. Представљена је комплетна анализа погонске целине шестофазни инвертор - шестофазна асиметрична машина. Аутор је детаљно објаснио до данас презентоване технике управљања шестофазним инвертором које се могу наћи у стручној и научној литератури. Свака од приказаних техника је проверена рачунарском симулациом и практичним експериментом. Знањем стеченим проучавањем техника формиран су захтеви које нова техника, развијена овим радом, мора да испуни. Приказана нова модулациона техника представља оригинални резултат рада на докторској тези. Дата су објашњења принципа рада нове модулационе технике. Истакнуте су предности које употреба технике доноси. Објашњен је и разрађен поступак имплементације технике на прикладне дигиталне сигналне процесоре. Финални доказ нове технике реализован је њеном имплементацијом у структуру векторског управљања. Аутор је обратио пажњу и на проблематику управљања инвертором у ситуацији напајања асиметричне машине са присутним кваром једне напојне фазе. У том смислу приказана је детаљна анализа целине мотор – инвертор. Сви наводи докторске тезе су верификовани експериментално на развијеном лабораторијском прототипу.

#### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Предмет научне анализе у овом раду везан је за проучавање модулационих техника управљања шестофазним напонским инвертором за напајање шестофазних асинхроних мотора са асиметрично изведеним намотајем. У раду је представљена комплетна анализа погонске целине шестофазни инвертор - шестофазна асиметрична машина. Аутор је детаљно објаснио до данас презентоване технике управљања шестофазним инвертором које се могу наћи у стручној и научној литератури. Свака од приказаних техника је проверена рачунарском симулациом и практичним експериментом.

Посебан допринос овог рада је тај што је у оквиру њега развијена нова техника импулсно ширинске модулације намењена управљању шестофазним напонским инвертором за напајање шестофазних асиметричних асинхроних машина са одвојеним звездиштима. Истовремено задовољење доброг искориштења напона једносмерног међукола и једноставне имплементације, као два битна аспекта управљања шестофазним инвертором постојећим техникама нису била решена. Модификованом стратегијом избора прекидачких стања инвертора односно напонских вектора на

излазу инвертора нова техника је симултано решила оба проблема. Верификација квалитета нове технике извршена је рачунарским симулацијама и експериментално. Експериментална верификација нове технике управљања урађена је на развијеном лабораторијском прототипу у структури скаларног и векторског управљање.

Рад се састоји од девет поглавља.

Прво поглавље је уводно и уводи нас у проблематику вишефазних електромоторних погона. Поголавље садржи преглед литературе и досадашњих резултата проучавања у овој области.

У циљу постављања критеријума за оцену исправног и квалитетног управљања шестофазним инвертором који напаја шестофазну асиметричну машину, аутор у другом делу приказује детаљан математички модел обрађиване машине. Математички модел асиметричне машине је прво дефинисан у оригиналном подручју, а поједностављена модела су спроведена применом трансформационе матрице добијене теоријом декомпозиције просторних вектора и обртне трансформације. У наставку другог дела је извршена анализа шестофазног напонског инвертора.

У трећем делу аутор рада даје преглед и детаљна објашњења принципа рада најчешће коришћених и у литератури најчешће референцираних техника управљања шестофазним напонским инверторима који се користе за напајање шестофазних асиметричних машина. Наведене су уочене предности и мане представљених техника. Свака техника управљања је детаљно теоријски анализирана. Верификација сваке од анализираних техника и рефлексција добрих и лоших страна управљања разматране су кроз развијене рачунарске симулационе моделе. Знањем стеченим проучавањем техника представљених у овом делу формиран су захтеви које нова техника, развијена овим радом, мора да испуни. Приказана нова модуларна техника представља оригинални резултат рада на докторској тези. Дата су објашњења принципа рада нове модуларне технике. Истакнуте су предности које употреба технике доноси. Објашњен је и разрађен поступак имплементације технике на прикладне дигиталне сигналне процесоре.

У четвртном поглављу је приказана реализација векторског управљања шестофазним асиметричним асинхроним мотором. Као модулатор у реализацији векторског управљања је коришћен модулатор релативан на принципима нове модуларне технике. Верификовање теоријских анализа и поставки је у овом поглављу доказано кроз рачунарске симулације.

Петом поглављу рада се бави анализом машине у ситуацији отказа једне од напојних фаза. Анализираном ситуацијом претпостављен је отказ у коме долази до оштећења фазног намотаја машине. У поглављу је детаљно приказан развој математичког модела машине са оваквим структурним поремећајем. Приказана је и анализа инвертора из кога се предвиђа напајање машине. На крају је цела структура инвертор-машина рачунарски моделована и симулацијом је верификована исправност теоријских анализа и навода. Као закључак у поглављу је извршено поређење резултата добијених рачунарским симулацијама и практичним мерењима и констатовано је задовољавајуће поклапање.

У шестом поглављу описан је реализовани лабораторијски прототип и приказани су резултати експерименталне провере претходно изнетих теоријских и симулационих разматрања, тврдњи и реализованих алгоритама. Приказани резултати спроведених експеримената показују добар степен подударане са резултатима симулација и у потпуности доказују изнете теоријске тврдње. Значајан допринос овога рада огледа се и у чињенице да је током истраживања и рада на предметној теми реализован комплетан лабораторијски прототип погона са шестофазном асиметричном асинхроним машином.

Седмо поглавље даје закључак рада на предметној тези.

Осмо поглавље приказује списак коришћене литературе.

Девето поглавље је прилог рада у коме су дати подаци и нацрти реализоване машине. Прилог садржи и слике добијене као резултат провере конструкције машине коришћењем софтвера Орега 2D. Трополне и једнополне шеме реализованих електричних ормана, електронски картица и других склопова интегрисаних у лабораторијски прототип су такође дати у прилогу.

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

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

- D. Milićević, V. Katić, Z. Čorba, and M. Greconici, "New Space Vector Selection Scheme for VSI Supplied Dual Three-Phase Induction Machine," *Adv. Electr. Comput. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 59–64, 2013.
- B. Dumnić, D. Milićević, B. Popadić, V. Katić, Z. Čorba, "Advanced laboratory setup for control of electrical drives as an educational and developmental tool", *The IEEE Eurocon 2013*, 1- 4 July, Zagreb, Croatia, pp. 903-909, ISBN: 978-1-4673-2231-7, IEEE Catalog Number: CFP13EUR-USB
- D. Reljić, D. Milićević, E. Adžić, B. Dumnić, S. Grabić, V. Porobić, M. Vekić, Z. Ivanović, V. Katić, V. Vasić, D. Marčetić, Đ. Oros, Z. Čorba, "Modern Laboratory Tools for Experimental Research in the Field of Electric Drives", *15th International Symposium on Power Electronics – Ee2009*, October 28 – 30, 2009, Novi Sad, Serbia No. T4-2.11, pp. 1-5, ISBN 978-86-7892-208-4
- B. Dumnić, D. Milićević, B. Popadić, V. Katić, Z. Čorba, "Practical implementation of vector control for dual three-phase induction machine", *17th International Symposium on Power Electronics – Ee2013*, October 30 – November 1, 2013, Novi Sad, Serbia, Paper No. T.3.3, pp. 1-5, ISBN 978-86-7892-551-1
- B. Popadić, B. Dumnić, D. Milićević, V. Katić, Z. Čorba, "Tuning methods for PI controller - Comparison on a highly modular drive", *4th International Youth Conference on Energy (IYCE) 2013*, 6-8 June, Siófok, Hungary pp.1-6, ISBN: 978-1-4673-5554-4 (pendrive) IEEE Catalog Number: CFP1335J-USB (pendrive)
- B. Dumnić, V. Katić, V. Vasić, D. Milićević, M. Delimar, "An Improved MRAS Based Sensorless Vector Control Method for Wind Power Generator" *Journal of Applied Research and Technology – JART*, Vol. 10. no. 5, Oktobar 2012, Center for Applied Sciences and Technological Development, National Autonomous University of Mexico (UNAM), ISSN: 1665-6423, strane 687-697.
- Vladimir Katić, Boris Dumnić, Dragan Milićević, Stevan Grabić, Zoltan Čorba, Nenand Katić, „Moderne tehnologije vetrogeneratora – Modern Wind Turbine Technologies“, VIII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama sa regionalnim učešćem, 23-28. Septembar, 2012, Vrnjačka Banja, Srbija, ISBN: 978-86-83171-17-0, R-5.03, strane 1- 8.
- Bane Popadić, Vladimir Katić, Boris Dumnić, Dragan Milićević, "Implementacija PWM tehnika za upravljanje asinhronom mašinom u generatorskom režimu", *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, Edicija: Tehničke nauke – Zbornici, 2012, No. 10, pp. 2014-2017 (ISSN 0350-428X).

**VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Фокус научне расправе изложене у дисертацији усмерен је на проблематику управљања шестофазним инвертором у погону шестофазне асиметричне асинхроне кавезне машине. Приказана синтеза нове технике импулсно ширинске модулације представља оригинални и најзначајнији допринос тезе.

Рад приказује јасну и прегледну анализу синусних техника и техника које се базирају на модулацији просторног вектора које се примењују при управљању шестофазним инвертором у погону са шестофазном асиметричном асинхроном машином. Препознате мане постојећих техника формирале су захтеве које нова техника, која је оригинално развијена овим радом, треба да испуни.

Аутор је у оригиналном шемом избора вектора, која поред великих вектора користи и векторе средње дужине приликом апроксимације референтног, решио проблеме који су уочени у ранијим

техникама управљања. Како би се реализовао жељени напон на излазу инвертора у свакој секвенци PWM-а нова техника комбинује четири ненулта вектора. Оригиналом комбинацијом и секвенцом коришћених вектора решена су оба проблема ранијих техника, а истовремено није дошло до деградације могућности искористивости напона једносмерног међукола. Приказ нове технике управљања је комплетан у том смислу да обрађује све аспекте објашњења, од теоријске основе до смерница за њену практичну реализацију на дигиталном контролном систему.

Као крајњи закључак аутор рада је формирао критеријумску функцију којом је извршено поређење техника. Критеријумском функцијом су за вредновање техника као најзначајнији параметри изабрани искоришћење напона једносмерног међукола и контрола генерисања додатних губитака, док је ниво хармонијске дисторзије напона, те остварени прекидачки губици и комплексност потребног PWM сигнала дефинисани као параметри мање важности. На бази добијених резултата формирана је ранг листа техника управљања.

Као коначна провера исправности нове модулационе технике у раду је приказана њена интеграција у структуру векторског управљања. Интеграција контроле генерисања компоненти које не учествују у формирању корисног момента у сам модулатор омогућила је примену класичне структуре индиректног векторског управљања каква се користи у трофазним погонима. Овим је регулациона структура упрошћена, а процесорско време ослобођено за друге потребе.

Аутор се позабавио и проблематиком моделовања и напајања обрађиване машине у присуству структурног поремећаја описаног кроз прекид напајања једног од фазних намотаја. Детаљно развијени модел машине и напојног инвертора у оваквим погонским условима проверен је рачунарским симулацијама.

Посебан значај овог рада огледа се у томе да су сви теоријски наводи и симулациони резултати поткрепљени експерименталним резултатима. Сви експерименти су спроведени коришћењем формираног лабораторијског прототипа шестофазног погона који је настао као резултат дугогодишњег ангажмана и рада аутора и неколицине његових колега.

Сам аутор на крају рада наводи неколико даљих праваца истраживања у овој области.

Уколико је реч о истраживањима у којима третирана машина ради без присутног квара, потенцијално најзанимљивији правац истраживања би била проблематика употребе вишефазних машина у изворима електричне енергије. Већа специфична густина енергије омогућава компактнија решења у поређењу са класичним трофазним што може бити од интереса за примену у ветроелектранама или за израду бродских генераторских јединица. Још један правац за даља истраживања може бити и индентификацију параметара машине који су подложни променама. Отпорности намотаја ротора и статора су температурно променљиве величине, док су индуктивности променљиве услед промене нивоа флукса у машини. У циљу смањења грешке у процени брзине обртања пожељно је вршити индентификацију параметара подложних променама или реализовати алгоритме за процену брзине обртања који нису осетљиви на промену параметара. Оно што овим радом није анализирано, а што представља неопходан аспект и потребу у раду развијеног модулятора јесте проширење рада модулятора у области надмодулације. У циљу проширења оперативног опсега радних брзина будући рад се мора позабавити овом проблематиком.

Уколико се разматра рад машине у присуству структурне асиметрије односно испада једне или више фаза машине, потенцијално правац истраживања може бити усмерен ка изналажењу оптималне стратегије реакције погона по настанку квара. Струјно ограничење напојног инвертора или машине, потреба погона за задржавање номиналне вредности момента и по настанку квара или ограничење којим се диктира задржавање нивоа губитака у намотајима у присуству квара дефинише неколико сценарија који умногоме утичу на конструкцију машине, конструкцију инвертора као и на избор оптималне технике управљања.

## **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

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

Резултати истраживања су детаљно обрађени, прегледно приказани, графички добро

илустровани и јасно и систематски изложени. Резултати су праћени одговарајућим образложењима и критичким освртом на њихово вредновање у складу са владајућим ставовима. Коришћењем савремене домаће и стране литературе кандидат је дао свеобухватан преглед ставова и досадашњих резултата из разматране области. На основу резултата истраживања и њиховог критичког разматрања изведени су закључци који дају јасне одговоре на циљеве истраживања.

Комисија констатује да начин приказа и тумачења резултата истраживања у потпуности одговара карактеру проблема који се у овој докторској дисертацији решавају.

#### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
Дисертација је у потпуности написана у складу са планом и образложењем које је наведено у пријави тезе.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
Докторска дисертација садржи све битне елементе у складу са пријавом тезе. Урађен је детаљан преглед литературе, извршена детаљна анализа и синтеза решења проблема, симулација, експеримент и верификација експерименталних резултата.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци  
Дисертација као оригинални резултат истраживања даје предлог управљачке методе за управљање шестофазним инвертором за напајање шестофазне асинхроне машине са асиметрично изведеним намотајем која поред великих вектора користи и векторе средње дужине приликом апроксимације референтног. На овај начин, аутор је решио проблеме који су уочени у ранијим техникама управљања. Приказ нове технике управљања је комплетан у том смислу да обрађује све аспекте објашњења, од теоријске основе до смерница за њену практичну реализацију на дигиталном контролном систему. Спроведена теоријска анализа је доказана и кроз рачунарске симулације и експериментално на погону који такође представља значајан резултат рада аутора. Део резултата приказаних у дисертацији публикован је у међународним часописима са референтне листе научних часописа из области електротехнике.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  
Докторска дисертација нема недостатака који би битније утицали на коначан резултат истраживања.

#### **X ПРЕДЛОГ:**

**На основу укупне оцене докторске дисертације, комисија предлаже да се докторска дисертација под насловом “Развој напредног управљања погоном са шестофазним асиметричним асинхроним мотором” прихвати, а кандидату мр Драгану Милићевићу одобри јавна одбрана.**

#### ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

**ДР ВЕРАН ВАСИЋ, редовни проф.,** Факултет техничких наука,  
Нови Сад, уно.: Енергетска електроника, машине и погони,  
председник

---

**ДР МАРИАН ГРЕЦОНИЦИ, ванредни проф.,** Универзитет  
„Политехника“ у Темишвару, уно.: Теоријска електротехника, члан

---

**ДР БОРИС ДУМНИЋ**, доцент, Факултет техничких наука, Нови Сад, уно.: Енергетска електроника, машине и погони, члан

---

**ДР СТЕВАН ГРАБИЋ**, доцент, Факултет техничких наука, Нови Сад, уно.: Енергетска електроника, машине и погони, члан

---

**ДР ВЛАДИМИР КАТИЋ**, редовни проф., Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетска електроника, машине и погони, члан-ментор