

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Младена Терзића

Одлуком Научно-наставног већа Електротехничког факултета на седници бр. 782 одржаној 27.01.2015. године (бр. одлуке 5021-09/3 од 5.12.2015. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Младена Терзића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства под насловом

**„Пројектовање асинхроних машина са малом инерцијом и великом брзином обртања”**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 2.12.2009. кандидат Младен Терзић је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду;
- 9.12.2011. године кандидат Младен Терзић је пријавио тему за израду докторске дисертације;
- 13.12.2011. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно –научном већу на усвајање;
- 27.12.2011. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације;
- 4.9.2012. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације;
- 17.9.2012. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом: “Пројектовање асинхроних машина са малом инерцијом и великом брзином обртања“. (број одлуке 06-20264/25-12 од 17.9.2012. године);
- 29.12.2014. године предата је докторска дисертација на преглед и оцену;
- 13.1.2015. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације;

– Наставно-научно веће Факултета на седници бр. 782 од 27.1.2015. именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (бр. Одлуке 5021/09-3 од 5.2.2015. године) у следећем саставу:

Др Слободан Вукосавић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду

Др Зоран Лазаревић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду

Др Жарко Јанда, научни сарадник, Електротехнички Институт Никола Тесла у Београду

Др Бранко Колунџија, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду

Др Жељко Деспотовић, виши научни сарадник, Институт Михаило Пупин у Београду

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата Младена Терзића припада научној области Техничке науке - Електротехника, ужа научна област Енергетски претварачи и погони, подобласт Електричне машине. За ментора дисертације одређен је др Слободан Вукосавић, редовни професор Електротехничког факултета, Универзитета у Београду, због истакнутих доприноса у области Енергетских претварача и погона, а посебно у области Електричних машина.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Младен Терзић је рођен 30.11.1984. године у Ужицу, где је завршио основну школу и гимназију. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2003. године. У току треће године студија добио је награду за најбољег студента на Енергетском одсеку. Дипломирао је 2007. године на смеру Енергетски претварачи и погони са просечном оценом 9,2, одбраном дипломског рада на тему „Дијагностика кварова трансформатора испитивањем изолационог уља“. Мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Енергетски претварачи и погони, уписао је 2007. године, положио све испите са просечном оценом 10, и 2009. године одбранио мастер тезу под насловом „Процена остарелости изолације трансформатора према историјату оптерећивања и испитивањима према стању“. Исте године уписује докторске студије на Електротехничком факултету у Београду. Успешно је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10 и током 2010. године започео рад на изради докторске тезе. Септембра 2012. године прихваћена му је тема докторске дисертације под насловом „Пројектовање асинхронних машина са малом инерцијом и великом брзином обртања“.

Од 2007. године био је ангажован на Електротехничком факултету у Београду, најпре као сарадник у настави. По упису докторских студија 2009. године стекао је услов за избор у звање асистента, у коме се и тренутно налази. Учествоје у извођењу рачунских и лабораторијских вежби из предмета: Енергетски трансформатори, Електричне машине за једносмерну струју, Испитивање електричних машина, Енергетске пригушнице, Лабораторијске вежбе из енергетских претварача и погона и Електричне машине.

У претходним годинама учествовао је у реализацији бројних домаћих и међународних научноистраживачких и стручних пројеката. Аутор је два рада у међународним часописима са импакт фактором, два рада у домаћим часописима, четири рада на међународним конференцијама и пет радова на домаћим конференцијама. Области интересовања кандидата су анализа и пројектовање електричних машина, трансформатора и пригушница.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Пројектовање асинхроних машина са малом инерцијом и великом брзином обртања“ представља оригинални научноистраживачки рад у области пројектовања електричних машина. Дисертација на систематичан начин уводи нови приступ пројектовању високобрзинских асинхроних машина са малом инерцијом кроз анализу свих важнијих аспеката и фаза пројекта. Као главни допринос дисертације истиче се нови приступ одређивању оптималне геометрије ротора асинхроне машине са малом инерцијом у циљу максимизације њеног номиналног степена искоришћења снаге и тиме побољшања енергетске ефикасности целог система претварач-машина. Предложени оптимизациони поступак применљив је на асинхроне машине са малом инерцијом ротора у ширем опсегу снага и брзина и тиме представља допринос на ширем пољу пројектовања оваквих типова машина. Кроз резултате рада дате су и јасне смернице за даљи развој у предметној области.

Дисертација је написана на српском језику и има 210 страна и укључује 130 слика, и 62 табеле. Подељена је на шест поглавља: 1) Увод; 2) Поступак пројектовања високобрзинског АМ са чашастим ротором; 3) Моделовање АМ у FEM софтверу и оптимизација роторских параметара; 4) Анализа термичких и механичких карактеристика чашастиг АМ; 5) Експериментална верификација; 6) Закључак. Литература садржи 90 референци кроз које је детаљно приказано тренутно стање у области високобрзинских асинхроних машина мале инерције као и одговарајућих проблема који се јављају при њиховом пројектовању.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

На основу расположиве литературе и података у првом поглављу је извршена класификација типичних примена асинхроних машина где је од значаја остварити рад са великим брзинама обртања. Дат је преглед карактеристичних вредности снаге, фреквенције напајања и услова рада у карактеристичним применама. Такође, на основу расположиве литературе, приказано је досадашње истраживање на пољу асинхроних машина са малом инерцијом ротора, првенствено дизајна са чашастим ротором чији је електромагнетски дизајн и оптимизација главни предмет ове дисертације. Током овог прегледа скренута је пажња на уочене недостатке овог концепта и могућности за његово побољшање.

Друго поглавље започиње прегледом основних карактеристика KERS апликације које диктирају улазне параметре као и разна ограничења у процесу пројектовања. При томе је направљен кратак осврт на моторе који се данас комерцијално употребљавају у оваквој апликацији. Карактеристике једног оваквог мотора, чији су подаци били доступни, искоришћене су као полазна тачка у процесу пројектовања предметног АМ. Затим су на основу референтног дизајна KERS мотора и још неколико машина сличних електромагнетских карактеристика као чашасти АМ прецизно дефинисани улазни параметри и ограничења за процес пројектовања чашастиг АМ.

У наставку истог поглавља систематично је приказан принцип аналитичког моделовања и прорачуна основних димензија статора АМ са чашастим ротором на основу задатих улазних параметара и ограничења. Неки од улазних параметара и ограничења су: корисна снага, опсег брзина, инерција ротора, оквирне димензије за смештај машине, максимална струја магнећења, механичка и термичка ограничења итд. Сам процес пројектовања подељен је у неколико целина: пројектовање намотаја, магнетског кола, одређивање оквирних димензија ротора и ваздушних зазора. Засебно су обрађени проблеми моделовања и начини за ограничење губитака у гвожђу и проводницима статора услед

површинског ефекта на повишеним учестаностима. Као резултат аналитичког прорачуна добијени су и параметри статора за потребе формирања заменске шеме мотора: фазна отпорност, индуктивности магнећења и расипања као и параметар који моделује губитке у гвожђу машине. Након моделовања статора приказан је аналитички приступ моделовању роторске чаше при чему су наведене усвојене претпоставке и занемарења. Коначан резултат аналитичког прорачуна је комплетна заменска шема чашастог АМ која је искоришћена за одређивање најважнијих карактеристика мотора као што су: механичка карактеристика, струја магнећења, степен искоришћења снаге итд. На овај начин размотрен је и утицај повећања ваздушних зазора и дебљине роторске чаше као и материјала од ког је чаша направљена на перформансе машине. При томе је анализирана тачност и недостаци изведеног аналитичког модела. Спроведена анализа указала је такође и на потребу за оптимизацијом роторске геометрије и могућност постојања оптималног решења које резултује максималним степеном искоришћења снаге машине у дефинисаном номиналном режиму рада. На крају су дефинисане оквирне вредности ваздушних зазора и дебљине чаше за процес оптимизације коришћењем прецизнијег FEM модела машине.

Треће поглавље обрађује поступак формирања 2D FEM модела и план оптимизације роторске чаше у циљу постизања дизајна са максималним степеном искоришћења снаге. Описано је подешавање параметара симулације у циљу добијања што тачнијег решења. Приказани су најважнији резултати симулација који указују на оптималану комбинацију роторских параметара, а затим и најважнији параметри оптималног решења. Након тога је извршено поређење добијеног решења са полазним аналитички процењеним перформансама мотора. Даље је указано и на недостатке при моделовању овог типа мотора у 2D FEM при чему су наведене могуће грешке које настају занемаривањем треће димензије мотора при моделовању. Да би се квалитативно и квантитативно показао утицај ових грешака, развијен је 3D модел АМ са чашастим ротором и спроведено неколико симулација. На основу резултата дат је предлог за повећање прецизности 2D модела увођењем одговарајућих корекционих фактора. Резултати 3D симулација омогућили су и бољи увид у појаву кружних струја у роторској чаши и ефекта крајева које је немогуће сагледати у 2D.

Предложена процедура пројектовања и оптимизације високобрзинског АМ са чашастим ротором укључује на првом месту електромагнетски прорачун. Приликом пројектовања водило се рачуна да и остали критеријуми, као што су термички и механички, буду задовољени. Током процедуре пројектовања мотора у другом поглављу ови критеријуми нису опширније обрађени. Због тога су они детаљније обрађени у четвртном поглављу заједно са проблемима практичне реализације мотора који из њих проистичу.

Спроведену процедуру дизајна и оптимизације високобрзинског АМ са чашастим ротором која представља главни допринос овог рада, било је потребно на неки начин и експериментално верификовати. У петом поглављу се разматра могућност модификације постојећег АМ за 50Hz и његово прилагођење дизајну високобрзинског АМ са чашастим ротором. У оквиру тога показан је принцип пројектовања шестофазног намотаја за конкретан мотор. Затим је спроведена слична процедура оптимизације роторске чаше која је прилагођена постојећем реалном мотору. Оптимизација је изведена кроз низ 2D FEM симулација. Након тога је урађен низ 2D симулација са оптималним дизајном при чему су симулирани експерименти спроведени на реалном прототипу. Циљ је био да се добије што више резултата који ће моћи да се упореде са мерењима.

У наставку петог поглавља описана је експериментална поставка која укључује сам мотор, претварач за његово напајање, давач момента и систем за аквизицију података. Описан је и принцип  $U/f$  управљања који је примењен на предметном мотору. Дат је и детаљан опис изведених експеримената са добијеним резултатима. Главни резултати мерења упоређени су са резултатима симулација и при томе су изведени одговарајући закључци.

На крају рада, у оквиру закључног шестог поглавља, сажето су приказани сви важнији резултати истраживања у оквиру дисертације као и доприноси дисертације на пољу пројектовања високобрзинских АМ са малом инерцијом. Изведени су најважнији закључци и на основу њих су дате смернице за даља истраживања у овој области.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Високобрзинске електричне машине постају све више заступљене у бројним савременим апликацијама као што су електрична возила и дистрибуирани извори електричне енергије. Разлог за то је што се употребом високобрзинских машина остварују значајне уштеде у материјалу, а такође и уложеној енергији при њиховој изради. Међутим, рад електричних машина при великим брзинама обртања и високим учестаностима напајања скопчан је са бројним проблемима и намеће велики број захтева при њиховом пројектовању. Један од веома важних захтева је и мала инерција ротора.

Главни предмет расправе у оквиру дисертације је савремени приступ пројектовању високобрзинске асинхроне машине са посебном конструкцијом ротора која обезбеђује малу инерцију. У самој дисертацији разрађени су сви важнији аспекти и проблеми у пројектовању оваквих типова машина. Оригиналност дисертације се огледа у предложеном приступу оптимизације специјалног типа ротора мале инерције у циљу максимизације ефикасности машине за дате услове рада. Приказана метода и поступак пројектовања и оптимизације применљив је за асинхроне машине широког опсега снага и брзина.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу из области дисертације и коректно навео 90 референци које су уско везане за обрађену тему. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од старијих до савремених. Кроз наведену литературу остварен је добар преглед стања предметне области и постављена је добра основа за рад на одабраној теми дисертације.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру теоријске анализе проучена је методологија пројектовања статора и ротора чашастиг АМ применом аналитичких формула из досадашње праксе пројектовања АМ. Извршена је анализа геометрије магнетског кола, као и анализа феромагнетских материјала који омогућују рад са великим фреквенцијама напајања уз прихватљиве губитке у магнетском колу. Анализа је спроведена за магнетско коло међусобног флукса, који постоји у ваздушном зазору и спреже струјна кола статора и ротора машине, као и за кола статорског и роторског расипног флукса. На основу теоријске анализе начињен је одговарајући модел губитака у магнетским колима, који је примерен потребама оптималног пројектовања асинхроне машине. На основу података из доступне литературе наведен је утицај несинусоидалног напајања на повећање губитака у магнетском колу машине.

У циљу моделовања губитака у струјним колима, извршена је анализа расподеле магнетског поља у жлебовима и зупцима као и површински ефекат у струјним колима статора и ротора. Након тога, предложена су решења за умањење ових губитака, посебно у случају високобрзинских АМ где је наведени ефекат појачан услед веће фреквенције струја у намотајима. Анализиран је и утицај различитих типова статорског намотаја на таласни облик флукса у ваздушном зазору машине јер се показује да је његов што синусидалнији облик од изузетне важности за умањење површинских губитака у ротору.

Главни део истраживања усмерен је на проблем оптимизације геометрије струјног кола чашастиг ротора (металне чаше) и ваздушних зазора у циљу умањења наведених недостатака овог типа ротора. Применом аналитичких израза је показано да постоји оптималан избор наведених параметара који резултује максималним степеном искоришћења снаге. Такође је показано да је правилним избором граничних вредности ових параметара могуће у фази пројектовања ограничити струју магнетног напрема на прихватљиву вредност. Теоријска анализа је такође била усмерена и на процену губитака у роторској чаши, параметара заменске шеме и експлоатационе карактеристике као и на процену утицаја геометрије ротора на наведене параметре. Предмет анализе био је и утицај различитих материјала роторске чаше на одговарајуће карактеристике мотора. Наведена теоријска анализа спроведена је помоћу аналитичког модела чашастиг АМ прилагођеног високобрзинским машинама.

Резултат целокупне теоријске анализе су ограничења и улазни параметри за процес оптимизације ротора чашастиг АМ за примену у KERS. Циљ оптимизације је максимизација степена искоришћења снаге мотора уз задовољавање свих полазних ограничења. Процес оптимизације ротора спроведен је коришћењем програмских алата базираних на примени методе коначних елемената (Finite Element Method - FEM). Оптимизација је урађена за неколико различитих материјала који би могли бити употребљени за израду роторске чаше.

Механички и термички аспекти анализирани су коришћењем упрошћених аналитичких релација, а затим и применом FEM програма, а све у циљу да се докаже употребљивост добијеног оптималног дизајна у KERS апликацији. Детаљнији термички и механички прорачуни изискују спрегнуту анализу електромагнетних, механичких и термичких појава у циљу постизања најоптималнијег решења по сва три аспекта. Овакав прорачун излази изван оквира ове тезе и остаје као предмет будућег истраживања у овој области.

Посебна пажња је посвећена пројектовању и употреби вишефазног намотаја у АМ. Рад се конкретно бави пројектовањем шестофазног намотаја који је затим и имплементиран у реалној машини направљеној за потребе експерименталне верификације процеса оптимизације роторске чаше.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени приступ пројектовању и оптимизацији високобрзинских асинхроних машина мале инерције довољно је општи да се може применити за асинхроне машине у широком распону брзина и снага што је показано кроз спроведену анализу резултата у оквиру дисертације. Развој аналитичког модела допринео је бољем сагледавању проблематике рада и пројектовања високобрзинских АМ чиме је дат добар увод за процедуру оптимизације која је урађена коришћењем савремених FEM алата. Такође, кроз разраду новог приступа пројектовању обрађени су сви постојећи губици у високобрзинској АМ и начини за њихово израчунавање који се успешно могу применити за развој нових модела разних типова високобрзинских АМ. Такође, представљена процедура оптимизације роторске геометрије може се уз одређено прилагођење успешно применити и на друге типове асинхроних машина.

Коначни резултати истраживања указују и на начине за побољшање развијеног аналитичког модела чашастиг АМ који се може употребити за виšekритеријумску оптимизацију наведеног типа машине.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је досадашњим радом, кроз две публикације у часописима са *СЦИ* листе и великим бројем радова које је приказао на међународним и домаћим конференцијама, учешћем на пројектима, као и кроз активности на припреми и изради докторске дисертације, стекао самосталност у научно-истраживачком раду. Резултати презентовани у дисертацији показују истраживачку зрелост кандидата и способност за свеобухватну и критичку анализу

научне литературе на основу којих кандидат развија и предлаже иновативна и оригинална решења која доводе до бољих резултата у односу на до сада публикована решења.

#### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

##### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси остварени у оквиру дисертације су:

1. Теоријска анализа основних и секундарних ефеката повећане учестаности напајања на губитке у магнетским и струјним колима асинхроних машина за велике брзине обртања.
2. Анализа утицаја феромагнетских материјала на параметре заменског кола асинхроних машина које раде са великим брзинама и великим фреквенцијама напајања. Одређивање заменских кола и модела струјних кола ротора који је начињен од хомогеног комада алуминијума и/или бакра.
3. Израда модела губитака који обухвата основне и секундарне ефекте и кључне нелинеарности и који се може применити за интерактивну оптимизацију поступка пројектовања АМ за задате услове рада.
4. Развој комплетног аналитичког модела високобрзинске АМ са чашастим ротором.
5. Оптимизација струјних кола ротора са циљем да се умањи моменат инерције и очува задовољавајућа вредност коефицијента спреге и степена искоришћења снаге.
6. Примена FEM алата у процесу пројектовања и анализе АМ.
7. Оптимизација струјног кола ротора за различите материјале.
8. Анализа термичких и механичких појава у чашастом ротору.
9. Пројектовање и примена вишефазног намотаја у асинхроним машинама за велике брзине обртања.
10. Поређење са досадашњим решењима, критички осврт и анализа ограничења предложеног приступа пројектовању асинхроних машина за велике брзине обртања.

##### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Рад детаљно описује поступак пројектовања високобрзинске асинхроне машине са акцентом на топологију ротора која омогућава значајно смањење момента инерције обртних маса. Конкретно рад обрађује чашасту геометрију ротора као концепт који због своје мале инерције пружа бројне предности у раду на великим брзинама обртања. У раду је дат приказ свих релевантних улазних параметара потребних за пројектовање овакве и сличних врста високобрзинских машина при чему су јасно назначена ограничења и усвојена занемарења. Развијени аналитички модел високобрзинске асинхроне машине са малом инерцијом који моделује најважније појаве у машини може се искористити за добијање почетног дизајана као и за сагледавање свих значајних појава у машини. Овај модел представља и добру основу за даљу надоградњу и усавршавање како би се могао користити у процесу интерактивне оптимизације појединих делова машине.

Најзначајнији допринос доктората представља предложени поступак оптимизације геометрије чашастог ротора у циљу максимизације степена искоришћења снаге машине за задату апликацију и услове рада. Предложена метода применљива је на асинхроне машине са чашастим ротором широког опсега брзина и снага. Водеће идеје у процесу оптимизације

могу се успешно применити и на друге типове машина. Процес оптимизације је извршен коришћењем модерних софтверских алата базираних на 2D FEM прорачунима. Оптимално решење проверено је кроз доста прецизније 3D FEM симулације чиме су добијени корекциони фактори којима се премошћују занемарења која настају у 2D представи машине. Спроведене 3D симулације омогућиле су и бољи увид у електромагнетске појаве које постоје у чашастом ротору. Наведени корекциони фактори такође представљају допринос рада јер су применљиви за машине различитих брзина и снага што је показано кроз експерименталну верификацију предложеног поступка оптимизације. Резултати симулација за различите материјале роторске чаше могу се искористити при процесу избора адекватног материјала за израду.

Рад такође даје и приближан механички и термички прорачун чашастиг ротора који се може искористити као оријентир у фази избора граничних вредности дебљине и дужине чаше како и димензија ваздушних зазора машине. Поступак пројектовања шестофазног намотаја асинхроне машине који је такође обрађен у докторату може се применити за израду оваквих типова намотаја који постају све актуелнији у области електричних возила. Кроз експерименталну верификацију показана је и примена шестофазног намотаја код асинхроног мотора са чашастим ротором и демонстриране су његове предности у односу на трофазно напајање.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат Младен Терзић објавио је следеће радове:

##### Категорија M21:

1. **M. Terzić**, D. Mihić, S. Vukosavić, Design of High-Speed, Low-Inertia Induction Machines With Drag-Cup Rotor, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.29, No. 1, pp. 169-176, March, 2014. (IF=4.114) (ISSN: 0885-8969) (DOI: 10.1109/TEC.2013.2289352).

##### Категорија M23:

1. **M. Terzić**, D. Mihić, S. Vukosavić, Stator Design and Air Gap Optimization of High Speed Drag-Cup Induction Motor using FEM, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 93-100, Aug, 2013. (IF=0.642) (ISSN: 1582-7445) (DOI: 10.4316/AECE.2013.03015).

##### Категорија M63:

1. **Mladen Terzić**, Dragan Mihić, Slobodan Vukosavić, Projektovanje visokobrzinskog asinhronog motora sa malom inercijom, *ETRAN 2013*, Zlatibor 3-6. juni 2013.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија са задовољством констатује да на основу претходног школовања и публикованих резултата **Младен Терзић** испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду-Електротехничког факултета.

Докторска дисертација представља научни допринос у области електричних машина. У оквиру дисертације је детаљно приказан оригинални приступ пројектовању и оптимизацији високобрзинских асинхроних машина мале инерције ротора. Кроз дисертацију су приказане изузетне вештине кандидата у коришћењу савремених истраживачких метода уз



поштовање свих захтеваних етичких норми. Кандидат је у дисертацији пратио светске стандарде у области пројектовања и анализе електричних машина као и савремене алате и методе који се у ту сврху користе.

Комисија посебно истиче да развијена метода приказана у докторској дисертацији поред научних доприноса има и практичну примену у области пројектовања високобрзинских асинхронних машина што је приказано кроз резултате експерименталне верификације који су иложени у оквиру дисертације.

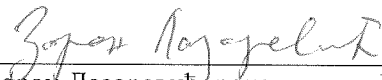
Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Електротехничког факултета, да се докторска дисертација под називом „**Пројектовање асинхронних машина са малом инерцијом и великом брзином обртања**” кандидата **Младена Терзића** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и одобри јавна усмена одбрана.

Београд, 9.04.2015. год.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Слободан Вукосавић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Лазаревић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жарко Јанда, научни сарадник  
Универзитет у Београду – Електротехнички Институт Никола Тесла



др Бранко Колунџија, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Деспотовић, виши научни сарадник  
Универзитет у Београду – Институт Михаило Пупин