

Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Александра Милића

Одлуком 720/14 бр. од 09.04.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Милића под насловом

Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора

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

12.10.2017. године Александар Милић је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Енергетски претварачи и погони. Све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија положио је са просечном оценом 10.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

28.9.2023. године Александар Милић је пријавио тему за израду докторске дисертације под радним насловом „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ (енгл. „*Control of asynchronous machines based on rotor slot harmonics comprised in stator currents*“).

3.10.2023. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени научне заснованости теме упутила Наставно-научном већу на усвајање.

10.10.2023. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Драган Милић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

- др Томислав Шекара, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт „Никола Тесла“
- др Милан Бебић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Зоран Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

за ментора је предложен: др Слободан Вукосавић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

23.10.2023. године обављена је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду пред комисијом у саставу:

- др Драган Михаић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Томислав Шекара, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт „Никола Тесла“
- др Милан Бебић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Зоран Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

На одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Комисија је оценила усмену одбрану предложене теме као успешну (оцена „задовољно“).

07.11.2023. године Наставно-научно веће усвојило је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације.

18.12.2023. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Александра Милића под насловом: „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ (енгл. „*Control of asynchronous machines based on rotor slot harmonics comprised in stator currents*“) (број 61206-4675/2-23 од 18.12.2023. године).

25.03.2024. године кандидат Александар Милић је предао на преглед и оцену докторску дисертацију под насловом: „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ (енгл. „*Control of asynchronous machines based on rotor slot harmonics comprised in stator currents*“).

02.04.2024. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за оцену докторске дисертације.

09.04.2024. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену докторске дисертације у саставу (број 720/14 од 09.04.2024. године):

- др Драган Михаић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Томислав Шекара, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

- др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт „Никола Тесла“
- др Милан Бебић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Зоран Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

### 1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата Александра Милића припада научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство, ужа научна област Енергетски претварачи и погони, за коју је матичан Електротехнички факултет. За ментора дисертације одређен је др Слободан Вукосавић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због истакнутих доприноса у ужој области Енергетски претварачи и погони, а посебно у подобласти управљања асинхроним машинама без давача на вратилу, која је предмет дисертације.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар Милић је рођен 13.08.1993. године у Смедереву. Основну и средњу школу завршио је у Смедереву. На Електротехничком факултету у Београду, дипломирао је 2016. године са просечном оценом 9,29. Дипломски рад из области синхроних машина на тему „Динамички модели синхроних машина у раду на крутој мрежи“ одбранио је са оценом 10. Ментор приликом израде дипломског рада био је проф. др Зоран Лазаревић. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, завршио је у септембру 2017. године са просечном оценом 10, мастер радом из области електричних возила на тему „Мултифазне електричне машине у погонским системима електричних возила са интегрисаним пуњачем батерија“. Ментор приликом израде мастер рада био је проф. др Слободан Вукосавић. Током студија одрадио је две стручне праксе и то у компанијама „ЕПС Дистрибуција Смедерево“ и „MIKA Projekt Servis.“ Маја 2015. године освојио је прво место у појединачној и тимској конкуренцији у научној дисциплини „Електричне машине“ на међународном такмичењу студената електротехнике – Електријада 2015. године у Бечићима, Црна Гора.

Од 01.02.2017. до 01.03.2018. године радио је на Катедри за енергетске претвараче и погоне Електротехничког факултета у Београду, у звању сарадника у настави. Од 01.03.2018. запослен је као асистент, такође на Катедри за енергетске претвараче и погоне. Тренутно је ангажован на седам предмета на извођењу рачунских и лабораторијских вежби. Са студентима је написао укупно 13 научних радова, од којих су 4 научна рада награђена посебним признањима. Учествовао је на изради више дипломских и мастер радова. Марта 2023. године награђен је за најбољи научни рад у сесији на међународној конференцији *IEEE Applied Power Electronics Conference*, у Орланду у САД.

Од маја 2017. године као један од ментора предводи тим студената који, при Лабораторији за дигитално управљање претварачима и погонима, представља Електротехнички факултет на светском универзитетском такмичењу *IEEE International Future Energy Challenge*. Са укупно шест студентских тимова до сада је остварио шест светских и десет домаћих признања. Од почетка 2019. године активан је члан тима за сарадњу са привредом Електротехничког факултета. Успешно је успоставио сарадњу са преко 70 домаћих и иностраних компанија. Учествовао је на више комерцијалних и научно-истраживачких пројеката.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је по форми и структури у потпуности усклађена са Упутством о облику и садржају докторске дисертације која је брани на Универзитету у Београду. Докторска дисертација је написана на српском језику, ћиричним писмом, и има укупно 199 страна. Навести обим, структуру и основни садржај дисертације. Садржи 101 слику, 17 табела, 273 нумерисане једначине и 242 библиографске референце. Делови дисертације су:

- Насловна страна на српском језику
- Насловна страна на енглеском језику
- Страна са информацијама о ментору и члановима комисије
- Страна са подацима о докторској дисертацији и сажетак на српском језику
- Страна са подацима о докторској дисертацији и сажетак на енглеском језику
- Садржај
- Списак слика
- Списак табела
- Текст рада по поглављима:
  1. Увод
  2. Алгоритми за оцену брзине обртања вратила
  3. Естиматор брзине заснован на РЖХ
  4. Синтеза *sensorless* регулационог система
  5. Експериментална испитивања
  6. Закључак
  7. Списак коришћене литературе
- Биографија аутора
- Изјава о ауторству
- Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада
- Изјава о коришћењу

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу су наведени основни циљеви и значај истраживања. Дефинисан је предмет истраживања и структура електричног погона који је предмет разматрања. Представљене су области у којима алгоритми за оцену параметара и стања система без употребе давача (енгл. *sensorless*) налазе примену.

У другом поглављу је извршено моделирање нелинеарности инвертора и асинхроне машине које доминантно утичу на анализу и синтезу *sensorless* регулационих система. Анализиране су и аналитички описане анизотропије које уносе изобличења у електромоторној сили статора. Дат је преглед стручне и научне литературе у области алгоритама за оцену брзине вратила код асинхроних машина. Додатно су истакнути *sensorless* алгоритми засновани на анизотропијама машине који имају практичну примену. Представљени су аргументи који указују на простор у области и потребу за развојем нових *sensorless* алгоритама за оцену стања и управљање код *sensorless* регулисаних погона високих перформанси. На основу анализе публиковане литературе, као анизотропија од значаја за синтезу новог алгоритма одабрани су роторски жлебни хармоници (РЖХ).

У трећем поглављу је начињена нова и оригинална структура за оцену брзине вратила асинхроне машине, естиматор, заснована на РЖХ који постоје у линијском спектру струје статора. Структура је заснована на фазно спрегнутој петљи за праћење хармоника од значаја и адаптивним дигиталним филтрима за увећање робусности и квалитета процеса оцене. За сваки део структуре пружена је одговарајућа аргументација из угла дизајна. Синтеза делова структуре спроведена је путем јасно и дефинисана четири критеријума који описују

динамичко и статичко понашање естиматора и два критеријума за стабилност фазно спрегнуте петље и улазних адаптивних дигиталних филтара, који проистичу из прегледа научне литературе. Структура је начињена са циљем интеграције естиматора унутар регулационих петљи по струји и брзини. Критеријумске функције по којима се адаптирају параметри адаптивних филтара су добијене из критеријума перформанси као компромис између максималне допуштене девијације оцењене учестаности и укупног транспортног кашњења, уважавајући захтеве у погледу динамичког одзива и стабилности система. У поглављу су за потребе анализе и синтезе естиматора развијени симулациони модели у програмском пакету *MATLAB – Simulink*. Путем развијених модела естиматор је испитан у експлоатационој области електричног погона, без слабљења поља. Изведен је линеарни модел естиматора брзине и пружена је линеарна анализа стабилности. Дефинисана су ограничења унутар којих се може гарантовати линеарно понашање естиматора.

У четвртом поглављу је представљена методологија за синтезу регулатора брзине чији се рад заснива на естиматору брзине. Прво је представљена структура *sensorless* регулационог система и одабран је закон управљања. Синтеза регулатора брзине је извршена разматрањем фреквенцијског одзива функције отвореног преноса система, уважавајући естиматор у повратној грани система, унутрашњу петљу по струји као и постојање РЖХ у пропусном опсегу регулационих контура. Појачања регулатора су одређена да се постигне максимална отпорност на поремећаје. Добро понашање регулационог система у целом радном опсегу се постиже адаптивним мењањем појачања регулатора у функцији брзине и оптерећења погона. Извршена је линеарна анализа стабилности, робусности, дискутовани су одзиви и ограничења регулационог система при промени референце брзине и у присуству оптерећења. За ове потребе коришћени су развијени аналитички и симулациони модели.

У петом поглављу спроведено је експериментално испитивање естиматора брзине и придруженог регулатора брзине при раду без употребе давача на вратилу. Представљена је експериментална поставка и њена верификација за потребе испитивања естиматора и *sensorless* регулације брзине. Почетни тестови су обухватили испитивање кола за мерење струје, одабране асинхроне машине, регулационе петље по струји и брзини када се за потребе рада користи давач, векторског управљања. Даље је спроведено испитивање утицаја јачине и учестаности првог хармоника струје и пропусних опсега регулације по струји и брзини на јачину и фазу РЖХ. Потом, рад естиматора брзине и регулационог система који користи естиматор уместо давача брзине, представљен је над трофазном асинхронном машином снаге 2,2 kW, у радном опсегу од 60 обр/мин до 1500 обр/мин. Демонстрирана је *sensorless* регулација брзине пропусног опсега до 15 Hz, са стабилним одзивима у присуству промене референце брзине до 1000 обр/мин и потискивањем поремећаја до 100% номиналног момента. Разматране су динамике поремећаја по рампи и одскочне промене. Указано је на могућности и ограничења у погледу практичне примене решења.

На крају сваког поглавља пружени су адекватни закључци.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Алгоритми за оцену брзине без употребе давача на вратилу су деценијама предмет истраживања. Временом су развијена решења за оцену брзине обртања вратила за различите типове машина. У индустрији се захтевају једноставна и јефтина решења са минималним утрошком материјала и времена при уградњи, модуларни дизајн, уз висок степен поузданости и робусности. Стога, наведени алгоритми тек од краја прве деценије 21-ог века налазе ширу примену за индустријске потребе због практичних разлога који се морају задовољити у погледу робусности, поузданости, захтеване цене и утрошка времена при

уградњи алгоритма. Данас се алгоритми за оцену брзине примењују од комерцијалних примена попут пумпи, вентилатора, система за хлађење, грејање и вентилацију, даље код лаких електричних возила, мехатроничких система, све до електричних погона у неповољном радном окружењу у различитим индустријама обраде материјала, деривата, код војних или свемирских примена, погона у бродовима, летилицама, друмским возилима, итд.

У модерним електричним погонима постоји тежња да се смањи употреба материјала, а да се притом оствари јефтино и робусно решење са једноставном уградњом, где *sensorless* алгоритми налазе примену. *Sensorless* алгоритми увећавају толеранцију на кварове и одржавају погон у раду до редовне провере или поправке, или пружају безбедно заустављање у што краћем времену чиме се спречавају озбиљнија оштећења на машини или процесу управљања. Налазе примену код свих апликација где се захтева висок степен интеграције вучног система од батерије до редуктора, посебно код лаких електричних возила. Често се захтева и њихова обавезна примена у једновременом раду са давачем брзине код примена код којих може бити угрожена безбедност корисника или материјално добро.

Докторска дисертација под насловом „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ представља оригиналан научно-истраживачки рад, који је настао као резултат вишегодишњег истраживања кандидата у области управљања асинхроним машинама без употребе давача на вратилу. У дисертацији је развијена оригинална структура за оцену брзине вратила заснована на роторским жлебним хармоникама и методологија за адаптацију параметара естиматора брзине и придруженог регулатора брзине.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидат је детаљно истражио релевантну литературу из научне области којом се бави дисертација. Литература наведена у дисертацији броји 242 библиографске референце, на основу чега се може закључити да је кандидат остварио темељан увид у резултате досадашњих истраживања у предметној научној области. У оквиру наведене литературе налазе се радови кандидата, од којих је најзначајнији рад публикован у међународном часопису са *Impact Factor*-ом, а који је проистекао из рада на докторској дисертацији. У овом раду је приказана оригиналност предложене структуре и методологије и предности у односу на друге приступе у решавању сличних проблема, Такође је представљена и практична примена решења на електричном погону снаге 2,2 kW.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у докторској дисертацији је спроведена у неколико фаза. У првој фази анализирана су до сада публикована решења у области рада електричног погона без употребе давача на вратилу. Анализа је резултовала поређењем релевантних метода према битним параметрима који описују једно решење за оцену брзине попут: тачности и транспортног кашњења процеса оцене брзине, сложености и цене примене, понашање алгоритма за оцену брзине и *sensorless* алгоритма управљања у устаљеном стању и током прелазних процеса. Уједно, сагледан је простор у области за научне и стручне доприносе.

У другој фази извршена је синтеза оригиналне структуре за оцену брзине и методологије за адаптивно одређивање параметара предложене структуре и придружених регулатора која пружа достизање већег пропусног опсега *sensorless* регулације по брзини, мању осетљивост на промене параметара и нижу радну брзину од до сада публикованих решења. Процес синтезе је обухватио формирање аналитичких и симулационих модела.

У трећој фази спроведено је анализа линеарне стабилности, робусности и динамичког понашања система. Дискутоване су границе у погледу примене, линеарности, максималне и минималне перформансе решења. Дефинисане су резерве у погледу линеарне стабилности.

У четвртој фази формирана је експериментална поставка у циљу верификације решења. Спроведена су засебна испитивања прво естиматора брзине, а затим и регулатора брзине који за потребе рада користи податке којима резултује естиматор. Испитивања су обухватила целу област експлоатационог рада електричног погона, без области слабења поља.

У петој фази извршена је верификација развијених аналитичких модела. Даље, употребом аналитичких модела и експерименталне поставке дефинисана су јасна ограничења система у погледу универзалности решења и практичне примене.

Примењена методологија у потпуности одговара проблемима који су решавани у докторској дисертацији, као и стандардима научно-истраживачког рада, а у сагласности са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Главни изазов у области алгоритама за оцену брзине вратила јесте обезбедити поуздан и тачан податак о брзини обртања у устаљеном стању и током прелазни процеса уз минимална транспортна кашњења, са и без присуства оптерећења и поремећаја. Такође, циљ је обезбедити примену решења уз минимални утрошак материјалних и временских ресурса.

Развијена метода за оцену брзине и управљање асинхроним машином без употребе давача на вратилу се може применити на сваку асинхрону машину која има способност да генерише роторске жлебне хармонике (РЖХ). Примена методе не захтева било какве хардверске или софтверске измене електричног погона попут у поређењу са највећим бројем публикованих метода. Примена не захтева додатне даваче, процесоре или намотаје за мерење, као ни приступ звездишу машине. Није одређена топологијом претварача ни колом за мерење струје. Алгоритам не користи матрице података, додатну меморију, као ни сложене оптимизационе функције, и алгоритми за оцену брзине и управљања се могу применити на било ком процесору са брзином сата већом од 10 MHz са или без интегрисаног аналого-дигиталног (АД) конвертора.

Поред тога, јасно су дефинисани услови под којима се може гарантовати представљено понашање решења у произвољном електричном погону. Структура за оцену брзине се може засебно употребити у произвољном погону са произвољним регулатором брзине уз поштовање ограничења у погледу стабилности структуре. Додатно, структура се може употребити и са придруженим адаптивним регулатором брзине описаним у дисертацији када се може гарантовати за представљене перформансе у ширем опсегу радних режима и већу поузданост. У поређењу са до сада публикованим *sensorless* решењима заснованим на РЖХ, решење представљено у дисертацији пружа рад са већим пропусним опсегом, рад на нижим брзинама, рад у присуству номиналног оптерећења и распрегнуо управљање брзином, моментом и флуksom високих перформанси. Решење нема ограничења у погледу задавања референце по брзини, већ само у погледу максималног остваривог оптерећења на нижим брзинама.

Најнижа радна брзина при којој се могу гарантовати представљена понашања система, за произвољни електрични погон, је брзина при којој се РЖХ представља са минимум 5 квантизационих нивоа АД конвертора. Разматрањем остварених резултата на одабраном електричном погону за испитивање, указано је када се могу очекивати боље, а када лошије перформансе у случају примене решења на произвољном погону.

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

Александар Милић је током докторских студија показао све особине неопходне за самосталан научно-истраживачки рад. У прилог томе сведочи и чињеница да је до сада публиковао 17 научно-стручних радова, од чега су два рада публикована у међународним часописима са импакт фактором, од чега је један рад категорије M21 где је и први аутор. За представљање научних резултата из области дисертације на међународној конференцији *IEEE Applied Power Electronics Conference*, у Орланду у САД, марта 2023. године, награђен је за најбољи научни рад у сесији.

Начин на који је написана докторска дисертације и научни доприноси који су у њој представљени потврђују спремност кандидата за самостални научни рад, почевши од систематичног прегледа доступне литературе, преко уочавања недостатака и ограничења постојећих метода, до развијене структуре и придружене методологије за прорачун параметара која превазилази уочене недостатке. Научни рад кандидата одликује темељан и систематичан приступ решавању научних проблема.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Најзначајнији научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су:

- Оригинална структура за оцену брзине која омогућава рад уз мању грешку у оцени,  $\Delta < 0.4 \%$ , мање транспортно кашњење,  $\delta < 50 \text{ ms}$ , у опсегу од 4% до 100% номиналне брзине асинхроне машине,
- Структура која се може применити без додатних хардверских и софтверских измена или захтева у електричном погону,
- Структура која значајно умањује утицај регулационих контура за регулацију струје и брзине на квалитет оцене брзине обртања и омогућава распрегнут рад естиматора и наведених регулационих контура,
- Аналитички модел предложене структуре засноване на РЖХ са дефинисаним ограничењима при којима се може гарантовати стабилан и линеаран рад система,
- Методологија одређивања параметара предложене структуре и придружених регулатора која омогућава достизање већег пропусног опсега, мање осетљивости на промене параметара и мање минималне брзине обртања од до сада публикованих решења.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Структура за оцену брзине и методологија за адаптивно одређивање параметара структуре, које је развио кандидат Александар Милић у својој дисертацији, пружа рад уз мање транспортно кашњење и већу тачност у оцени брзине у целом опсегу експлоатационе карактеристике асинхроне машине. Мање транспортно кашњење омогућава примену естиматора брзине за потребе *sensorless* управљања моментом, флуksom и брзином високих перформанси у присуству великих поремећаја у систему. Метода пружа успешну оцену и регулацију брзине без употребе давача и/или додавања виших хармоника, и то са и без присуства оптерећења, до 4% номиналне брзине машине, у поређењу са до сада публикованим решењима где је граница традиционално била на 10%.



До сада није разматрано динамичко понашање структура за оцену брзине већ углавном само понашање у устаљеном стању. Такође, структуре засноване на анизотропији РЖХ нису биле аналитички описане, а методе за управљање засноване на РЖХ нису уважавале динамику структура за оцену брзине у повратној грани. У дисертацији, развијени аналитички модел естиматора брзине заснован на РЖХ пружа линеарну стабилност електричног погона у ширем опсегу радних режима. Методологија за адаптацију појачања регулатора брзине обезбеђује стабилност у погледу задате референце брзине и знатно увећану робусност на поремећаје и пропусни опсег система. Методологија за одређивање параметара структуре и придружених регулатора полази од физичких ограничења у произвољној асинхроној машини и енергетском претварачу чиме се обезбеђује независност од електричног погона где се решење примењује. Примена развијеног решења се може остварити без било каквих хардверских или софтверских захтева или измена над постојећим електричним погоном.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Списак радова у којима је публикован део резултата истраживања у оквиру докторске дисертације кандидата Александра Милића дат је у наставку:

##### Категорија M21:

A. R. Milić and S. N. Vukosavić, "Sensorless Control of Induction Motor Based on Rotors Slot Harmonics and Digital Adaptive Filters," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, doi: 10.1109/TIA.2024.3365086, ISSN 1939-9367, Impact Factor: 4,4.

##### Категорија M33:

A. Milic and S. Vukosavic, "Sensorless Speed and Vector Control of Induction Motor Based on Rotor Slot Harmonics," *2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Orlando, FL, USA, 2023, pp. 2780-2787, doi: 10.1109/APEC43580.2023.10131259, ISSN 2470-6647.

##### Категорија M63:

L. Savanović, M. Popović, D. Bižić, A. Milić, „Каскадна реализација контролног алгоритма монофазног напонски контролисаног извора“, 36. Savetovanje CIGRE Srbija, Maj, Zlatibor 2023, str 823-836. DOI: 10.46793/CIGRE36.0823S,

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација кандидата Александра Милића под насловом „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

У предметној дисертацији је развијена оригинална структура за оцену брзине и методологија за адаптивно одређивање параметара структуре и придруженог регулатора брзине. Естиматор пружа оцену брзине уз мање транспортно кашњење, већу тачност и рад при ниским радним брзинама без захтева у погледу практичне примене у поређењу са до сада публикованим решењима. Развијен је линеарни аналитички модел естиматора који омогућава модуларну примену естиматора у произвољном електричном погону са или без

адаптивног регулатора брзине представљеног у дисертацији. Стабилност електричног погона који за потребе рада користи развијени естиматор брзине се може гарантовати у готово целој експлоатационој области рада погона уз примену развијене методологије за одређивање параметара адаптивног регулатора брзине. Развијена методологија обезбеђује максималне перформансе и ограничења у погледу примене. Остварени резултати представљају значајне научне доприносе у поређењу са до сада публикованим решењима у области *sensorless* алгоритма за оцену и управљање брзином код асинхроних машина.

Докторска дисертација кандидата Александра Милића представља резултат његовог вишегодишњег истраживачког рада у области управљања асинхроним машинама без употребе давача на вратилу. Научне доприносе који представљају резултат истраживања у оквиру докторске дисертације кандидат је публиковао у међународном часопису, на међународној и домаћој конференцији. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Управљање асинхроним машинама на основу роторских жлебних хармоника присутних у струји статора“ кандидата Александра Милића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 29.04.2024. године.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драган Микић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Томислав Шекара, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Жарко Јанда, виши научни сарадник  
Универзитет у Београду – Институт „Никола Тесла“

др Милан Бебић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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