

**УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА**

На седници Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици одржаној 30.09.2008. године донета је Одлука бр. 819/3-1 о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Мр Жарка Милкића**, дипл. инж. електротехнике под насловом

**АНАЛИЗА РАДА АСИНХРОНЕ МАШИНЕ СА ДВОСТРАНИМ
НАПАЈАЊЕМ И ПРИМЕНА У ВЕТРОГЕНЕРАТОРСКИМ
ПОСТРОЈЕЊИМА**

у саставу:

1. др Слободан Бјелић, редовни професор – председник
Факултет техничких наука - Косовска Митровица
2. др Ђукан Вукић, редовни професор – ментор
Пољопривредни факултет – Београд
3. др Зоран Лазаревић, редовни професор
Електротехнички факултет – Београд
4. др Предраг Осмокровић, редовни професор
Електротехнички факултет – Београд

На основу прегледа докторске дисертације Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Биографски подаци о кандидату

Мр Жарко Милкић је рођен 2.10.1956. године у Липљану. Основну школу и гимназију завршио је у Липљану. Након завршетка гимназије уписао се на Електротехнички одсек Техничког факултета у Приштини на коме је дипломирао 1981. године. Последипломске студије је завршио на Електротехничком факултету у Приштини 1995. године.

После завршетка редовних студија на Техничком факултету у Приштини запослио се у Средње образовном центру у Липљану као наставник стручних предмета. Након завршетка поступка за избор у звање асистента-приправника 1.10.1982. године прешао је у стални радни однос на Електротехнички одсек Техничког факултета у Приштини, где се и сада налази.

У протеклом периоду, радећи као асистент на Катедри за електричне машине успешно је изводио рачунске и лабораторијске вежбе из предмета Електричне машине I, II и III, Испитивања електричних машина и Електромоторни погони.

У оквиру сарадње Електротехничког факултета у Приштини са привредним организацијама у протеклом периоду учествовао је у реализацији великог броја испитивања, пројеката, ревизија и техничких пријема из области електроенергетике.

Мр Жарко Милкић је до сада објавио следеће радове:

1. Вукић Ђ., Милкић Ж., Чукарић А.: "Фактор снаге асинхроног мотора са двостраним напајањем", 22 Саветовање "ЈУКО СИГРЕ", Врњачка Бања, 1995.

2. Вукић Ђ., Милкић Ж., Чукарић А., Делић Љ.: "Регулисање напона ротора асинхроног мотора са двостраним напајањем", VIII Симпозијум "Енергетска електроника", Нови Сад, 1995.

3. Милкић Ж.: "Карактеристике асинхроног мотора са двостраним напајањем", магистарска теза, Електротехнички факултет, Приштина, 1995.

4. Делић Љ., Вукић Ђ., Милкић Ж., Чукарић А.: "Испитивање парцијалних пражњења у изолационом систему трансформатора при различитим температурама", Саветовање "Трансформатори у електроенергетици", Београд, 1996.

5. Чукарић А., Вукић Ђ., Милкић Ж., Делић Љ.: "Алгоритам дигиталног релеја за заштиту трансформатора са хармонијском блокадом", Саветовање "Трансформатори у електроенергетици", Београд, 1996.

6. Vukić Đ., Milkić Ž., Stojanović D., Mitrović N.: "Characteristic and tendency development of Double-Fed Induktion motor", V International Conference Tesla III Milenium, Proceedings, pp. 97-106, Belgrade, 1996.

7. Милкић Ж., Вукић Ђ., Ерцеговић Ђ., Чукарић А.: "Примена асинхроних генератора са кавезним ротором за коришћење енергије ветра", научни скуп "Алтернативни извори енергије и будућност њихове примене", Будва, 2007.

8. Милкић Ж., Чукарић А., Вукић Ђ., Ерцеговић Ђ.: "Математички модел асинхроног генератора са двостраним напајањем и примена у ветроелектранама", часопис Трактори и погонске машине, бр. 4, стр. 161-168, Нови Сад, 2007.

9. Милкић Ж., Вукић Ђ., Чукарић А.: "Активна и реактивна снага асинхроног генератора са двоструким напајањем", часопис Пољопривредна техника, св. 4, стр. 1-11, Београд, 2007.

Mr Жарко Милкић је коаутор следећих уџбеника:

1. Вукић Ђ., Милкић Ж., Стајић З.: "Трансформатори - збирка задатака", Електротехнички факултет, Приштина, 1998.

2. Вукић Ђ., Чукарић А., Милкић Ж.: "Синхроне машине - збирка задатака", Факултет технолошких наука, К. Митровица, 2007.

Предмет и циљ дисертације

Асинхрона машина са намотаним ротором ради у режиму двостраног напајања у случају када се напајање са једне стране (обично са стране статора) врши из мреже а са друге стране (најчешће са стране ротора) из извора који омогућава независно регулисање амплитуде, учестаности и фазе напона који се уводи у коло ротора. Овај начин рада асинхроне машине открио је Никола Тесла али тај режим рада дуго времена није налазио примену пре свега због проблема, како техничке тако и економске природе, везаних за извор променљивог напона и учестаности. Међутим, захваљујући наглом развоју полупроводничке технике у последњих неколико деценија долази и до развоја полупроводничких претварача напона и учестаности чијом се применом успешно решава проблем извора променљивог напона и учестаности. Због тога, асинхрона машина са двостраним напајањем налази све ширу примену како у моторском тако и у генераторском режиму рада.

Предмет ове дисертације јесте анализа рада асинхроне машине са двостраним напајањем како у моторском тако и у генераторском режиму рада, са посебним освртом на примену моторског режима рада и регулисаним електромоторним погонима, као и примену генераторског режима рада за добијање електричне енергије из енергије ветра.

С обзиром да се досадашњи резултати истраживања из ове области углавном односе на машине велике снаге, истраживања спроведена у овој дисертацији су усмерена ка машинама мале и средње снаге.

Циљ ове дисертације је да се након дефинисања општег математичког модела моторског и генераторског режима рада асинхроне машине са двостраним напајањем, изврши анализа и оптимизација ових режима рада уз посебну конкретизацију на машине мале и средње снаге. При томе је код моторског режима рада посебан акценат стављен на регулисане електромоторне погоне са широким опсегом регулисања брзине, у једном и другом смеру, испод и изнад синхроне брзине а генераторског режима рада на примену ове врсте генератора за добијање електричне енергије из енергије ветра у ветрогенераторским постројењима.

Приказ докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Жарка Милкића под називом **"Анализа рада асинхроне машине са двостраним напајањем и примена у ветрогенераторским постројењима"** садржи 142 стране, 104 слике и дијаграма и 3 табеле, при чему је изложена материја сврстана у 7 поглавља, уз списак коришћене литературе од 50 библиографских јединица.

Рад је систематизован на следећи начин: УВОД, 1. Математички модел асинхроне машине са двостраним напајањем, 2. Карактеристике асинхроног мотора са двостраним напајањем, 3. Регулисање асинхроног мотора са двостраним напајањем, 4. Експериментална испитивања, 5. Конструкција и примена асинхроног мотора са двостраним напајањем, 6. Карактеристике асинхроног генератора са двостраним напајањем, 7. Примена асинхроног генератора са двостраним напајањем у ветрогенераторским постројењима, Закључак, Регистар ознака и Литература.

У Уводу су дате основне карактеристике синхроног режима асинхроне машине са двостраним напајањем, досадашњи резултати теорије и примене овог режима рада асинхроне машине, приказ значаја и актуелности истраживања у оквиру ове дисертације, циљеви истраживања као и садржај дисертације.

У првом поглављу дефинисан је општи математички модел асинхроне машине са двостраним напајањем која ради у синхронном режиму рад. Испитивањем и тестирањем више различитих математичких модела дошло се до закључка да за овај режим рада асинхроне машине најбоље резултате даје математички модел дефинисан преко просторних вектора и то у односу на референтну осу која се обрће брзином једнакој синхроној брзини, односно брзини обртног магнетног поља статора. При томе су на основу тог модела изведена напонске једначине које представљају основу за даљу анализу како моторског тако и генераторског режима рада асинхроне машине са двостраним напајањем.

У другом поглављу је, на основу дефинисаног математичког модела, извршена анализа рада моторског режима рада асинхроне машине са двостраним напајањем. При томе су најпре дефинисане еквивалентне шеме и векторски дијаграми а затим су изведени изрази за све карактеристичне величине за тај режим рада, односно изрази за флуксеве, струје статора и ротора, момент, активне и реактивне снаге, фактор снаге и степен корисног дејства. На основу добијених израза добијене су одговарајуће карактеристике у функцији клизања и угла оптерећења за све типичне режиме рада и то за један мотор мале снаге ($P_n = 3,7 \text{ kW}$) и један мотор средње снаге ($P_n = 200 \text{ kW}$) како би могле да се уоче специфичности у погледу понашања мотора мале и средње снаге у условима регулисања брзине двостраним напајањем.

Треће поглавље је посвећено регулисање асинхроног мотора са двостраним напајањем. Показано је да се деловањем на напон ротора могу добити оптимални режими рада у складу са унапред постављеним критеријумима. У том смислу за оба мотора дефинисани су закони регулисања напона ротора који обезбеђују рад мотора са минималном струјом статора, са минималном струјом ротора као и оптималан рад мотора са аспекта вредности реактивних снага статора и ротора.

Четврто поглавље садржи резултате експерименталних испитивања неких режима рада асинхроног мотора са двостраним напајањем како би се проверила ваљаност закључака добијених теоретском анализом. Испитивања су спроведена на асинхроном мотору снаге $P_n = 3,7 \text{ kW}$ који је за ту сврху специјално пројектован и конструисан у фабрици "Север" Суботица, како би био прилагођен условима који се имају у условима двостраног напајања.

Пето поглавље је посвећено специфичностима конструкције и примени асинхроног мотора чије се брзина регулише двостраним напајањем. Пошто стандардно конструисан асинхронни мотор са намотаним ротором није оптимално прилагођен условима који се имају при двостраном напајању у раду је предложено неколико конструктивних специфичности које значајно побољшавају карактеристике мотора за тај режим рада (повећање реактансе расипања статора, повећање дужине машине, смањења унутрашњег пречника, применом двостраног намотаја на ротору, побољшање система улежиштења, избор одговарајућег система хлађења и др.). На основу спроведене анализе дошло се до закључка да је перспектива шире примене овог начина регулисања брзине у електромоторним погонима где су изражени захтеви за континуалним подешавањем брзине у широком опсегу, у једном и другом смеру као и захтеви за развијањем великих брзина.

У шестом поглављу су на основу општег математичког модела изведени изрази за све карактеристичне величине и добијене одговарајуће карактеристике за генераторски режим рада асинхроне машине са двостраним напајањем, слично као што је урађено за моторски режим рада у другом поглављу.

Седмо поглавље је посвећено примени асинхроног генератора са двостраним напајањем у ветрогенераторским постројењима, за добијање електричне енергије из енергије ветра. При томе су најпре изложене основне карактеристике ветроенергетике а затим су, на основу анализе спроведене у претходном поглављу, изведени закључци у погледу особина асинхроног генератора са двостраним напајањем, који га препоручују за примену у условима који се имају у ветрогенераторским постројењима. Посебно је анализиран проблем векторске контроле активне и реактивне снаге, при чему су поред теоретске анализе дате и одговарајуће шеме за ту сврху.

У Закључку су сумирани резултати дисертације и истакнути најважнији резултати и доприноси.

Вредновање и оцена докторске дисертације

Комисија закључује да докторска дисертација мр Жарка Милкића, дипл. инж. представља веома квалитетан истраживачки рад који садржи оригиналне резултате у области електричних машина. Основни допринос ове дисертације су:

- Дефинисан је оригиналан математички модел за анализу моторског и генераторског режима рада асинхроне машине са двостраним напајањем.

- Изведени су изрази за све карактеристичне величине једног и другог режима рада и извршена њихова примена на једну машину мале снаге и једну машину средње снаге. Велики број дијаграма који је на тај начин добијен и који су приложени у раду пружа увид у све карактеристичне режиме рада.

- Извршена је упоредна анализа особина и карактеристика стандардно конструисаних асинхроних машина мале снаге и асинхроних машина средње снаге у условима двостраног напајања.

- Извршено је дефинисање закона регулисања напона ротора који омогућава да се изврши оптимизација рада асинхроног мотора са двостраним напајањем у складу са унапред постављеним критеријумом (минимална струја статора, минимална струја ротора, задати однос реактивних снага статора и ротора, захтеви полупроводничког претварача, проширење области стабилног рада). Дефинисани су услови статичке стабилности рада асинхроног мотора са двостраним напајањем као и закон регулисања напона ротора који омогућавају проширење области стабилног рада.

- С обзиром да стандардно конструисана асинхрона машина са намотаним ротором није оптимално прилагођена режимима двостраног напајања у раду је, на основу резултата добијених претходном анализом предложен посебан поступак за одређивање основних димензија асинхроне машине (осна дужина и унутрашњи пречник), више конструктивних специфичности које се односе на асинхрону машину предвиђену за рад у условима двостраног напајања у односу на стандардно конструисану машину а то су: повећање магнетног расипања статора, повећање дужине ваздушног зазора, прилагођење система улежиштења и система хлађења интервалу промене брзине обртања и примена двоструких намотаја на ротор.

- Дефинисани закони регулисања напона ротора за рад асинхроног генератора са двостраним напајањем и ветроелектранама у режиму константне снаге и у режиму константног фактора снаге.

На крају истичемо да је један део изложених резултата публикован на конференцији међународног значаја [6, 7] и часописима националног значаја [8, 9].

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу извршеног увида у докторску дисертацију мр Жарка Милкића Комисија сматра да дисертација садржи више оригиналних научних доприноса који се односе на режим двостраног напајања асинхроне машине са намотаним ротором. Резултати истраживања су од значаја како са научног становишта тако и са становишта њихове практичне примене.

Имајући у виду актуелност обрађене проблематике и остварене научне резултате Комисија са задовољством предлаже Научно-наставном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да се докторска дисертација под насловом **"Анализа рада асинхроне машине са двостраним напајањем и примена у ветрогенераторским постројењима"** прихвати и да се кандидату мр Жарку Милкићу одобри усмена одбрана.

14. 10. 2008.

Косовска Митровица

КОМИСИЈА

1. др Слободан Бјелић, редовни професор – председник
Факултет техничких наука - Косовска Митровица

2. др Ђукан Вукић, редовни професор – ментор
Пољопривредни факултет – Београд

3. др Зоран Лазаревић, редовни професор
Електротехнички факултет – Београд

4. др Предраг Осмокровић, редовни професор
Електротехнички факултет – Београд