

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Икића, магистра електротехнике, за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5049/13-3 од 23.06.2022. године, а на основу закључака и записника са 874. седнице Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду која је одржана 14.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Икића, магистра електротехнике за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом: **„Компоненте снаге и хармонијска изобличења напона и струја фотонапонских система”**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Икић рођен је 20. 12. 1986. у Сарајеву, БиХ. Основну школу „Паја Маргановић“ завршио је у Делиблату, Србија. Средњу школу „28. јуни“ завршио је 2005. године у Источном Сарајеву. Носилац је Вукових диплома и у основној и у средњој школи. Проглашен је учеником генерације у средњој школи.

На Електротехнички факултет у Источном Сарајеву уписује се 2005. године, као најбољи на пријемној ранг листи. Дипломирао је у септембру 2009. године на Одсеку за електроенергетику, са просечном оцјеном 9,66 као први у генерацији. Дипломски рад под називом „Преглед топологија електроенергетских претвараача у електромоторним погонима“ одбранио је са оценом 10 (десет). Студије другог циклуса (мастер студије) на Електротехничком факултету Универзитета у Источном Сарајеву, на одсеку за Електроенергетику, завршава у октобру 2013. године одбравивши рад под називом „Уштеда и побољшање квалитета електричне енергије у систему јавне расвјете примјеном савремених технологија“ са оцјеном 10 (десет). Тренутно похађа докторске (III циклус) студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Електроенергетске мреже и системи.

Носилац је бројних признања Електротехничког факултета за успешно студирање и представљање Електротехничког факултета Универзитета у Источном Сарајеву на сусретима студента електротехнике – Електријадама. Током прве четири године студија додељиване су му Плакете ЕТФ-а за најбољег студента године. Такође, додељена му је и Плакета Универзитета у Источном Сарајеву у мају 2009. године. Добитник је стипендија

Министарства просвјете и културе Републике Српске, ЗП „Електродистрибуција“ а.д. Пале и фондације „Др Милан Јелић“ за мастер и докторске студије.

Члан је међународног удружења инжењера електротехнике IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Председник је техничког комитета BAS/TC 10 (Опрема за мерење електричне енергије и управљање оптерећењем) и активан члан техничког комитета BAS/TC 57 (Кућански и слични електрични апарати) Института за стандардизацију БиХ. Такође, члан је организационог одбора научно-стручног симпозијума ИНФОТЕХ-Јахорина, Уредничког вијећа часописа Босанскохерцеговачка електротехника (B&H Electrical Engineering), Управног одбора ВН К/О CIGRE, те председник секције SO4 ВН К/О CIRED Дистрибуирана производња и ефикасно коришћење електричне енергије.

Тренутно ради као виши асистент на Електротехничком факултету у Источном Сарајеву, на ужим научним областима Електроенергетика и Општа електротехника.

Област његовог интересовања су обновљиви извори електричне енергије са фокусом на фотонапонске системе, њихову интеграцију и утицај на електроенергетски систем. Аутор је више радова публикованих у међународним и домаћим часописима, зборницима међународних, регионалних и националних конференција. Такође, као истраживач је учесник неколико међународних и националних истраживачких пројеката. Говори енглески језик, а по потреби се служи и грчким.

Ожењен је и отац троје деце.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписан на докторске студије 05. новембра 2013. године на студијски програм Електроенергетске мреже и системи са бројем индекса 5049. Списак 10 испита положених са просечном оценом 9,50 дат је у табели 1. Списак научних и истраживачких обавеза које је кандидат испунио дат је у табели 2.

У току свог истраживачког рада кандидат је учествовао у реализацији више научно-стручних пројеката финансираних од стране Министарства науке и технологије у Влади Републике Српске, Европских фондова (Ерасмус+), те неколико студија за привреду. Такође, избор предмета на докторском студију је уско везан за област интересовања кандидата и у складу је са постављеним истраживачким планом рада на докторским студијама. Будући да је кандидат запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Источном Сарајеву у звању вишег асистента на предметима Теорија електричних кола, Електроенергетски претварачи, Обновљиви извори електричне енергије јасно потврђују да кандидат посједује довољна предзнања потребна за израду докторске дисертације. На основу рада на поменутим активностима кандидат је публиковао 43 научно-стручна рада, од којих се 17 директно односи на област обновљивих извора енергије.

Табела 1. Списак положених испита

Назив	Оцена	ЕСПБ	Датум полагања	Потписао наставник
Поузданост електроенергетских система	10	9	30.06.2014.	Зоран Радојевић
Фактор снаге и методе за поправку фактора снаге у присуству виших хармоника	10	9	11.07.2014.	Јован Микуловић
Мерне спреге и мерни трансформатори	10	9	27.08.2014.	Драгутин Саламон
Примена програмских алата у електроенергетици	10	9	22.08.2014.	Златан Стојковић

Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9	19.09.2014.	Јован Микуловић
Уземљивачки системи	10	9	11.09.2015.	Драгутин Саламон
Енглески језик	8	6	28.08.2015.	Милош Ђурић
Енергетски претварачи	10	9	09.09.2015.	Жељко Деспотовић
Дистрибутивни системи - оптимално планирање и експлоатација	9	9	30.08.2016.	Никола Рајаковић
Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	8	9	23.09.2016.	Жељко Ђуришић

Табела 2. Списак испуњених обавеза

Обавеза	ЕСПБ	Датум
Студијски истраживачки рад I	15	07.10.2014.
Студијски истраживачки рад II	15	30.09.2016.
Научно стручни рад	3	15.09.2015.

Публиковани радови:

Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

- [1] **Marko Ikić**, Jovan Mikulović: „Experimental Evaluation of Distortion Effect for Grid-Connected PV Systems with Reference to Different Types of Electric Power Quantities“, MDPI Energies, Vol. 15, No. 2, pp. 416, ISSN 1996-1073, DOI 10.3390/en15020416, January 2022
- [2] Slobodan Lubura, Milomir Šoja, Srđan Lale, **Marko Ikić**, „Single-phase phase locked loop with DC offset and noise rejection for photovoltaic inverters“, IET Power Electronics, Vol. 7, pp. 1-12, ISSN 1755-4535, DOI 10.1049/iet-pel.2013.0413, 2014

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33):

- [1] **Marko Ikić**, Bojana Čolić, Jovan Mikulović, Srđan Jokić: „Impact assessment of irradiance and temperature variation on PV system current harmonics injection“, 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 10.1109/INFOTEH53737.2022.9751295, 16 - 18 March, 2022, Jahorina, RS, B&H.
- [2] Milica Ristović Krstić, Slobodan Lubura, Srđan Lale, Milomir Šoja, **Marko Ikić**, Dragiša Milovanović: „Analysis of discretization methods applied on DC-SOGI block as part of SRF-PLL structure“, INDEL Banja Luka, IEEE, pp. 1-5, ISBN 978-1-5090-2329-5, DOI 10.1109/INDEL.2016.7797771, 2016.
- [3] Milica Ristović, Slobodan Lubura, Milomir Šoja, Srđan Lale, **Marko Ikić**: „Adaptive Delay Bank Filter for Selective Elimination of harmonics in SRF-PLL structures“, IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, ISBN 978-1-4799-7992-9, pp. 308-312, June 2015.
- [4] Slobodan Lubura, Milomir Šoja, Srđan Lale, **Marko Ikić**: „Experimental Verification of Single-Phase PLL With Novel Two-Phase Generator for Grid-Connected Converters“, 15th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition – EPE-PEMC 2012 ECCE Europe, NOVI SAD, REPUBLIC OF SERBIA, T15 – Id223, September 4th – 6th
- [5] Slobodan Lubura, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „A novel two-phase generator as part of single phase PLL for grid connected converters“, 16th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER ELECTRONICS – Ee2011, NOVI SAD, REPUBLIC OF SERBIA, T4 – 2.4, October 26th – 28th
- [6] Milomir Šoja, Slobodan Lubura, **Marko Ikić**: „4Q pretvarač kao ulazni dio VSD pretvarača“, 15th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER ELECTRONICS – Ee2009, NOVI SAD, REPUBLIC OF SERBIA, EE1 – 1.2, October 28th – 30th

Радови у истакнутим часописима националног значаја (M52):

- [1] Srđan Lale, Milomir Šoja, Slobodan Lubura, **Marko Ikić**: „Educational Experimental Platform for Emulation of Photovoltaic Modules“, International Journal of Electrical Engineering and Computing, University of East Sarajevo, Faculty of Electrical Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 75-82, DOI 10.7251/IJEEC1802075L, ISSN 2566-3682, December 2018.
- [2] **Marko Ikić**, Slobodan Lubura, Milomir Šoja, Srđan Lale, Srđan Vasković: „Hybrid Power Supply System“, ACTA TEHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering, Vol. VIII, No. 3, pp. 33-37, ISSN 2067 – 3809, July-Sep 2015.
- [3] **Марко Икић**: „Енергетски ефикасне јавне расвјете“, ГЛАСНИК Институт за стандардизацију Босне и Херцеговине, ISSN 1840-2860, број 1-2, јули 2014.

- [4] Milomir Šoja, **Marko Ikić**, Mladen Banjanin, Milan Radmanović: „Improving Efficiency of Power Electronics Converters”, ELECTRONICS, Vol.14, No.2, Banja Luka, Decembar 2010., strana 37-42.
- [5] Бојана Новаковић, Срђан Јокић, **Марко Икић**, Горан Вуковић, Жељко Ђуришић: „Преглед методологија контроле хармонијских изобличења у индустријским мрежама са компензацијом реактивне снаге”, ЕНЕРГЕТИЧАР, број XV, САВЕЗ ЕНЕРГЕТИЧАРА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ Бања Лука, Мај 2010., страна 27-48

Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63):

- [1] **Марко Икић**, Младен Бањанин, Владимир Милојевић, Срђан Чалија: „Експериментална анализа утицаја фотонапонске електране на квалитет електричне енергије дистрибутивне мреже“, 2. савјетовање ВН К/О CIRED 2020, ISBN 978-9958-9527-4-6, SK/SO2-04, 25-27. октобар 2020., Мостар
- [2] Младен Бањанин, **Марко Икић**, Игор Крајишник, Александар Тодоровић: „Анализа ефикасности громобранских хватаљки са раним стартовањем“, 2. савјетовање ВН К/О CIRED 2020, ISBN 978-9958-9527-4-6, SK/SO2-07, 25-27. октобар 2020., Мостар
- [3] Сања Јовић, **Марко Икић**, Младен Бањанин, Горан Вуковић: „Утицај CFL и LED расвјетних тијела на квалитет електричне енергије“, научно-стручни симпозијум ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ - ENEF 2019, ISBN: 978-99955-46-39-7, pp. 73-78, 3-4. новембар 2019., Бања Лука
- [4] Младен Бањанин, **Марко Икић**, Горан Вуковић, Срђан Јокић: „Анализа проблема неравнојерне расподеле струје кроз кратке паралелне проводнике и смјернице ка његовом рјешавању“, 14. савјетовање ВН К/О CIGRE 2019, ISSN 2637-3246, R.B1.01, 20-23. октобар 2019., Неум
- [5] Младен Бањанин, **Марко Икић**: „Утицај малих хидроелектрана на напонске прилике и губитке у локалној електродистрибутивној мрежи“, Прво савјетовање ВН К/О CIRED 2018, R.SK/SO4.02, 14-16. октобар 2018., Мостар
- [6] Ернад Шабановић, **Марко Икић**, Слободан Лубура, Миломир Шоја: „Класификација фотонапонских система интегрисаних на омотач зграде“, научно-стручни симпозијум ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ - ENEF 2017, 3-4. новембар 2017., Бања Лука
- [7] Ернад Шабановић, **Марко Икић**, Слободан Лубура, Миломир Шоја: „Могућности и начини искориштења фотонапонских система у зградарству (BIPV)“, COMETA2016, ISBN 978-99976-623-7-8, Децембар 2016., Јахорина
- [8] Ернад Шабановић, **Марко Икић**, Слободан Лубура, Миломир Шоја: „Повезивање фотонапонских система на мрежу. Избор топологије прикључка“, COMETA2016, ISBN 978-99976-623-7-8 Децембар 2016., Јахорина
- [9] Slobodan Lubura, Srđan Lale, Bojana Novaković, Milica Ristović, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „Eksperimentalna verifikacija uticaja metoda diskretizacije na rad dvofaznog generatora kod SRF-PLL struktura“, Društvo za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, ISBN 978-86-7466-618-0, jun 2016., Zlatibor
- [10] **Marko Ikić**: „Jedna realizacija faznog upravljanja tiristorskim pretvaračima pomoću Matlab“, 3rd International Conference „NEW TECHNOLOGIES NT-2016“ Development and Application, ISSN 2303-5668, 413-420, Мај 2016., Мостар
- [11] Срђан Лале, Миломир Шоја, **Марко Икић**, Драгиша Миловановић: „Упоредна анализа метода дискретизације двофазног генератора као дијела једнофазне фазно-закључане петље“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2016.

- [12] **Марко Икић**: „Улога управљања могућим ризицима пројекта модернизације система јавне расвјете у циљу ефикаснијег извршавања пројекта“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2016.
- [13] **Marko Ikić**, Semir Hadžimuratović: „Long-term Renewable Targets and Energy Efficiency Savings in the B&H Energy Sector“, INFOTEN-JAHORINA, Mart 2016.
- [14] **Марко Икић**: „Преглед и анализа аналитичких модела криве снаге вјетротурбине са становишта одређивања фактора искоришћења производних капацитета“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2015.
- [15] Слободан Лубура, Миломир Шоја, Срђан Лале, Милица Ристовић, **Марко Икић**, Драгиша Миловановић: „АДБ филтерска банка за селективно елиминисање виших хармоника у СРФ-ПЛЛ структурама“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2015.
- [16] **Marko Ikić**, Jovan Mikulović, Željko Đurišić: „Improved model for estimating PV system production“, INDEL 2014, Novembar 2014., Бања Лука
- [17] Srđan Lale, Slobodan Lubura, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „A Digital Design of Novel Two-Phase Generator as Part of SRF-PLL Structure for PV Inverters“, INFOTEN-JAHORINA, Mart 2014.
- [18] **Марко Икић**, Миломир Шоја, Слободан Лубура, Срђан Лале, Милан Радмановић: „Нови концепт напајања система јавне расвјете“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2014.
- [19] **Марко Икић**, Миломир Шоја, Слободан Лубура, Ненад Јованчић: „Уштеда електричне енергије у систему јавне расвјете“, научно-стручни симпозијум ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ - ENEF 2013, 22-23. новембар 2013., Бања Лука
- [20] Ненад Јованчић, Миломир Шоја, **Марко Икић**: „Примјена SolarMagic SM3320 – БАТТ – EV претварача код самосталних PV система напајања“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2013.
- [21] **Марко Икић**, Миломир Шоја, Слободан Лубура, Срђан Лале, Ненад Јованчић: „Принципи уштеде електричне енергије система јавне расвјете“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2013.
- [22] **Марко Икић**, Срђан Лале, Миломир Шоја, Слободан Лубура, Милан Радмановић: „Реализација и примјена вишенамјенског DC/XC претварача“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2012.
- [23] Srđan Lale, Slobodan Lubura, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „Analysis of single-phase PLL with novel two-phase generator for grid-connected converters“, 19th Telecommunications Forum TELFOR-2011, Beograd, REPUBLIC OF SERBIA, 5.24, November 22th – 24th
- [24] Slobodan Lubura, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „A single-phase SRF PLL with a novel two-phase generator for PV microinverters“, ETAI2011, Ohrid, Macedonia, September 2011.
- [25] Slobodan Lubura, Milomir Šoja, **Marko Ikić**: „The improved single-phase srf dpll algorithm with a second – order digital filter“, INFOTEN-JAHORINA, Mart 2011.
- [26] Миломир Шоја, Слободан Лубура, **Марко Икић**, Срђан Лале: „Неке методе за повећање ефикасности микроинвертора“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2011.
- [27] **Marko Ikić**, Semir Hadžimuratović, Boško Kenjić, Gary A. Goldstein, Evelyn L. Wright, Bruno Merven: „Implementation of strategic energy planning tools for the BiH energy system“, INFOTEN-JAHORINA, Mart 2010.
- [28] Миломир Шоја, **Марко Икић**, Младен Бањанин, Милан Радмановић: „Повећање ефикасности претварача енергетске електронике - I дио“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2010.

- [29] Миломир Шоја, **Марко Икић**, Младен Бањанин, Милан Радмановић: „Повећање ефикасности претварача енергетске електронике - II дио“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2010.
- [30] **Марко Икић**: „Безколекторски једносмјерни мотор (BLDC) са трапезним обликом индукованог фазног напона“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Март 2009

Кандидат Марко Икић је 31. августа 2022. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду јавно усмено бранио предложену тему докторске дисертације, при чему је комисија у саставу:

1. др Жељко Ђуришић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду,
2. др Срђан Лале, доцент, Електротехнички факултет, Универзитет у Источном Сарајеву,
3. др Лазар Сарановац, редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

закључила да је кандидат Марко Икић на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену **задовољно** и да задовољава потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Током дискусије, чланови Комисије и кандидат су усагласили наслов теме докторске дисертације.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је кандидат постигао у свом досадашњем стручном и научном раду, а од којих бисмо издвојили следеће:

- Кандидат је сакупио сто двадесет (120) ЕСПБ (пологањем испита на докторским студијама и обављањем научно истраживачких обавеза),
- Дана 31. августа 2022. године је јавно одбранио тему докторске дисертације пред Комисијом (проф. др Жељко Ђуришић, доц. др Срђан Лале, проф. др Лазар Сарановац) формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду на својој седници број 874. од дана 14.06.2022. године,
- Публиковање укупно 43 рада, од којих су 2 рада публикована у истакнутим међународним часописима, 6 радова у зборницима међународних конференција, 5 радова у националним часописима и 30 радова у зборницима скупова националног значаја, што га квалификује за научни рад,
- Остварено практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације,

можемо закључити да кандидат Марко Икић у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације је анализа утицаја фотонапонских система на квалитет електричне енергије у тачки прикључења на електроенергетску мрежу са посебним освртом на одређивање компоненти снага инјектираних у мрежу на основу теорије физичких компоненти струја.

Глобална енергетска криза и аспект на заштити животне средине увелико су допринели масовној употреби и експлоатацији обновљивих извора енергије који су по својој природи неисцрпни и не загађују животну средину током свог рада. Фотонапонски системи су постали широко коришћена технологија за производњу електричне енергије која испуњава критеријуме чисте енергије и одрживости. Осим тога, фотонапонски системи су енергетски извори који се најинтензивније развијају у садашње време. Пратећи светске трендове, кумулативно инсталисана снага фотонапонских система у 2021. години износила је 727 GW, што представља значајан удео у производним капацитетима у електроенергетским системима. Такође, тренд пораста инсталисаних капацитета фотонапонских система се очекује и у будућности због једноставности инсталирања и коришћења ових система, као и због све напредније технологије којом се повећава ефикасност фотонапонских модула и претварача енергетске електронике преко којих се прикључују на електроенергетску мрежу. Међутим, због саме природе сунчевог зрачења, његове променљивости и зависности од временских услова, коришћење фотонапонских система у електроенергетским системима као извора енергије наметнула је нове изазове у погледу одржања прописаног квалитета електричне енергије, као и поузданог и сигурног рада електроенергетске мреже. Ови потенцијални проблеми и изазови могу бити класификовани у две групе. У прву групу спадају проблеми квалитета електричне енергије (тј. напајања), као што су пропади и премашења напона, несиметрије напона, флукуације и шум у напону, хармонијске дисторзије напона и струја, низак фактор снаге електране, итд. У другу групу се сврставају проблеми који се јављају у устаљеном раду електроенергетског система са обновљивим изворима енергије, као што су управљање оптерећењем и фреквенцијом, неселективност и неисправност заштитне опреме, преоптерећења напојних водова и трансформатора, повећања губитака електричне енергије, итд. Решавање наведених проблема је неопходно у циљу интеграције и несметаног рада фотонапонских система у електроенергетским системима.

У литератури је, кроз детаљну анализу утицаја различитог интензитета сунчевог зрачења (соларне ирадијансе) на квалитет електричне енергије фотонапонских система повезаних на мрежу, назначено да низак интензитет сунчевог зрачења значајно утиче на хармонијска изобличења струја које се инјектирају у мрежу, а самим тим и на снагу производње из фотонапонских система задржавајући фактор снаге на ниском нивоу (због упоредиве производње активне и неактивне снаге). Хармонијска изобличења струја које се генеришу на излазу фотонапонских система и напона мреже на коју су повезани, зависе у највећој мери од топологије инвертора/претварача преко којег су повезани на мрежу, као и од реализације управљачке структуре којом се регулише рад претварача. Такође, карактеристике филтерског кола на страни мреже у претварачу за фотонапонске системе могу у великој мери да утичу на хармонијска изобличења струје. Из тих разлога, проблем са квалитетом електричне енергије ће бити изражен при масовној употреби фотонапонских система, нарочито у нисконапонској дистрибутивној мрежи. Висока пенетрација фотонапонских система у дистрибутивној мрежи је већ присутна а биће још већа услед напретка фотонапонске технологије, смањења капиталних трошкова, као и увођења државних субвенција и повлашћених тарифних политика. Према томе, задаци истраживања у циљу побољшања квалитета електричне енергије у тачки прикључења фотонапонских система на мрежу иду у правцу одређивања и дефинисања стратегија и начина управљања фотонапонским инверторима како би се обезбедио баланс између захтева за максималном производњом активне снаге и задовољење постављених критеријума за обезбеђење захтеваног квалитета електричне енергије у тачки прикључења на мрежу. Самим тим, анализа управљања инвертором у циљу подешавања/регулације активне и реактивне снаге која се инјектира у мрежу у условима смањене ирадијансе од важности је за несметан рад целог система.

У системима са хармонијским изобличењима и несиметријама напона и струја, питање идентификације компоненти неактивне снаге је тема о којој се још увек расправља у широј академској заједници. Према различитим дефиницијама снага у трофазним колима, највише коришћена литература за дефинисање снага у присуству хармоника је IEEE стандард 1459-2010. Овај стандард даје многе дефиниције снаге у трофазним системима: за случај простопериодичних и балансираних напона и струја, за случај простопериодичних и небалансираних напона и струја, као и за случај сложенопериодичних и небалансираних напона и струја. Како фотонапонски системи повезани на мрежу производе електричну енергију са значајним уделом хармоника у струји, посебно у интервалима са ниским интензитетом сунчевог зрачења, ови системи се могу класификовати као нелинеарни системи. Према томе, у оквиру предложене докторске дисертације постављен је јасан циљ у погледу идентификације компоненти снага инјектирања у тачки прикључења фотонапонских система на мрежу. Због тога ће се у дисертацији користити теорија која користи физичке интерпретације компоненти струја (*Currents' Physical Components Theory*) у циљу идентификације компоненти неактивне снаге: реактивне, расипне и небалансиране снаге.

За интеграцију и повезивање фотонапонских система на мрежу и њихову правилну синхронизацију, неопходно је обезбедити прецизно одређивање величина у мрежи као што су фреквенција, амплитуда и фазни угао мрежног напона. С обзиром да се ови параметри естимирају фазно-закључаним петљама (PLL) које су део управљачке структуре инвертора, јављају се проблеми естимације наведених величина што доводи до хармонијских изобличења струја и нижег фактора снаге. Будући да се на излазу фазно-закључаних петљи добија референтни сигнал за генерисање управљачких импулса инвертора, од велике је важности да се проблеми у погледу једносмерне компоненте (DC offset) и шума при мерењу и а/д конверзији сигнала у оквиру PLL структуре елиминишу и на тај начин смањи евентуални утицај на хармонијска изобличења у генерисаним струјама на излазу инвертора. Принцип рада фотонапонских инвертора заснива се на прекидачкој техници и ширинско-импулсној модулацији. При генерисању и управљању амплитудом и фреквенцијом излазног напона, значајан утицај на хармонијска изобличења излазних параметара има вредност индекса амплитудске модулације која директно/индиректно зависи од интензитета сунчевог

зрачења. У оквиру предложене дисертације биће детаљно размотрени и обрађени утицаји наведених фактора на хармонијска изобличења струја и напона фотонапонских система.

Досадашња пракса управљања инверторима у циљу постизања високог фактора снаге фотонапонских система се заснива на управљању активном и реактивном снагом при основном хармонику. Овакав начин управљања је ефикасан при високом интензитету сунчевог зрачења. У условима смањеног интензитета сунчевог зрачења, инјектирана струја постаје изобличена тако да до изражаја долази расипна компонента снаге која постаје упоредива са реактивном компонентом снаге. Због тога ће у дисертацији бити разматрана нова решења за побољшање квалитета електричне енергије и поправку фактора снаге фотонапонских система која се заснивају на употреби дистрибуираних статичких компензатора (DSTATCOM). Ови уређаји имају улогу компензатора неактивне снаге и активног филтера за елиминацију виших хармоника.

Значај истраживања предложене докторске дисертације се огледа у детаљној анализи утицаја фотонапонских система на хармонијска изобличења напона и струја при различитим условима експлоатације и у идентификацији компоненти снага које се инјектирају у тачки прикључења на мрежу. Такође су од значаја и нова решења за побољшање квалитета електричне енергије и поправку фактора снаге фотонапонских система која се заснивају на употреби дистрибуираних статичких компензатора.

У наставку је дат списак референци који представља полазну базу за истраживање и потврђује актуелност предложене теме докторске дисертације:

- [1] Elkholy, A. Harmonics assessment and mathematical modelling of power quality parameters for low voltage grid connected photovoltaic systems. *Solar Energy* 2019, 183, 315–326.
- [2] Liang, X.; Andalib-Bin-Karim, C. Harmonics and Mitigation Techniques Through Advanced Control in Grid-Connected Renewable Energy Sources: A Review. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2018, 54, 3100–3111.
- [3] Khomsi, C.; Bouzid, M.; Jelassi, K. Power Quality Improvement in a Three-Phase Grid Tied Photovoltaic System Supplying Unbalanced and Nonlinear Loads. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2018, 8, 1165–1177.
- [4] Ahsan, S.M.; Khan, H.A.; Hussain, A.; Tariq, S.; Zaffar, N.A. Harmonic Analysis of Grid-Connected Solar PV Systems with Nonlinear Household Loads in Low-Voltage Distribution Networks. *Sustainability* 2021, 13, 3709.
- [5] Zainuddin, M.; Surusa, F.; Syafaruddin; Manjang, S. The Effect of Irradiance on Distribution Power System Stability in Large- Scale Grid-Connected Photovoltaic. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, Indonesia, 24–25 July 2019; pp. 805–810.
- [6] Liang, X. Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2017, 53.
- [7] A. Chidurala. High Penetration of PV Systems in Low Voltage Distribution Networks: Investigation of Power Quality Challenges and Mitigation. *Doctoral Theses at The University of Queensland*, 2016.
- [8] C.G.Corralla, J.Segundoa, M.Esparzab, R.Cruza. Optimal LCL-filter design method for grid-connected renewable energy sources. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 120, September 2020.
- [9] Al-Shetwi, A.Q.; Hannan, M.A.; Jern, K.P.; Alkahatani, A.A.; PG Abas, A.E. Power Quality Assessment of Grid-Connected PV System in Compliance with the Recent Integration Requirements. *Electronics* 2020, 9, 366.
- [10] Smith, J.; Rönnberg, S.; Bollen, M.; Meyer, J.; Blanco, A.; Koo, K.L.; Mushamaliwa, D. Power Quality Aspects for Solar Power. *CIGRE Working Group JWG C4/C6.29. CIRED-Open Access Proc. J.* 2017, 2017, 809–813.

- [11] Ouai, A.; Mokrani, L.; Machmoum, M.; Houari, A. Control and energy management of a large-scale grid-connected PV system for power quality improvement. *Solar Energy* 2018, 171, 893–906.
- [12] A.Q.Al-Shetwi, M.Z.Sujod, M.A.Hannan, M.A.Abdullahd, A.S.Al-Ogaili, K.P.Jern, Impact of Inverter Controller-Based Grid-Connected PV System in the Power Quality. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications* Vol. 9, No. 6, November 2020.
- [13] Shigenobu, R.; Nakadomari, A.; Hong, Y.-Y.; Mandal, P.; Takahashi, H.; Senjyu, T. Optimization of Voltage Unbalance Compensation by Smart Inverter. *Energies* 2020, 13, 4623.
- [14] Zhang, Y.; Srivastava, A. Voltage Control Strategy for Energy Storage System in Sustainable Distribution System Operation. *Energies* 2021, 14, 832.
- [15] Daniel, K.; Kütt, L.; Iqbal, M.N.; Shabbir, N.; Rehman, A.U.; Shafiq, M.; Hamam, H. Current Harmonic Aggregation Cases for Contemporary Loads. *Energies* 2022, 15, 437.
- [16] Bajaj, M, Singh, AK. Grid integrated renewable DG systems: A review of power quality challenges and state-of-the-art mitigation techniques. *International Journal of Energy Research*. 2020; 44: 26– 69.
- [17] P.R. Rivera. Grid-Connected Photovoltaic Systems Based on Nonlinear Control. Doctoral Theses at University of Louisville, 2018.
- [18] M. Ikic, J. Mikulovic. Experimental Evaluation of Distortion Effect for Grid-Connected PV Systems with Reference to Different Types of Electric Power Quantities. *MDPI Energies*, Vol. 15, No. 2, pp. 416, ISSN 1996-1073, DOI 10.3390/en15020416, January 2022
- [19] S. Lubura, M. Soja, S. Lale, M. Ikic. Single-phase phase locked loop with DC offset and noise rejection for photovoltaic inverters. *IET Power Electronics*, Vol. 7, pp. 1-12, ISSN 1755-4535, DOI 10.1049/iet-pel.2013.0413, 2014.
- [20] N. Mohan; T. Undeland; W. Robbins. *Power Electronics. Converters, Applications and Design*. John Wiley & Sons, 1995.
- [21] W. Rohouma; R.S. Balog; A.A. Peerzada; M. Begovic. D-STATCOM for harmonic mitigation in low voltage distribution network with high penetration of nonlinear loads. *Renewable Energy*, Vol. 145, 2020, Pages 1449-1464,
- [22] M. Kumar; A. Swarnkar; N. Gupta; K. R. Niazi. Design and operation of DSTATCOM for power quality improvement in distribution systems. *The 6th International Conference on Renewable Power Generation (RPG)*, October 2017.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе као предмет истраживања предложене докторске дисертације су:

- Квалитет електричне енергије у тачки прикључења фотонапонског система на мрежу је нарушен у периодима са ниским интензитетом сунчевог зрачења због хармонијских изобличења струје и повећања компоненти неактивне снаге које се инјектирају у мрежу;
- У случају када је фотонапонски систем прикључен на мрежу са великом снагом кратког споја у тачки прикључења, утицај фотонапонског система на квалитет напона у тачки прикључења је занемарљив;
- Топологије и управљачке структуре инвертора у значајној мери утичу на хармонијска изобличења струја које фотонапонски систем инјектира у мрежу;
- За постизање високе вредности фактора снаге фотонапонског система у условима смањеног интензитета сунчевог зрачења потребно је извршити идентификацију свих компоненти неактивне снаге и предузети одговарајуће мере за њихову компензацију.

4. Научне методе истраживања

У току израде докторске дисертације биће спроведене различите методе истраживања, почевши од нумеричких анализа, моделовања, симулација до мерења реалних параметара на постојећем фотонапонском систему. За анализу утицаја фотонапонског система повезаних на мрежу на квалитет електричне енергије најпре ће бити извршено прикупљање, систематизација и детаљна анализа постојећих знања у области истраживања са циљем да се сагледа проблематика и утврде смернице у наредним фазама истраживања. Употребом програмског пакета MATLAB/Simulink, биће развијен модел реалног фотонапонског система и биће формирана симулација рада система у различитим експлоатационим условима у циљу испитивања и бољег разумевања утицаја различитих параметара на квалитет електричне енергије у тачки прикључења фотонапонског система на мрежу. Валидација и верификација истраживања биће извршена кроз поређење резултата добијених моделовањем са резултатима добијеним на основу мерења на конкретном фотонапонском систему.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос предложене докторске дисертације су:

- Детаљна анализа утицаја фотонапонског система на квалитет електричне енергије са посебним освртом на хармонијска изобличења струја и напона у тачки прикључења на мрежу;
- Развој симулационог модела за анализу рада фотонапонског система и његовог утицаја на квалитет електричне енергије у мрежи;
- Анализа параметара у управљачким структурама енергетских претварача у фотонапонским системима који индиректно утичу на квалитет електричне енергије;
- Примена теорије која користи физичке интерпретације компоненти струја за идентификацију компоненти снага инјектираних у мрежу;
- Предлог нових решења за смањење хармонијских изобличења струја инјектирања и поправку фактора снаге фотонапонских система која се заснивају на употреби дистрибуираних статичких компензатора;
- Реализација мерно-аквизиционог система за добијање експерименталних резултата истраживања.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене докторске дисертације се може представити кроз следеће фазе истраживања:

- Преглед и систематизација актуелних истраживања у области утицаја фотонапонских система на квалитет електричне енергије;
- Преглед и анализа постојећих стандарда у вези фотонапонских система повезаних на мрежу;
- Моделовање и симулација реалног фотонапонског система повезаног на мрежу;
- Примена теорије која користи физичке интерпретације компоненти струја за идентификацију компоненти снаге производње из фотонапонских система у присуству виших хармоника напона и струја;
- Анализа могућности примене дистрибуираних статичких компензатора у циљу смањења хармонијских изобличења струја инјектирања и поправку фактора снаге фотонапонских система;
- Реализација мерно-аквизиционог система за мерење параметара реалног фотонапонског система;
- Анализа резултата мерења параметара реалног фотонапонског система и поређење са резултатима добијених моделовањем и симулацијом.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Марка Икића, магистра електротехнике, Комисија је закључила да:

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;
2. Предложена тема је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос у предметној области истраживања.

Ужа научна област теме су електроенергетске мреже и системи, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

Узимајући у обзир све поменуте чињенице, комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Марку Икићу одобри израду докторске дисертације под насловом „Компоненте снаге и хармонијска изобличења напона и струја фотонапонских система”. За ментора израде докторске дисертације предлаже се др Јован Микуловић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Уз овај извештај се прилаже и списак радова предложеног ментора на одговарајућем формулару Универзитета.

У Београду, 23. септембра 2022. године

Чланови комисије



др Јован Микуловић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Жељко Ђурић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Срђан Лале, доцент
Универзитет у Источном Сарајеву - Електротехнички факултет



др Лазар Сарановац, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет