

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Наде М. Вучијак

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 859/3 од 17.11.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Наде М. Вучијак под насловом

„Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“

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

Кандидаткиња мр Нада М. Вучијак је стекла звање магистра електротехнике у децембру 2002. године на Електротехничком факултету у Београду из уже научне области Мерења у електротехници.

Кандидаткиња је пријавила тему за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду 25.01.2011. године. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета у Београду разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације 22.02.2011. године. Наставно-научно веће именовало је комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације на седници одржаној 29.03.2011. године, у саставу др Лазар Сарановац, ванредни професор (ментор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Предраг Пејовић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Жарко Јанда, научни сарадник (Електротехнички институт „Н. Тесла“, Београд). Извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Наставно-научно веће је прихватило на седници одржаној 19.04.2011. године, а Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“ 06.06.2011. године (број одлуке 06-6078/28-11).

Кандидаткиња је предала докторску дисертацију 23.10.2015. године. На седници одржаној 03.11.2015. 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. На седници Наставно-научног већа одржаној 10.11.2015. године именована је комисија за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње мр Наде М. Вучијак под насловом „Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“. Чланови комисије су: др Лазар Сарановац, ванредни професор (ментор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Предраг Пејовић, редовни професор (Универзитет у Београду –

Електротехнички факултет), др Драгутин Саламон, ванредни професор у пензији (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Зоран Стојановић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Александар Ракић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација мр Наде М. Вучијак припада научној области Техничке науке, Електротехника, а ужа научна област је Електроника. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет у Београду. Конкретно дисертација обухвата истраживања из подобласти примењених алгоритама у наменским рачунарским системима (embedded systems i.e. cyber-physical systems).

Дисертација је рађена под менторством ванредног професора др Лазара Сарановца. Ментор испуњава законске услове за ментора и бави се научним радом у ужој области електроници, односно наменским рачунарским системима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Нада М. Вучијак је рођена 1952. год у Зеници, БиХ. Основну школу и гимназију завршила је у Чапљини, БиХ. Студије на Електротехничком факултету у Београду завршила је на одсеку Техничке физике и стекла стручни назив дипломирани инжењер електротехнике. Магистарску тезу под насловом „Развој система за проверу метролошких карактеристика електроенцефалографа“ одбранила је у децембру 2002. године на Електротехничком факултету у Београду под менторством проф. др Драгана Станковића и проф. др Предрага Пејовића.

Од 1980. до 1985. године је била запослена у Образовном електротехничком центру „Раде Кончар“, Београд, Браће Грим 32, где је држала предавања и вежбе из више предмета електротехничке струке. Затим се запослила у ДП „Телеоптик“, Земун, Цара Душана 139-141, у овлашћеној метролошкој лабораторији ML21 као метролог за еталонирање мерила електричних величина. Неко време радила је у истраживачкој радној јединици у предузећу „Телеоптик“ на пројектима који су реализовани у сарадњи са Институтом за физику Земун. Краће време била је шеф овлашћене метролошке лабораторије ML21 у предузећу „Телеоптик-Жироскопи“ и шеф Централне лабораторије у предузећу „Телеоптик“. Затим се 1997. године запослила у Савезном заводу за мере и драгоцене метале, Београд, Мике Аласа 14, где је радила као метролог. Од 2014. године запослена је у Електротехничком Институту ДЕС, д.о.о., Зрењанин, као метролог.

Важнији пројекти на којима је учествовала:

- „Развој ласерског бар-код читача“, сарадња ДП „Телеоптик“ Земун са Институтом за физику на пројекту Републичког фонда за технолошки развој 1989.-1991.,
- „Key Comparison EURAMET.EM-K5.1, EURAMET Project No. 687 Comparison of 50/60 Hz Power“, 2005.-2011., међународни пројекат,
- „CARDS PT3 Intercomparison with electricity meter“, 2008., међународни пројекат,
- „Bilateral comparison between EIM-Greece and DMDM-Serbia, Calibration of an energy meter“, 2010., међународни пројекат,
- „EURAMET project 1187: Comparison of Instrument Current Transformers up to 10 kA“, 2012., међународни пројекат.

До сада је објавила један рад у међународном часопису са impact фактором са SCI листе који је у директној вези са дисертацијом, два рада у зборницима међународних конференција, коаутор је једне књиге, аутор је поглавља у другој књизи, објавила је 9 радова у домаћим часописима и 18 радова у зборницима домаћих конференција. Била је рецензент

радова за Конгрес метролога и за часописе Eurasip и Measurement Science Review. Члан је Друштва метролога Србије.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација садржи насловну страну и кратак резиме на српском и енглеском језику, страну са информацијама о ментору и члановима комисије, садржај, списак слика, списак табела, списак ознака и скраћеница, пет поглавља, списак коришћене литературе, три прилога, биографију, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу. Наслови поглавља су: 1) Увод, 2) Преглед у области истраживања, 3) Нови алгоритам за одређивање фазне разлике између синусних сигнала, 4) Поређење резултата за фазну разлику добијених применом новог и постојећих алгоритама на узорке реалних сигнала, 5) Закључак, Литература, Прилог А: Радијан и степен, Прилог Б: Изабрани алгоритми из литературе за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала и Прилог Ц: Методе мерења фазног угла у NMIs. Дисертација садржи 150 страна, 34 илустрације и 15 табела. Списак литературе садржи 100 библиографских референци.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље представља увод у дисертацију. У овом поглављу је укратко описан значај мерења фазне разлике, достигнути резултати у мерењу фазне разлике у националним метролошким институтима, наведени алгоритми за одређивање фазне разлике из узорака реалних синусних сигнала описани у литератури, објашњена мотивација за увођење новог алгоритма предложеног у дисертацији названог MSAL. Предложени алгоритам MSAL је развијен на основу познатог алгоритма UQDE (енгл. unbiased quadrature delay estimator) и такође у дисертацији предложеног новог алгоритма SAL.

У другом поглављу направљен је кратак преглед у области истраживања и приказан у три потпоглавља. У првом потпоглављу дат је преглед мерних система који се данас користе за добијање узорака реалних синусних сигнала у националним метролошким институтима, с обзиром да се нови алгоритам предложен у дисертацији користи за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала. У другом потпоглављу приказане су основне информације о естиматору фазног угла синусног сигнала и представљени алгоритми QDE и UQDE на којима је заснован нови алгоритам предложен у дисертацији. У трећем потпоглављу дат је кратак садржај упутстава Заједничког комитета за упутства у метрологији (JCGM) за процену мерне несигурности резултата мерења с обзиром да уз сваки резултат мерења треба дати и мерну несигурност.

У трећем поглављу детаљно је описан развој нових алгоритма за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала. Након тога дати су резултати симулација изведених у циљу валидације алгоритама.

У четвртом поглављу приказани су резултати верификације новог алгоритма предложеног у дисертацији поређењем резултата за фазну разлику добијених применом тог алгоритма са резултатима за фазну разлику добијеним применом више постојећих алгоритама на исте узорке реалних сигнала у циљу одређивања фазне разлике између два синусна сигнала. Најпре су разматрани примери када је број узорака у периоди сигнала дељив са 4, примери када није дељив са 4 и примери када однос учестаности узорковања и учестаности сигнала није цео број. Након тога је дата процена мерне несигурности резултата за фазну разлику између два синусна сигнала одређена применом новог алгоритма MSAL. Мерна несигурност је процењена применом Упутства за изражавање мерне несигурности резултата мерења (GUM). На крају су вредности за фазну разлику између два синусна

сигнала добијене применом новог алгоритма и процењена мерна несигурност тих резултата у циљу валидације методе упоређени са резултатима добијеним користећи еталон који има метролошку следивост.

У петом поглављу, које представља закључак, изложени су резултати рада, доприноси рада и правци могућег даљег истраживања. Затим је дат списак коришћене литературе.

У прилогу А дате су информације о јединицама за мерење фазне разлике: радијан и степен.

У прилогу Б дат је кратак опис алгоритама који су коришћени за одређивање фазне разлике у четвртном поглављу у циљу поређења са резултатима добијеним новим алгоритмом MSAL, као и опис неких познатијих алгоритама из литературе који се користе за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала.

У прилогу Ц дат је кратак преглед метода које се данас користе у области еталонирања еталона фазног угла у националним метролошким институтима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Фазну разлику између синусних сигнала потребно је одредити у многим случајевима као што су мерење активне и реактивне електричне снаге и енергије, фактора снаге, комплексног односа излазног и улазног сигнала мерних претварача и др. О значају мерења фазног угла најбоље говори чињеница да су могућности мерења и еталонирања (енгл. Calibration and Measurement Capabilities - CMC) фазног угла, националних метролошких института појединих држава, објављене на интернет страници Међународног бироа за тегове и мере (фр. Bureau International des Poids et Mesures - BIPM), пошто их је претходно одобрила регионална метролошка организација ЕУРАМЕТ (енгл. European Association of National Metrology Institutes).

Данас се фазна разлика између два континуална синусна сигнала најчешће одређује користећи узорке тих сигнала који се затим обрађују неким од алгоритама за одређивање фазне разлике. У литератури постоји много алгоритама за одређивање фазне разлике између два синусна електрична сигнала. Анализом постојећих алгоритама за одређивање фазне разлике између синусних сигнала установљено је да су многи алгоритми компликовани и захтевају много времена за реализацију. Прегледом постојеће литературе из области одређивање фазне разлике између синусних сигнала установљено је да се мали број радова бави прорачуном мерне несигурности добијених резултата за фазну разлику.

На основу познатог алгоритма UQDE развијен је оригинални алгоритам за одређивање фазне разлике из узорака два синусна сигнала и урађен прорачун мерне несигурности добијених резултата. У новом алгоритму, коришћењем два постојећа сигнала уводе се два нова сигнала фазно померена у односу на постојеће сигнале. Тестира се хипотеза да је избором фазног кашњења могуће добити вредност фазне разлике између два синусна сигнала користећи по један узорак сваког сигнала (алгоритам назван SAL), а и да се применом нешто сложеније формуле на већи број узорака сигнала, може одредити вредност фазне разлике између два синусна сигнала са знатно мањом мерном несигурношћу (алгоритам назван MSAL). Код примене алгоритма MSAL није потребно познавање учестаности сигнала и учестаности узорковања, већ је довољно само познавање броја узорака у периоди сигнала. Како алгоритам MSAL даје много боље резултате са становишта мерне несигурности дисертација је усмерена првенствено на његову анализу и поређење са другим познатим алгоритмима.

Верификација предложеног алгоритма извршена је најпре симулацијама на рачунару, затим одређивањем фазне разлике из узорака реалних синусних сигнала ниских учестаности користећи различите алгоритме и нови алгоритам MSAL и на крају поредећи резултате за

фазну разлику добијене из узорака сигнала са резултатима за фазну разлику који су добијени користећи еталон који има метролошку следивост.

Урађен је прорачун мерне несигурности резултата за фазну разлику између два синусна сигнала добијених мерењем и применом новог алгоритма MSAL на узорке сигнала. Мерна несигурност је процењена применом Упутства за изражавање мерне несигурности резултата мерења (GUM).

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је детаљно претражила и упознала се са одговарајућом литературом. У дисертацији је прецизно наведено 100 библиографских референци за литературу која је у вези са темом дисертације. У литератури су наведени и најновији радови релевантни за тему дисертације као и радови чији је кандидаткиња коаутор. Друго поглавље и прилози Б и Ц дисертације представљају кратак преглед постојећих метода и алгоритама у области одређивања фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности. Искази у дисертацији су добро поткрепљени цитатима одговарајућих радова.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија примењена приликом израде ове докторске дисертације може се сумирати кроз следећи низ активности:

- Систематско проучавање домаће и иностране литературе из области дисертације.
- Методе прикупљања, обраде и анализе података о постојећим алгоритмима за одређивање фазне разлике између синусних сигнала на основу доступне литературе.
- Критичка анализа проблема у области алгоритама за одређивање фазне разлике између синусних сигнала.
- Формирање основних захтева и циљева које нови алгоритам треба да испуни на основу уочених недостатака постојећих решења.
- Предлог оригиналног алгоритма MSAL, изведеног из такође оригиналног алгоритма SAL, за одређивање фазне разлике између синусних сигнала.
- Тестирање предложеног алгоритма MSAL рачунарским симулацијама.
- Верификација предложеног алгоритма MSAL применом на реалне узорке синусних сигнала ниских учестаности и поређење са резултатима добијеним применом других алгоритама на исте узорке сигнала, као и поређењем са резултатима добијеним мерењем фазне разлике еталоном који има метролошку следивост.
- Прорачун мерне несигурности резултата за фазну разлику синусних сигнала који су добијени применом новог алгоритма MSAL на узорке реалних сигнала.

3.4. Применљивост остварених резултата

При одређивању фазне разлике из узорака синусних сигнала могуће је применити више различитих алгоритама. При одабиру најпогоднијег и најефикаснијег алгоритма треба наћи баланс између брзине и тачности са једне стране и исплативости са друге стране.

Предложени алгоритми, SAL и MSAL, верификовани су симулацијама на рачунару, применом на реалне узорке синусних сигнала и поређењем са резултатима примене постојећих алгоритама.

Предност нових алгоритама за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала, који су представљени у овој докторској дисертацији, је њихова једноставност и брзина примене уз довољну тачност.

Предложени нови алгоритам MSAL може се користити за брзо и тачно одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала и у случајевима када се не познају учестаност сигнала и учестаност узорковања, већ је познат само број узорака у периоди сигнала.

Мада се кандидаткиња у дисертацији ограничила на сигнале ниских учестаности, алгоритам је могуће применити и на друге сигнале, виших учестаности, када је потребно прецизно и брзо одредити фазни став између сигнала. То показује и цитираност рада, који је основ дисертације, а који је до сада према SCOPUS цитиран 17 пута.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане докторске дисертације Комисија оцењује да је кандидаткиња у потпуности способна за самосталан научни рад. Начин на који је написана дисертација уз научне доприносе који су представљени у њој показују научну зрелост и способност приказивања резултата на јасан и концизан начин. Резултате својих истраживања кандидаткиња је објавила и у часопису од међународног значаја.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији под насловом „Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“ остварени су следећи доприноси:

- Критичка анализа и идентификација проблема у области одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала.
- Развијени су нови алгоритми за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала, SAL и MSAL, који су засновани на постојећем алгоритму UQDE.
- Верификација предложених нових алгоритама применом на реалне узорке синусних сигнала ниских учестаности и поређењем са резултатима за фазну разлику добијеним другим постојећим алгоритмима.
- Прорачун мерне несигурности резултата за фазну разлику синусних сигнала добијених применом новог алгоритма MSAL на узорке сигнала и поређење са резултатима за фазну разлику добијеним применом еталона који има метролошку следивост на исте синусне сигнале.
- Критичка анализа добијених резултата и предлог даљих истраживања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата, констатујемо да је кандидаткиња успешно решила предвиђени задатак. Систематичан и детаљан приказ развоја предложених оригиналних алгоритама SAL и MSAL за одређивања фазне разлике из узорака синусних сигнала, темељна анализа резултата и услова примене ових алгоритама, као и верификација поређењем са резултатима примене постојећих алгоритама за одређивање фазне разлике на исте узорке синусних сигнала, представљају значајан научни допринос у области мерења у електроници, што је потврђено објављивањем резултата у часопису од међународног значаја.

Предност предложених алгоритама у односу на постојеће алгоритме за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала је њихова једноставност и брзина примене уз довољну тачност. Прорачун мерне несигурности је адекватно оценио вредности фазне разлике са најмањом мерном несигурношћу и вредности фазне разлике у којима се појављује биас услед примене алгорита.

Увидом у постављене хипотезе, реализоване одлуке и добијене резултате, Комисија констатује да је кандидаткиња успешно одговорила на питања која су од значаја за решење постављеног проблема.

Увидом у публиковане радове и резултате докторске дисертације констатујемо да су у докторској дисертацији приказани нови, савремени и оригинални резултати.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња мр Нада М. Вучијак је први аутор једног рада у часопису од међународног значаја (M22), два рада у зборницима међународних конференција, коаутор је једне књиге, аутор је поглавља у другој књизи, објавила је девет радова у домаћим часописима и 18 радова у зборницима домаћих конференција. Радови који су у непосредној вези са докторском дисертацијом су:

Категорија M22:

1. **N. Vučijak**, L. Saranovac: „A Simple algorithm for Phase Difference Determination”, *IEEE Transaction on instrumentation and measurements*, vol. 59, no 12, 2010., pp. 3152 – 3158, (DOI 10.1109/TIM.2010.2047155), (IF₂₀₁₀: 1,098).

Категорија M52:

1. L. Saranovac, **N. Vučijak**: „Algoritmi za određivanje fazne razlike između dva sinusna signala”, *Tehnika - Kvalitet, standardizacija i metrologija*, vol. 10, br. 5, str. 15-18, 2010., (ISSN 1450-989X).
2. **N. Vučijak**, P. Pejović: „Dva postupka procene merne nesigurnosti rezultata merenja fazne razlike metodom tri voltmetra”, *Tehnika*, vol. 14, br. 3, str. 549-554, 2014. (ISSN 0040-2176), (doi:10.5937/tehnika1403549V).

Категорија M33:

1. **N. Vučijak**, N. Radojević: „Three, Four and Seven Parameters Sine-fitting Algorithms Applied in Electric Power Calibrations”, *EUROCON 2005 –The International Conference on „Computer as a tool“*, 21. do 24.11.2005., Beograd, Proceedings vol.2, strana 1148-1150, (ISBN 1-4244-0049-X), (DOI: 10.1109 /EURCON.2005.1630156).

Категорија M63:

1. **N. Vučijak**, N. Radojević, R. Lapuh., Z. Svetik: „An application of sine wave fitting algorithm in electric power measurement”, *Kongres metrologa 2005.*, Zbornik radova, strana 119-124, Beograd, ISBN 86-7518-050-0(GF), COBISS.SR-ID 1226999020.

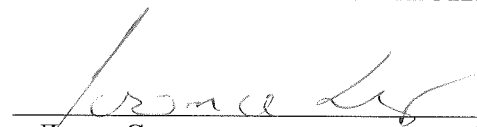
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

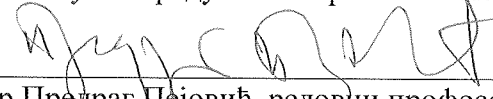
Докторска дисертација кандидаткиње Наде М. Вучијак, магистра електротехнике, под насловом „Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“ представља оригиналан, савремен и значајан научни допринос. Текст дисертације написан је јасно и разумљиво и добро је организован кроз поглавља, одељке и прилоге. Циљеви дисертације јасно су формулисани и мотивисани, а резултати истраживања систематски изложени, тако да се научни доприноси могу недвосмислено утврдити. У спроведеном истраживању предложени су и развијени нови алгоритми SAL и MSAL за одређивање фазне разлике из узорака синусних сигнала. Како алгоритам MSAL даје много боље резултате са становишта мерне несигурности дисертација је усмерена првенствено на његову анализу. Практична примена предложеног алгоритма потврђена је његовом применом на реалне узорке синусних сигнала ниских учестаности и поређењем са резултатима примене других постојећих алгоритма на исте узорке сигнала. Објављивањем резултата својих истраживања у часопису од међународног значаја, кандидаткиња је показала способност за самосталан научни рад, а доприноси истраживања добили су адекватну потврду ваљаности.

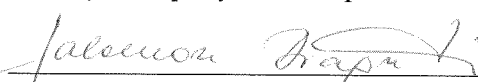
Комисија констатује да дисертација садржи оригиналне научне доприносе, испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Алгоритам за одређивање фазне разлике синусних сигнала ниских учестаности“ кандидаткиње Наде М. Вучијак, магистра електротехнике, прихвати, изложи на увид јавности, упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и кандидаткињи одобри јавна усмена одбрана.

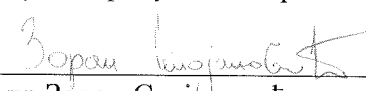
У Београду, 15.01.2016. године


ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Лазар Сарановац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Предраг Пејовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Драгутин Саламон, ванредни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Зоран Стојановић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Александар Ракић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет