

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<p>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Датум и орган који је именовао комисију 30.03.2016. год., НН веће Факултета техничких наука, број решења 012-72/252010 2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: др Јовица Милановић, редовни професор, уно: електроенергетика, Универзитет у Манчестеру, Манчестер, председник др Дражен Дујић, ванредни професор, уно: енергетски претварачи, 01. 01. 2015., Универзитет у Лозани, Лозана, члан др Веран Васић, редовни професор, уно: енергетска електроника, машине и погони, 14.04.2011., Факултет техничких наука, Нови Сад, члан др Владимир Стрезоски, редовни професор, уно: електроенергетика, 06.06.1995., Факултет техничких наука, Нови Сад, члан др Владимир Катић, редовни професор, уно: енергетска електроника, машине и погони, 30.10.2002., Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор
<p>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: мр Јован, Миливоје, Кнежевић 2. Датум рођења, општина, држава: 23.01.1968., Нови Сад, Р. Србија 3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Електроенергетика, дипломирани инжењер електротехнике 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2010, Електротехника - енергетска електроника, машине и погони 5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука, Анализа таласних облика уређаја енергетске електронике применом wavelet трансформације, Електротехника - енергетска електроника, машине и погони, 2000. године
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Нови метод за анализу хармонијског изобличења сигнала код оцене квалитета електричне енергије</p>
<p>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Докторска дисертација је написана на укупно 99 страна организованих у 6 поглавља и садржи 165 референце, 4 табеле, 73 слике и графикона. Дисертација је подељена на 6 поглавља и то: <ol style="list-style-type: none"> 1) Увод – 10 страна, 2) Преглед постојећих метода – 27 страна, 3) Анализа таласних облика струје исправљача – 19 страна, 4) Хибридни метод – 19 страна, 5) Метод за анализу хармоника са променљивом амплитудом и учестаношћу – 19 страна, 6) Закључак – 5 страна У уводном делу дисертације кратко се описује појам квалитета електричне енергије и проблеми који се јављају у електроенергетским системима. Наведени су међународни стандарди који се баве овом проблематиком као и основне дефиниције. Дат је обухватан преглед радова који се баве овом облашћу и анализирани су предности и мане најважнијих метода које се користе у анализи</p>

хармонијског изобличења квалитета електричне енергије.

У дисертацији је посебна пажња посвећена анализи временских променљивих напона и струја, односно транзијентних режима. У трећем поглављу детаљно су разматране струје исправљача који служе за напајање електромоторних погона. Ти уређаји су нелинеарног карактера, и баш због тога су главни извор хармоника који се јављају у електроенергетским системима. С обзиром да се број таквих уређаја све више повећава, проблем хармоника постаје све озбиљнији. Анализиране су најчешће коришћене алатке за хармонијску анализу и дате су њихове предности и мане на примеру фазно и импулсно ширинско контролисаних исправљача. Све већа примена регулисаних електромоторних погона код којих долази до наглих промена брзине односно момента на вратилу мотора, а самим тим и струје, која се узима из мреже, довела је до тога да су потребне што брже и прецизније алатке за хармонијску анализу. Са једне стране, да би се проверило да ли су нарушене дозвољене вредности одређених хармоника дефинисане стандардима, а са друге стране, за примену у уређајима који се користе за корекцију хармонијских изобличења. Главни акценат је управо дат анализи таквих проблема – прво за брзе промене амплитуда хармоника, затим за случајеве када долази до промене учестаности напона напајања, а на крају и код појаве интерхармоника. Представљене су оригиналне методе и упоређене, симулативно и експериментално, са познатим методама, ради верификовања предности и мана предложених метода. На крају је дат преглед дисертације, као и закључак.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Научна расправа изложена у овој дисертацији се бави анализом квалитета електричне енергије. Висок квалитет електричне енергије подразумева да су напон напајања и струја потрошача идеалне синусоиде, са тачно одређеном амплитудом и учестаношћу. Било каква одступања од идеалног се називају изобличења и најчешће се карактеришу хармоницима. Због тога се анализа електричне енергије најчешће зове и анализа хармонијског састава напона напајања и струје потрошача. У дисертацији су прво наведени познати проблеми, који могу да се јаве у раду уређаја који су прикључени на мрежу као и механизам настајања хармоника.

Циљ дисертације је јасно предочен у првом поглављу. Након детаљне анализе радова који су се бавили овом проблематиком наведена је и опште прихваћена подела метода за хармонијску анализу. Методе је потребно анализирати у погледу тачности, брзине и погодности за анализу, како у стационарном, тако и у динамичком односно транзијентном режиму.

У дисертацији је посебна пажња посвећена анализи временски променљивих напона и струја односно транзијентних режима рада. Акценат је стављен на брзој и тачној анализи амплитуде и учестаности како напона напајања, тако и струја потрошача.

Анализиране су најзначајније методе за хармонијску анализу почевши од Фуријеове трансформације, затим Калмановог филтера и адаптивних филтера. Детаљно су анализиране предности и мане, као и правци истраживања у циљу побољшања наведених метода.

Као један од главних „загађивача“ електроенергетских система истакнута је све већа примена уређаја енергетске електронике. Ти уређаји су нелинеарног карактера, зато што најчешће раде у прекидачким режимима рада, и све више се користе у регулисаним електромоторним погонима. Такви погони имају нагле промене брзине и момента на вратилу, а самим тим и нагле промене струје која се узима из мреже. У хармонијској анализи се увек почиње применом Фуријеове трансформације. Познато је да она не даје тачне информације о брзим промена хармоника, и из тог разлога анализирана су два друга метода у потражи за што тачнијом информацијом о вредностима хармоника током транзијентата. Веома прецизне резултате у анализи временски променљивих хармоника даје модулисана преклапајућа трансформација.

Истакнуто је да су поменути методи погодни за такозвану *off-line* анализу, када је прво потребно извршити одабирање блока одбирака сигнала, а затим извршити анализу. У случају када је потребно радити *on-line* анализу, истраживање је усмерено према рекурзивној Фуријеовој трансформацији и адаптивним појасним филтерима. Фуријеова трансформација има веома брз одзив на промене амплитуде хармоника, али није у могућности да прати промене учестаности система. Адаптивни појасни филтер може сам да се синхронизује у случају да дође до промене учестаности система, али има знатно слабији амплитудни одзив у поређењу са Фуријеовом трансформацијом. Управо због тога је у раду предложен нови хибридни метод за анализу хармоника, који комбинује ова два метода. Један блок адаптивног појасног филтера прати промене учестаности система и синхронизује Фуријеову трансформацију. У случају када се учестаност система мења, хибридни метод показује предности у односу на изворне методе.

У случају да се појаве и интерхармоници предложени хибридни метод не даје тачне информације. За анализу временски променљивих сигнала предложен метод је базиран на Калмановом филтеру и адаптивном појасном филтеру. За моделовање хармоника искоришћен је појасни филтер, а као адаптивни механизам Калман филтер. Метод је упоређен са познатим методама

базираним на појасним филтерима уз помоћ компаративне симулационе и експерименталне анализе. Метод показује прилично брз одзив на промене хармоника, како амплитуда, тако и учестаности, али захтева прилично велику рачунарску снагу процесора.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Објављени радови

1. Vladimir Katić, Jovan Knežević, Dušan Graovac: "Application-Oriented Comparison of the Methods for AC/DC Converter Harmonics Analysis", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, USA, ISSN 0278-0046, Vol.50, No.6, December 2003, pp.1100-1108. (IF2003=0,816, SCI – M22).
2. Jovan Knežević, Vladimir Katić, "Hybrid Method for On-line Harmonic Analysis", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 11, No.3, 2011, pp.29-34, ISSN: 1582-7445, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4316/AECE.2011.03005> (IF2011=0,555, SCI – M23).
3. Jovan Knežević, Vladimir Katić, "Comparison of Methods for On-line Harmonic Estimation", 16th International Symposium on Power Electronics - Ee 2011, Novi Sad (Serbia), October 26th – 28th, 2011, Paper No. T6-2.8, pp. 1-5, ISBN: 978-86-7892-355-5.
4. Jovan Knežević, Vladimir Katić, „Comparison of Methods for On-Line Harmonic Estimation”, *Electronics*, Banja Luka (BIH), Vol.16, No.1, June 2012, ISSN 1450-5843, pp.16-21, DOI: [10.7251/ELSI216016K](http://dx.doi.org/10.7251/ELSI216016K) (M51)
5. Jovan Knežević, Vladimir Katić, "Two Stage Notch Filter for On-line Harmonic and Interharmonic Analysis", Proceedings of the 17th International Symposium on Power Electronics – Ee 2013, www.dee.uns.ac.rs, Novi Sad, Serbia, 30th Oct. – 1st Nov. 2013, Paper No. T.6.7, pp.1-7, USB Flash Memory, ISBN 978-86-7892-551-1.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Шира област научног истраживања и расправе изложене у дисертацији је квалитет електричне енергије. Истраживање се бави анализом квалитета електричне енергије, односно хармонијског састава напона напајања и струје потрошача.

Први проблем којим се бави дисертација је анализа таласних облика струја и напона исправљача. Трофазни исправљачи велике снаге се користе за напајање регулисаних електромоторних погона, код којих често долази до промене брзине и момента на вратилу мотора, а самим тим и струје и напона. Све анализе обично почињу применом Фуријеове трансформације, која не даје тачне резултате за брзо променљиве сигнале, јер претпоставља да је сигнал константне амплитуде и учестаности у оквиру временског прозора анализе. Зато је прво предложена анализа транзијентата применом *wavelet* трансформације (WT), која има способност да брзо детектује промене у сигналу. Главни недостатак WT-а је да не може тачно да прати одређени хармоник, него сигнал декомпонује у одговарајуће подопсеге који могу садржати више хармоника. Много напреднији метод је модулисана преклапајућа трансформација (MLT), који такође може да детектује брзе промене у анализираном сигналу, али декомпонује сигнале у тачно одређене подопсеге, који покривају само једну хармонијску компоненту. Представљене симулације детаљно анализирају промене у амплитудама основног и виших хармоника, за случајеве фазно и импулсно ширински контролисаних исправљача. Симулације су показале да MLT омогућује много прецизнију анализу временски променљивих хармоника него друге две методе, поготово у транзијентним режимима рада.

Када је потребно користити уређаје за корекцију квалитета електричне енергије (вредности хармоника прелазе дозвољене вредности дефинисане стандардима), потребно је користити неке од такозваних *on-line* метода, који почињу анализу хармонијског састава одмах након што је следећи одбирак доступан. Уколико је познат хармонијски састав сигнала, погодно је користити рекурзивну варијанту дискретне Фуријеове трансформације. Овај метод има брз динамички одзив, али не даје тачне резултате ако дође до промене основне учестаности система. У тим случајевима често се користе адаптивни појасни филтери, који могу да детектују и промене учестаности система.

Недостатак ових метода је да је динамички одзив прилично спор, те је у раду предложен хибридни метод који комбинује предности наведена два метода. Хибридни метод је задржао динамички одзив дискретне Фуријеове трансформације, док је адаптивни појасни филтер обезбедио синхронизацију са основном учестаношћу система. Компаративне анализе, како симулационе тако и експерименталне, су показале предности предложеног хибридног метода, иако он захтева нешто више израчунавања.

Други проблем којим се бавила ова дисертација је проналажење метода за тачну хармонијску анализу брзо променљивих сигнала са интерхармоницима. Предложени хибридни метод у овом случају не даје тачне резултате, јер претпоставља да је однос учестаности виших хармоника и основне учестаности цео број. Због тога је предложен још један нови метод који може да прати брзе промене амплитуда и учестаности и у случају интерхармоника. Метод је базиран на Калмановом филтеру, док се појасни филтер користи за моделовање хармонијских компоненти. Нови метод, назван адаптивни појасни Калман филтер (ANKF) је преузео особину адаптивног појасног филтера да прати промене учестаности и Калмановог филтера да има брз динамички одзив.

Методи су прво у симулацијама упоређени са другим одговарајућим методима. Затим су имплементирани на дигиталном процесору и примењени на одговарајуће тест сигнале. И симулациони и експериментални резултати показују да ANKF има веома брз одзив на промене хармоника, како амплитуда, тако и учестаности, а недостатак је значајно повећан захтев за рачунарском снагом процесора.

Иако истраживања у овој дисертацији имају значајан научни допринос, аутор је предложио даљи правац развоја. ANKF даје изузетно добре резултате, али захтева претходно познавање хармонијског састава сигнала као и велику рачунарску снагу процесора. Превазилажење ових проблема је један од могућих правца развоја.

Кандидат је у дисертацији јасно изложио главне изазове у савладавању проблема хармонијске анализе несинусних сигнала са променљивим амплитудама и/или фреквенцијама. Прво је представио хибридни метод, а затим и адаптивни појасни Калман филтер. Делови дисертације су публиковани у рецензираним међународним часописима, чиме је потврђен научни допринос рада предоченог у овој дисертацији.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања су детаљно обрађени, прегледно приказани у облику слика, графички добро илустровани, јасно и систематски изложени. Резултати су праћени одговарајућим образложењима и критичким освртом на њихово вредновање у складу са владајућим ставовима. Коришћењем савремене литературе кандидат је дао свеобухватан преглед ставова и досадашњих резултата из разматране области. На основу резултата истраживања и њиховог критичког разматрања изведени су закључци који дају јасне одговоре на циљеве истраживања.

Комисија констатује да начин приказа и тумачења резултата истраживања у потпуности одговара карактеру проблема, који се у овој докторској дисертацији решавају.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Дисертација је у потпуности написана у складу са планом и образложењем које је наведено у пријави тезе.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Докторска дисертација садржи све битне елементе у складу са пријавом тезе. Урађен је детаљан преглед литературе, извршена детаљна анализа и синтеза решења проблема, симулација, експеримент и верификација експерименталних резултата.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
Предложени метод за хармонијску анализу ANKF као и споменути хибридни метод су оригинални доприноси ове дисертације. Предложени методи представљају побољшања у анализи временски променљивих хармоника односно интерхармоника - имају бољи динамички одзив и остају синхронизовани и у случајевима када се учестаност система мења. Дати су могући даљи правци развоја метода за хармонијску анализу.
4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Докторска дисертација нема недостатака, који би битније утицали на резултат истраживања.

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
Комисија предлаже да се докторска дисертација под насловом “ Нови метод за анализу хармонијског изобличења сигнала код оцене квалитета електричне енергије” прихвати, а кандидату мр Јовану Кнежевићу одобри јавна одбрана.

У Новом Саду, 21.04.2016.

ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

ДР ЈОВИЦА МИЛАНОВИЋ, редовни професор, Универзитет у Манчестеру, Манчестер, уно: електроенергетика, председник

ДР ДРАЖЕН ДУЈИЋ, ванредни професор, Универзитет у Лозани, Лозана, уно: енергетска електроника, машине и погони, члан

ДР ВЕРАН ВАСИЋ, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад, уно: енергетска електроника, машине и погони, члан.

ДР ВЛАДИМИР СТРЕЗОСКИ, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад, уно: електроенергетика. члан

ДР ВЛАДИМИР КАТИЋ, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад, уно: енергетска електроника, машине и погони, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.