

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 806/2 од 16.04.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa под насловом

Детекција и изолација отказа у сепаратору паре термо-енергетских постројења

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

Кандидат је тему докторске дисертације под називом "Детекција и изолација отказа у сепаратору паре термо-енергетских постројења" пријавио Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету у Београду 15.01.2013. године и за ментора предложио проф. др Жељка Ђуровића.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета на својој 758. седници од 22.01.2013. године је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: Проф. др Жељко Ђуровић, Проф. др Бранко Ковачевић и Проф. др Владимир Стевановић (Машински факултет Универзитета у Београду).

На 759. седници од 12.02.2013. Наставно-научног већа Електротехничког факултета усвојен је извештај Комисије о оцени услова и прихватању теме докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на својој седници од 04.03.2013. усвојило извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

На 761. седници Наставно-научног већа Факултета од 16.04.2013. године је формирана Комисија за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Жељко Ђуровић, проф. др Бранко Ковачевић, проф. др Владимир Стевановић, доц. др Горан Квашчев и доц. др Вељко Папић.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом "Детекција и изолација отказа у сепаратору паре термо-енергетских постројења" припада техничким наукама, ужој научној области аутоматике за коју је матични Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Ментор докторског рада је проф. др Жељко Ђуровић који је изабран у звање редовног професора за исту научну област и истовремено је аутор већег броја радова у истакнутим међународним часописима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa је рођен 01.05.1975. године у граду Tamizawah Alshathi у Либији. 1993. године је уписан на основне студије Универзитета Алфатах у Триполију, на одсеку за Електротехнику, где је дипломирао 1998. године. 2004. године је уписао последипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. На овом нивоу образовања, избор предмета је био фокусиран у области Електрооптичких система, па је и завршни, магистарски рад био одбрањен 2005. године на тему "Пројектовање система за пасивно праћење објеката у простору", под руководством професора Жарка Барбарића.

У периоду од 1999. до 2006. године кандидат је био запослен у Електронском истраживачком центру у Триполију, Либија. Овај је центар углавном био ангажован на пројектима војне намене и Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa је био члан Лабораторије за навигацију и вођење објеката у простору, док је један период овог времена тесно сарађивао и на пројектима који су се реализовали у Лабораторији за телеметрију. Током овог периода, највећа пажња кандидата била је посвећена развоју модела са шест степени слободе, идентификацији појединих аеродинамичких параметара, као и развоју алгоритама за управљање и навигацију оваквим системима. Током овог периода, кандидат је добио и стипендију коју је искористио за последипломске студије на Универзитету у Београду.

Током периода 2006. до 2008. године, кандидат је био запослен као предавач на Националном универзитету *Nasser (National University Nasser)* у граду *Soug Alahad* у Либији. Његово ангажовање је било везано за Одсек за комуникације (*Communication Department*) на коме је држао предавања из предмета Сигнали и системи, Основи теорије електричних кола и Електронска кола за комуникацију. 2008. године је овај Универзитет предложио кандидата за стипендију коју додељује Либијско министарство за образовање. Добивши стипендију, Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa се пријавио за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Том приликом одређен му је ментор дисертације, проф. Жељко Ђуровић, и период 2008. до 2013. године провео је у истраживању и припреми докторске тезе.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa под насловом "Детекција и изолација отказа у сепаратору паре термо-енергетских постројења" садржи 150 страна. У оквиру текста има 74 слике чији је списак наслова дат на самом почетку дисертације. Текст дисертације је подељен у шест поглавља којима су додељени следећи

наслови: Увод, Преглед техника за детекцију отказа и дијагностику, Преглед метода за препознавање облика, Опис термо-енергетских постројења, Детекција и изолација отказа на сензорима сепаратора паре у термо-енергетским постројењима и Закључак. Након закључка се налази списак коришћене литературе са 103 библиографске јединице, које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу истакнут је значај техника за детекцију и изолацију отказа у савременим индустријским системима. Указано је на чињеницу да се са повећањем сложености система управљања, појављује проблем њихове сигурности и робусности. Поузданост, робусност, расположивост као и безбедност по околину оваквих система се углавном изражава кроз осетљивост на отказе који се у системима појављују потпуно случајно, па је отуда у инжињерској теорији и пракси развијена нова дисциплина која је управо названа теоријом детекције и изолације отказа. У уводном поглављу тезе је дат и кратак историјски развој ове области, наведени су најзначајнији научни чланци посвећени овој области. Објашњена је њена зависност од тренутног развоја и сложености индустријских постројења, као и потреба за увођењем такозваног предиктивног одржавања система. Такође су назначена два основна правца који се у савременим системима примењују у циљу детекције и изолације отказа. Први је заснован на моделима система док је други заснован на подацима. У уводном поглављу је назначено и то да ова докторска дисертација представља својеврсни компромис између ова два присућа превазилазећи недостатке које сваки од њих понаособ показује.

Следеће поглавље је посвећено прегледу постојећих техника за детекцију отказа и дијагностику у техничким системима. Након увођења прецизне и детаљне терминологије, дефинисани су различити типови отказа и специфицирани су различити приступи у њиховој детекцији. Кренувши од, историјски гледано најраније физичке редундансе, формиран је оквир за технику провере лимита сигнала, уведена је спектрална анализа у циљу надгледања исправности рада система, и сви ови покушаји су сведени у заједнички оквир метода за детекцију отказа без поседовања модела процеса (*model-free fault detection methods*). Затим је посебна пажња посвећена техникама детекције које су засноване на моделима. У том контексту су, до нивоа рачунарске имплементације, изведени алгоритми за естимацију параметара постројења у рекурзивној и нерекурзивној форми. Један део овог поглавља је посвећен релацијама упарености за случај када су модели система дати у форми функција преноса, као и за случај поседовања модела у простору стања. Коначно, последње потпоглавље је посвећено методама за дијагностику.

Трећи одељак тезе се бави методама за препознавање облика јер су на овим методама изграђени поступци за детекцију отказа који су вођени подацима (*data-driven methods*). Полазећи од опште дефиниције препознавања облика детаљно су анализирана три различита приступа. Први приступ назван Бајесовом класификацијом је представљен класификатором минималне грешке, минималне цене, *Neuman-Pearson*-овим класификатором и мини-максним тестом. Показано је да су ово најквалитетнији класификатори, али да су и најзахтевнији јер подразумевају познавање функција густине вероватноће одбирака. Као посебан тип Бајесовог класификатора је наведено секвенцијално тестирање хипотеза које је од изузетне важности са становишта примене у реалном времену. Други приступ у пројектовању система за препознавање облика је назначен као приступ пројектовања параметарских класификатора. Описан је поступак пројектовања линеарних класификатора (у својој оптималној и итеративној форми) и квадратних класификатора. Коначно, један део овог поглавља је посвећен непараметарским техникама естимације функције густине вероватноће

и сходно томе непараметарским поступцима класификације. Дат је кратак приказ естимације заснованих на *Parzen-овим* кернел функцијама.

Четврто поглавље докторске дисертације је посвећено опису једног типичног термо-енергетског постројења. Ово је поглавље структурирано на начин на који се обично и деле подсистеми у оваквим постројењима. Један део текста је посвећен горивима и јединицама за сагоревање, ложиштима, системима за допремање горива и одлагање отпадних материја које су настале као продукт сагоревања. Следећи део поглавља је посвећен котлу и секцијама паре. Извршена је класификација бојлера према типовима термодинамичких циклуса који се реализују, а затим су објашњене функције преграјача, међупрегрејача, економајзера и кондензатора. Сликвито је приказан пут ваздух-димни гас. Детаљно је приказана и типична турбина са својим подсистемима и функцијама, као и неким додатним системима које сваки објекат овог типа мора да поседује (електрофилтри, хладњаци, димњаци, пепелишта, ...).

Пето поглавље рада је најважнији део дисертације у коме се налазе најважнији научни доприноси кандидата. Ти доприноси се састоје у примени нових, развијених техника за детекцију отказа на примеру једног реалног индустријског постројења, сепаратора паре у термоелектрани ТЕКО Костолац у Дрмну. Сходно томе је један део рада посвећен опису сепаратора паре, дефинисању његових улазних и излазних сигнала и најчешћем типу поремећаја. Објашњена је физичка природа мерних сигнала у присуству мерног шума који у себи има контаминацију изузетно велике варијансе, такозвани *'outliers'*. Затим је приказан поступак идентификације параметара овог реалног система који је представљен као систем са два улаза и једним излазом и извршена је валидација добијеног модела. У овом делу рада је представљен и нови метод за детекцију отказа који се реализује у три фазе или корака. Први корак је робусна и адаптивна идентификација параметара система при чему се робусност обезбеђује кроз примену такозване QQ (quantile/quantile) криве у циљу класификације мерења на регуларна и нерегуларна. У другој фази се врши редукција димензија вектора чији су елементи идентификовани параметри модела у претходном кораку. Трећи корак, или трећа фаза јесте примена *Neuman-Pearson*-овог теста за детекцију отказа при чему се избором вероватноће лажног аларма утиче на кашњење у детекцији отказа, па је посебна пажња посвећена компромису који мора да помири ова два међусобно супростављена параметра. Све ове фазе у примени новоформираног алгоритма су детаљно описане у петом поглављу, при чему је свака од њих праћена илустрацијама примене на реалном постројењу.

Коначно, у закључку дисертације су сумирани сви значајни моменти који карактеришу ову докторску дисертацију. Кренуло се од мотива и значаја изабране теме. Наведене су све релевантне дилеме које карактеришу развој области *детекција и изолација отказа*. Наведене су полазне хипотезе, сложеност реалног система и потреба да се испројектује систем који ће са малом вероватноћом лажног аларма и кратким временом кашњења детектовати отказ у сепаратору паре термо-енергетских постројења. У кратким цртама је скицирана основна идеја новог решења, алгоритма за детекцију отказа, наведене су његове предности у односу на постојеће технике али су напоменута и ограничења у његовој примени. Такође, на крају закључка су наведени и могући даљи правци истраживања.

Иза закључка следи списак коришћене литературе у редоследу којим је литература цитирана.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Са повећањем сложености система управљања, проблем њихове сигурности и робусности постаје све израженији. Поузданост, робусност, расположивост као и безбедност по околину оваквих система се углавном изражава кроз осетљивост на отказе који се у системима појављују потпуно случајно, па је отуда у инжињерској теорији и пракси развијена нова дисциплина која се назива *теоријом детекције и изолације отказа*. Уопштено говорећи, под отказима се подразумевају сва одступања од нормалног, уобичајеног понашања система или пратеће инструментације. Ипак је, са инжињерског аспекта, оваква дефиниција отказа исувише општа, те се стога, конкретно, могу дефинисати два типа отказа која су тренутно од интереса. То су адитивни и мултипликативни откази у процесу. Под адитивним отказима се подразумевају непознати улазни сигнали који утичу на одзив система, који су уобичајено једнаки нули, и чији се утицај, у времену трајања отказа, огледа у значајној промени излазног, мереног сигнала. Типични представници адитивног отказа су појава цурења на гасоводима, пароводима и слично, или појава оптерећења које се не може предвидети. Са друге стране, под мултипликативним отказима се подразумевају промене, скоковите или постепене, у параметрима процеса. Типични представници оваквог типа отказа су откази на читавим деловима постројења, губитак напајања у њима и слично.

Деценијама уназад се проблем толеранције на отказе у динамичким системима решавао такозваном техником хардверске редундансе. Умножавањем хардверских елемената (актуатора, сензора, процесних компоненти) се умањивала вероватноћа отказа целог постројења. Уобичајене су биле триплексне или квадриплексне конфигурације елемената које су се истовремено користиле и за умањење утицаја мерног шума. Међутим, са повећањем значаја економске исплативости, као и са минијатуризацијом управљачких и процесних структура, хардверска редунданса је постала неодрживи концепт заштите од отказа. Као алтернатива оваквом приступу развијене су две технике за детекцију и изолацију отказа. Прва од њих је заснована на моделима процеса, док је други, алтернативни приступ оријетнисан ка статистичкој обради мерних сигнала. У сваком случају ефикасност оваквих приступа се може мерити кроз неколико критеријума од којих су најважнији благовременост у детекцији, осетљивост на почетне манифестације отказа, мала вероватноћа лажног аларма, мала вероватноћа пропуштене детекције, мала вероватноћа погрешне идентификације.

Докторска дисертација кандидата Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa представља хибридни приступ развоја новог метода за детекцију и идентификацију отказа који обједињује добре особине техника заснованих на моделима система као и техника изведених из статистичке обраде мерних сигнала. Овај нови приступ је примењен и тестиран на конкретном реалном систему сепаратора паре у термоенергентским постројењима.

Област детекције и изолације отказа има пред собом три задатка која треба решити. Први се односи на саму детекцију отказа, и овај задатак се обавља индикацијом да нешто са системом није уобичајено. Други задатак јесте изолација отказа, који се решава локацијом појаве отказа. Трећи задатак јесте идентификација отказа који означава одређивања типа и интензитета нерегуларности. Јасно је да је први задатак најједноставнији а трећи најсложенији, и при томе док се задатак детекције отказа у већој или мањој мери може третирати на генералан начин, дотле се други и трећи задатак морају везати за конкретне апликације, и морају се укључити знања о конкретним системима који се анализирају.

У литератури су позната два приступа за решавање проблема детекције отказа и дијагностике. Први је такозвани *'model-free approach'* који не захтева познавање модела процеса у коме се очекују и детектују откази. У таквом приступу се откази детектују такозваном физичком редундансом, анализом спектра излазног сигнала или помоћу

специјалних сензора са унапред дефинисаним граничним вредностима. Са друге стране, развијене су читаве фамилије метода које су засноване на познавању модела процеса, то су такозване 'model-based' методе. Ове се методе грубо говорећи могу, даље, поделити у две групе. Једна од њих подразумева такозване генераторе резидуала, док је друга група метода заснована на методама естимације параметара система. Сваки од ових приступа има значајне недостатке. Технике засноване на моделима су врло осетљиве на тачност модела. Ова осетљивост постаје изражена у индустријском окружењу у коме су системи са израженом дистрибуираном природом и при сталном утицају поремећаја. Дobar пример таквог система су термо-енергетски блокови или термоелектране које по својим димензијама указују на то да модели система са концентрисаним параметрима не могу бити довољно тачни модели. Са друге стране, у оваквим системима за производњу електричне енергије, калоријска вредност допремљеног угља представља стални извор поремећаја који се не може предвидети и тешко је мерљив. Због оваквих препрека, логичним се чини примена техника које су засноване на статистичкој обради мерених сигнала. Ови приступи се не ослањају на моделе, који су унапред осуђени на ограничену примењивост и рестриктивне радне услове. Међутим, испоставља се да овакве технике тешко излазе на крај са динамичким својствима процеса. Мерни сигнали нису бели стохастички процеси, као што то теорија углавном претпоставља, већ итекако показују својства корелисаности. Стога је у овој докторској тези посебна пажња посвећена развоју хибридне технике која у првом кораку поступком рекурзивне идентификације генерише модел процеса, али овај модел није искоришћен за класично генерисање и евалуацију резидуала, већ се параметри добијеног модела користе за специфичне механизме статистичке обраде (тестирања хипотеза *Neauman-Pearson*-овог типа).

Као доказ савремености теме, која још увек привлачи интересовање великог броја истраживача, могу се навести три чињенице. Прва је да је влада Сједињених Америчких Држава недавно формирала конзорцијум назван TCIP (*Trustworthy Cyber Infrastructure for the Power Grid*) који је окупио најеминентније акадамске и индустријске установе у држави, са основним циљем да се формира адаптивна, активна мрежа за детекцију отказа, оштећења или малициозних напада на енергетски систем САД. Друга чињеница која сведочи о актуелности теме којом се бави ова дисертација јесте велики број научних скупова који су тематски посвећени системима за детекцију и изолацију отказа, предиктивном одржавању система или системима који су неосетљиви на отказе. Трећа, такође битна чињеница, јесте да је Европска комисија за науку у неколико позива за финансирање научно истраживачких пројеката, у последњих неколико година, дефинисала циљеве који су везани за наведене теме.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидат Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa је користио готову сву релевантну расположиву литературу везану за проблеме детекције отказа, робусну идентификацију параметара процеса, примену метода вештачке интелигенције у детекцији отказа, технике редукације димензија у циљу класификације објеката и моделирања. Неки од ових наслова су антологијски прегледи различитих приступа у детекцији отказа (Frank, 1992; Gertler 2007; Ding 2008)¹ на основу којих је било једноставно

¹ 1. Frank, P., 1992. Robust model-based fault detection in dynamic systems, in: IFAC Symposium on On-Line Fault Detection in the Chemical Process Industries, Newark.
2. Ding, S., 2008. Model-based Fault Diagnosis Techniques. Springer, Berlin.
3. Gertler, J., 2007. Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. Marcel Dekker, New York, USA.
4. Fukunaga, K., 1990. Introduction to Statistical Pattern Recognition. Academic Press, London.
5. Barnet, V., Lewis, T., 1978. Outliers in Stochastic Data. John Wiley.
6. Huber, P.J., 1981. Robust Statistics. John Wiley, New York

извршити категоризацију појединих приступа, њихове међусобне предности и недостатке. Са друге стране, од велике важности је била базична литература која покрива теоријску основу метода које не захтевају познавање модела већ су засноване на статистичкој обради података (Fukunaga 1990; Huber 1981; Barnet 1978). Ова литература је у великој мери иницирала развој новог алгорита, и то у оном делу који се односи на редукцију димензија података засновану на матрицама расејања, као и робусној идентификацији параметара система. Са друге стране, од велике користи су били научни чланци новијег датума који су стриктно фокусирани на проблеме детекције промена у понашању система у великим термоенергетским постројењима (Salasshoor 2010; Zhao 2006; Aitouche 2008; Djeziri 2009, Abid 2010). Списак коришћене литературе броји 103 библиографске јединице. У овом кратком осврту су наведене само неке од њих које су по свом значају, или директној повезаности са темом истраживања, издвојене као релевантне.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија која је примењена у овој дисертацији била је да се формира нова хибридна техника која ће превазићи мањкавости 'model-based' и 'model-free' поступка. Полазећи од првог приступа, генерисан је модел у одговарајућој АРМА (*Auto-Regressive Moving-Average*) форми за систем са два улаза и једним излазом. Усвојена је претпоставка да проток воде из напојних пумпи као и одток паре из сепаратора доминантно утичу на ниво воде у сепаратору, па су ове две физичке величине сматране улазом у систем. Са друге стране, ниво воде у сепаратору се, природно, сматрао излазном величином. Ред модела и усвојено временско кашњење су били предмет детаљне анализе у дисертацији. Примењене су различите технике идентификације система рекурзивног типа и извршено је њихово поређење. Параметри овако добијеног модела су третирани у форми случајног вектора чије се статистике могу сматрати као индикатори појаве отказа. Претпоставка је да се отказ може појавити на једном од три сензора (протока напојне воде, протока паре, нивоа воде) и да су сензори мултипликативног типа.

Искуство оператора који су одговорни за несметани рад оваквих индустријских постројења је указало на чињеницу да је отказ мултипликативног типа најчешћи код сензора протока и нивоа. На тако добијен случајни вектор који карактерише тренутно стање постројења, примењене су различите методологије из области препознавања облика. Примењене су методологије тестирања хипотеза, пројектовања линеарних класификатора као и пројектовање класификатора типа најближих суседа, међутим, као најефикаснија се показала техника тестирања хипотеза *Neuman-Pearson*-овог типа. Извршена је исцрпна анализа добијених резултата у смислу њиховог поређења са становишта нумеричке комплексности, вероватноће лажних аларма, вероватноће пропуштених детекција као и временског кашњења од појаве до детекције отказа.

-
7. Salahshoor, K., Kordestani, M., Khoshro, M., 2010. Fault detection and diagnosis of an industrial steam turbine using fusion of svm (support vector machine) and anfis (adaptive neuro-fuzzy inference system) classifiers. *Energy* 35, 5472–5482.
 8. Zhao, K., Upadhyaya, B., 2006. Model based approach for fault detection and isolation of helical coil steam generator systems using principal component analysis. *Nuclear Science, IEEE Transactions on* 53, 2343–2352.
 9. Aitouche, A., Bouamama, B., 2008. Detecting and isolation actuators faults of steam boiler. *Int. Journal of Sciences and Techniques of Automatic control and computer engineering* 2, 764–775.
 10. Djeziri, M., Ould Bouamama, B., Merzouki, R., 2009. Modelling and robust FDI of steam generator using uncertain bond graph model. *Journal of Process Control* 19, 149–162.
 11. Muhammad Abid, 2010, Fault Detection in Nonlinear Systems: An Observer-based approach, Thesis, University of Duisbur, Essen, internal document 22973.

Примењена методологија је, са становишта увида у савремену литературу која се бави проблемима детекције отказа у сложеним индустријским постројењима, крајње релевантна и ефикасна с обзиром на њену широку примену и с обзиром на резултате који се њеном применом постижу. У великом броју индустријских примена, корист ових методологија се може новчано квантификовати мерењем цене једног испада термоенергетских блокова или ценом која се плаћа услед непроизводње током времена оправке постројења која је настала услед неблагоприятне детекције отказа у систему.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација мр Naser Aldian Ambark Mohamed Shashoa мотивисана је реалним проблемом управљања нивоом воде у сепаратору паре блока Б2 термоелектране ТЕКО у Дрмну, као и реалним задатком детекције отказа у овом систему. Проблем је врло изазован из два разлога. Први је да су сигнали који се добијају са сензора нивоа изузетно зашумљени, контаминирани спорадичним шумом високог интензитета. Разлог овој контаминацији је да се ниво течности мери посредно преко мерача притиска лоцираних на дну сепаратора а други је да је ниво течности врло динамичан са великим таласима услед упумпавања велике количине воде у сепаратор од стране снажних пумпи. Други разлог због кога је овај проблем занимљив јесте да откази на сепаратору паре директно воде ка испаду блока са значајним, негативним, финансијским последицама.

Отуда је ова докторска дисертација имала за циљ да дође до алгоритма за детекцију и изолацију отказа који ће бити применљив на конкретном систему са свим особеностима који један такав, реалан систем носи са собом. Велики део дијаграма и резултата приказаних у дисертацији и јесу снимљени на реалном објекту.

Са друге стране, применљивост испројектованог алгоритма није ограничена искључиво на поменути систем сепаратора паре. Структура алгоритма је врло општа и као таква применљива на различите индустријске процесе. Оно што ће бити значајно другачије, а зависиће од конкретне апликације, јесте процедура идентификације која треба да буде прилагођена особеностима процеса који се идентификује.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa је истраживању и изради ове докторске дисертације посветио шест година. Током овог времена значајну пажњу је посветио изучавању тангентних научних дисциплина као што су теорија система, теорија стохастичких процеса, препознавање облика, елементи вештачке интелигенције, термотехника и термодинамика. Изучавајући ове области, а истовремено радећи на својој дисертацији, кандидат је показао систематичност, упорност, креативност, самосталност, зрелост и могућност примене и синергије резултата из различитих научних области. Проблем којим се бави ова дисертација је веома актуелан а добијени резултати у великој мери превазилазе недостатке које постојећа решења показују. Остварени доприноси су оригинални и они сами по себи потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси ове докторске дисертације могу бити систематизовани на следећи начин:

1. Прегледом одговарајуће литературе извршена је детаљна анализа постојећих метода које су засноване на моделу процеса, као и оних које су засноване на статистичкој обради мерних сигнала. Ова анализа је узела у обзир примењивост најчешће коришћених критеријума за евалуацију ових приступа, као што су благовременост детекције, осетљивост на ране манифестације отказа, ниво лажног аларма, ниво пропуштене детекције и некоректност у идентификацији, као и са становишта њихове сложености, поузданости и примењивости за поједине типове процеса.
2. На основу реалних података и мерења која су била расположива формиран је параметарски модел сепаратора паре у облику мултиваријабилног система са два улаза и једним излазом. Посебна пажња је посвећена ограничењима која проистичу из чињенице да су сви реални експерименти вршени искључиво у затвореној спреси. Сложеност и структура добијеног модела одређена је захтевима са становишта квалитета детекције и идентификације отказа на сензорима у постројењу.
3. Предложена је нова техника за детекцију отказа која представља својеврсни компромис између техника постојећих у литератури. Полазећи од добијених модела, како то захтевају *model-based* приступи, над добијеним параметрима модела су примењени *data-driven* алгоритми, а у циљу превазилажења слабости и једног и другог приступа. У циљу класификације добијених узорака прилагођене су технике тестирања хипотеза као што су *Bayes*-ов тест минималне вероватноће грешке и *Neuman-Pearson*-ов тест. Показано је да *Neuman-Pearson*-ов тест омогућава ефикаснију применљивост на реална постројења јер даје могућност једноставног компромиса између кашњења у детекцији и вероватноће лажног аларма.
4. Као значајан допринос ове тезе мора се навести исцрпна анализа примењивости новог, предложеног приступа за детекцију и идентификацију отказа у индустријским постројењима, као и детаљни преглед предности и недостатака развијеног приступа за детекцију отказа сепаратора паре у котловским постројења термоенергетских система, са становишта кашњења у детекцији, вероватноће лажног аларма и вероватноће пропуштене детекције.
5. Следећи, значајан, допринос јесте прилагођење испројектованог алгоритма у циљу његове примењивости на реалне процесе. У том смислу треба посебно поменути извршену анализу утицаја реалних индустријских мерења на квалитет алгоритама за детекцију и идентификацију отказа. Под овим се, у првом реду, мисли на присуство такозваних *outliers-a* или лоших мерења који се у индустријској пракси појављују или услед јаког електромагнетског зрачења у коме се налази мерна опрема или услед природе процеса који садрже нагле промене појединих физичких величина.
6. Коначно, значајан допринос ове тезе јесу анализирана и наведена ограничења која технике за детекцију и идентификацију отказа показују приликом примене на различита индустријска постројења. При томе је анализа обухватила и постојеће технике као и новопредложено решење у овој тези. Велики раскорак између теоријских резултата објављених у еминентним научним часописима и индустријске праксе лежи у томе да истраживачи нису свесни или свесно не желе да узму у обзир ограничења која индустрија безусловно поставља (финансијски ефекти-профит, ниво

безбедности по материјална средства и људство у окружењу, поузданост и расположивост система, извршавање алгоритама у реалном времену, ограничени меморијски и рачунарски капацитети микропроцесорских јединица које воде процесе, стално присуство изразитог мерног шума, стално присуство поремећаја различитог интензитета и томе слично). Имајући у виду реално окружење какво влада у термоелектрани ТЕКО Костолац у Дрмну, ова докторска теза је на непосредан и крајње непристрасан начин дала оцену нивоа примењивости развијених теоријских метода у живим индустријским условима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Најважније унапређење научних знања у поређењу са постојећим стањем састоји се у чињеници да је у овој докторској дисертацији предложен нови метод детекције и изолације отказа који превазилази недостатке постојећих, у литератури познатих метода. Полазећи од структуре детекције отказа заснованих на познавању модела процеса, извршена је идентификација система. Међутим, за разлику од *'model-based'* стратегија није анализирана секвенца резидуала, јер је она врло осетљива на грешке моделирања као и на присуство поремећаја у процесу. Даља анализа је вршена у духу *'data-driven'* методологије која мерења ставља у оквир стохастичких процеса, с тим што је у новопредложеној методи, као скуп мерења анализиран скуп естимираних параметара модела. На тај начин се превазилази и значајан недостатак у *'data-driven'* структури алгорита, у којој није могуће укључити априорна предзнања о процесу. Другим речима, нови алгоритам, предложен у овој дисертацији, превазилази проблем постојећих метода које се манифестују кроз осетљивост на грешке модела а истовремено омогућава једноставно укључивање информација о природи процеса. Овај квалитет новопредложене испројектоване технике су запазили и рецензенти рукописа који је прихваћен за објављивање у еминентном часопису *Control Engineering Practice*, и који се управо и бави применом оваквих решења у индустријској пракси.

4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa је објавио следеће радове:

Међународни часописи (Категорија М22):

1. N.A.M. Shashoa, Kvaščev G., Marjanović A., Đurović Ž.: *Sensor Fault Detection and Isolation in a Thermal Power Plant Steam Separator*, Control Engineering Practice, рад прихваћен за објављивање, доступан је на on-line сервисима од 11.04.2013. и додељена му је пагинација No. 21 (2013), pp. 908-916, DOI: 10.1016/j.conengprac.2013.02. 12.

Саопштења са домаћих скупова штампана у целини (Категорија М63)

1. Kvaščev G., Marjanović A. , N.A.M. Shashoa: Robusna adaptivna idenifikacija parametara separatora pare kotlovskih postrojenja, Zbornik radova 55. Konf. ETRAN, Banja Vrućica, jun 2011.
2. Kvaščev G., Marjanović A., N.A.M. Shashoa: Jedan pristup korekcije loženja u kotlovima termoelektrana na bazi procene raspodele temperature u ložištu, Konf. ETRAN, jun 2013. (rad prihvaćen za prezentaciju).

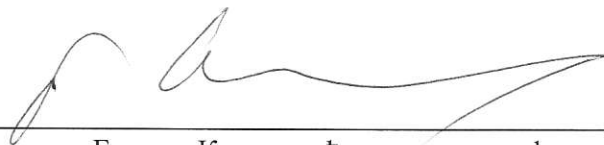
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија сматра да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације. Узимајући у обзир све наведене научне доприносе, новопредложени алгоритам за детекцију и изолацију отказа, његову примењивост на реалне индустријске системе, показану зрелост кандидата и његову способност за самостални научно-истраживачки рад Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa садржи оригиналне научне доприносе који имају доказану практичну примену у области аутоматике. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом "Детекција и изолација отказа у сепаратору паре термо-енергетских постројења" кандидата мр Nasar Aldian Ambark Mohamed Shashoa, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Жељко Туровић, редовни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



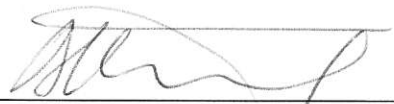
др Бранко Ковачевић, редовни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



др Владимир Стевановић, редовни професор
Универзитет у Београду-Машински факултет



др Горан Квашчев, доцент
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



др Вељко Папић, доцент
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет