



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ • ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 • 11000 Београд • Република Србија •

Тел. 011/324-8464 • Факс: 011/324-8681

Универзитет у Београду
Већу научних области техничких наука

З А Х Т Е В

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно чл.46 ст.5.тач.4 Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр.131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Мр АЛЕКСАНДРА (ИЛИЈА) РИБИЋА

Кандидат Мр Александар Рибич предао је урађену докторску дисертацију под називом:
„Развој новог индустријског регулатора: структура, модели, подешавање и реализација са применом на термоелектранама“

Универзитетско веће научних области техничких наука је дана 10.7.2007.године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Александра Рибича образована је на седници 08.12.2009./16.02.2010.године, одлуком Наставно-научног већа Факултета бр.786/3, у саставу:

Име и презиме члана Комисије	Звање	Установа у којој је запослен
1. Др Срђан Станковић	редовни професор	Електротехнички факултет у Београду
2. Др Миленко Ђурић	редовни професор	Електротехнички факултет у Београду
3. Др Душан Петровачки	редовни професор	Факултет техничких наука у Новом Саду
4. Др Жељко Ђуровић	ванредни професор	Електротехнички факултет у Београду
5. Др Бранко Ковачевић	редовни професор	Електротехнички факултет у Београду

Наставно-научно веће Факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 16.02.2010.године.

Прилози:

1. Извештај Комисије са предлогом
2. Одлуку Наставно-научног већа Факултета о усвајању извештаја

ДЕКАН
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Миодраг Поповић



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ ● ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 ● 11000 Београд ● Република Србија ●

Тел. 011/324-8464 ● Факс: 011/324-8681

На основу чл.128 Закона о високом образовању и чл.66 и 68 и Статута Електротехничког факултета у Београду, Наставно-научно веће на седници од 16.02.2010.године, донело је

О Д Л У К У

Усваја се Извештај комисије у саставу: др Срђан Станковић, редовни професор Електротехничког факултета, др Миленко Ђурић, редовни професор Електротехничког факултета, др Душан Петровачки, редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду, др Жељко Ђуровић, ванредни професор Електротехничког факултета, др Бранко Ковачевић, редовни професор Електротехничког факултета, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под насловом: **„Развој новог индустријског регулатора: структура, модели, подешавање и реализација са применом на термоелектранама“** коју је предао **мр АЛЕКСАНДАР РИБИЋ**, и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука.

Комисија за усмену одбрану именована је у саставу: др Срђан Станковић, редовни професор Електротехничког факултета, др Миленко Ђурић, редовни професор Електротехничког факултета, др Душан Петровачки, редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду, др Жељко Ђуровић, ванредни професор Електротехничког факултета, др Бранко Ковачевић, редовни професор Електротехничког факултета.

ДЕКАН

Електротехничког факултета

Проф.др Миодраг Поповић

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ ИЗВЕШТАЈ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. УВОД

1.1 Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација мр Александра Рибића, дипл. инж. под насловом **“Развој новог индустријског регулатора: Структура, модели, подешавање и реализација са применом на термоелектранама”** садржи 88 страна и обухвата 59 слика, 1 табелу и 50 референци.

1.2 Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је пријавио 14.12.2006. године тему под насловом **“Развој новог индустријског регулатора: Структура, модели, подешавање и реализација са применом на термоелектранама”** за израду докторске дисертације. Наставно-научно веће ЕТФ именовало је 21.12.2006. године Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: Редовни професор Срђан Станковић, Редовни професор у пензији Мирослав Матаушек, Редовни професор Миленко Ђурић. Наставно-научно веће ЕТФ прихватило је 12.06.2007. године Извештај Комисије о оцени услова и предложеној теми за израду докторске дисертације. Тема је 10.07.2007. године прихваћена од стране Стручног веће Универзитета у Београду. Наставно-научно веће ЕТФ именовало је 08.12.2009. године Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: Срђан Станковић, ред.проф. ЕТФ, Миленко Ђурић, ред.проф. ЕТФ, Душан Петровачки, ред.проф. ФТН Нови Сад, Жељко Ђуровић, ванр.проф. ЕТФ, и Бранко Ковачевић ред.проф. ЕТФ.

1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области

Истраживања извршена крајем 20-ог века у области управљања индустријским процесима у САД и Јапану показују да у индустријској пракси и даље доминира ПИД регулатор, патентиран пре 80 година. Такав тренд примене предвиђа се и за 21-ви век. Истраживање извршено у САД 2003. године показало је да су, од 11000 анализираних регулационих петљи у рафинеријама, хемијској и папирној индустрији, ПИД регулатори заступљени чак са 97%. Поред овог регулатора, у индустријској примени је у већој мери заступљен још само Смитов предиктор, у случају да доминира транспортно кашњење. Последњих година број радова посвећених ПИД регулатору и Смитовом предиктору је у експоненцијалном порасту. У тим радовима, што се тиче ПИД регулатора, реч је углавном о подешавању параметара у његовим два структура – паралелној и серијској, док се код Смитовог предиктора, поред развоја метода подешавања његових параметара, интензивно ради и на модификацијама основне структуре. С обзиром на напред речено, од теоријског и практичног интереса је да се развије нови индустријски регулатор који може да обезбеди боље перформансе уз исту робусност, и уз услов да има универзалност ПИД-а у смислу применљивости на стабилне процесе, процесе са интегралним дејством, нестабилне процесе, осцилаторне процесе и процесе са транспортним кашњењем.. Такође се очекује од новог регулатора да за системе са доминантним транспортним кашњењем буде еквивалентан Смитовом предиктору. Коначно, са становишта примене, неопходно је да се обезбеди и могућност његовог подешавања тако да буде еквивалентан ПИД регулатору или основној верзији Смитовог предиктора. Индустријски регулатор, развијен у овој докторској дисертацији, представља успешну реализацију ове идеје.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Мр Александар Рибић рођен је 1966. године у Дубровнику. Дипломирао је на Електротехничком факултету у Бања Луци 1992, у области Рачунарске технике и аутоматике. Магистарски рад "Децентрализована детекција неисправности у сложеним системима" одбранио је 2001 на Електротехничком факултету у Београду. Запослен је у Институту Михајло Пупин у Београду, у звању истраживач сарадник. Са 12 година радног искуства, у области аутоматске регулације, идентификације процеса и рачунарских система за рад у реалном времену, урадио је више пројеката. Наводимо најзначајније. Развој софтвера даљинске станице за аквизицију података и управљање у реалном времену АТЛАС-РТЛ заснованог на Linux оперативном систему са RTAI екстензијом (пројектовање и реализација базе стања, развој софтверских библиотека за приступ бази, софтверски модули за приступ ИО картицама). Овај тип даљинске станице у оперативној је употреби од 2005. године. Развој система аутоматске регулације котла ТЕ Морава 120 MW (развој софтверског блока регулатора, комплетна регулациона шема свих контура блока, осим турбине и генератора, пуштање система регулације у рад), у употреби од 2004. године. Развој система регулације блока термоелектране ТЕНТ-А2 210 MW са пуштањем у рад 2005. године. Идентичан систем регулације примењен је 2006. године на блоку ТЕНТ-А1. Урађено је и портовање SCADA

софтвера VIEW6000 на преводилац GCC3 и новију верзију O.S. Linux. Од 2006. године ова верзија софтвера је у сталној употреби. Развој система управљања сушаром за лековито биље. Развој система за управљање вибрационим дозаторима, што је резултирало радом у међународном часопису IEEE Trans. on Industrial Electronics (у штампи, објављен on-line), док је из докторске дисертације рад објављен у међународном часопису ISA Transactions.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Структура и садржај дисертације

Дисертација се састоји из садржаја, шест поглавља, од чега је прво поглавље увод а шесто закључак, и библиографије.

2.2 Кратак приказ појединих поглавља

У уводу, означеном као поглавље 1, у неопходним цртама приказује се стање у области управљања индустријским процесима, са образложењем зашто и даље доминира ПИД регулатор. Указује се на проблеме подешавања параметара регулатора и дефинишу се основни критеријуми за постизање одговарајућег компромиса између перформанси и робусности пројектованог Система Аутоматског Управљања (САУ). Такође се разматра и улога једноставних модела у развоју процедура подешавања, али и даљег развоја ПИД регулатора и Смитовог предиктора.

У другом поглављу приказују се основна усавршавања ПИД регулатора и дефинише се најопштији тип индустријског ПИД регулатора, са два степена слободе, који има 5 подешљивих параметара и заштиту од навијања (antiwindup). У дисертацији развијени GPDDO индустријски регулатор, такође са два степена слободе и заштитом од навијања, и са 6 подешљивих параметара, биће касније упоређиван са напред наведеним најопштијим типом ПИД регулатора. У другом поглављу су приказани основни поступци за подешавање и оптимизацију ПИД регулатора, као и основне верзије и најзначајнијих модификација Смитовог предиктора. Посебна пажња посвећена је покушајима да се унапреди структура ПИД регулатора, уводећи у структуру информацију о стварном или еквивалентном транспортном кашњењу (PID_{tau} регулатор) и опсервер поремећаја (Disturbance Observer – DO).

У трећем поглављу приказан је развој новог индустријског регулатора, названог GPDDO регулатор. Поглавље започиње дефинисањем карактеристика које, на основу анализе из претходног поглавља, треба да има нови тип индустријског регулатора. Затим се на сажет и јасан начин, уз примену једноставних модела (IPDT - Integrating Plus Dead-Time; FOPDT – First Order Plus Dead-Time; IFOPDT – Integrating First Order Plus Dead-Time; SOPDT – Second Order Plus Dead-Time), приказује развој новог индустријског регулатора, како је текао кроз низ година. Развија се структура PDO регулатора, заснованог на моделима првог реда (IPDT, FOPDT) и за њега се дефинишу процедуре робусног подешавања параметара. Овај регулатор се пореди са Ватанабе-Итовом модификацијом Смитовог предиктора. Показује се да је добијена структура PDO регулатора примењива како за стабилне процесе тако и за нестабилне и процесе са интегралним дејством. Затим се приказује развој PDDO регулатора, заснован на моделима другог реда (IFOPDT, SOPDT). Процедуре подешавања за овај регулатор дате су у објављеним радовима, а у дисертацији се погодним трансформацијама пројектовање и подешавање овог регулатора своди на пројектовање и подешавање PDO регулатора. Коначно, уводи се генерализовани модел другог реда са кашњењем и на основу претходних анализа и тог модела формира се структура GPDDO регулатора и дефинишу процедуре за његову оптимизацију. При оптимизацији могуће је користити априорне информације из модела другог реда са кашњењем или се оптимизација врши на основу експериментално одређене фреквенцијске карактеристике процеса уз примену PSO (Particle Swarm Optimization) алгорита. Ово поглавље се завршава упоређењем ПИД и GPDDO регулатора. Показује се да за типичне репрезентанте динамичких карактеристика индустријских процеса оптимизирани GPDDO регулатор, за исту робусност и осетљивост на мерни шум, гарантује боље перформансе од оптимизираног ПИД регулатора.

Четврто поглавље посвећено је експерименталном одређивању динамичких карактеристика процеса потребних за оптимизацију развијеног индустријског регулатора. Посебна пажња посвећена је идентификацији у сврху подешавања регулатора у фреквенцијском домену. Наиме, као и ПИД регулатор и развијени PDDO регулатор и генерализовани PDDO регулатор, односно GPDDO регулатор, могу се подешавати на основу једноставних модела. Међутим, у том случају, код оба регулатора губи се њихова универзалност и подешавање се везује за одређени тип процеса. Као и код ПИД-а и код GPDDO регулатора прилаз који не захтева спецификацију типа процеса заснива се на оптимизацији уз коришћење експериментално одређене фреквенцијске карактеристике процеса. Проблем је што се идентификација мора извршити на основу података прикупљених у затвореној повратној спрези. С обзиром на стално присуство поремећаја, прилаз заснован на подацима прикупљеним у отвореној повратној спрези је често неприхватљив. У докторској дисертацији се детаљно анализирају проблеми у вези са идентификацијом у затвореној повратној спрези и на основу оригиналне анализе утицаја тачности идентификације на робусност и перформансе САУ дефинише се тежинска функција која показује где у фреквенцијском домену треба извршити редукцију модела веома високог реда на нижи ред са циљем смањења варијансе процене фреквенцијске карактеристике. Провера развијеног поступка у

затвореној повратној спрези извршена је на моделу термичког процеса веома високог реда, у повратној спрези са GPDDO регулатором и уз значајан шум. Демонстрирани су сви аспекти идентификације, анализом стварних и процењених временских и фреквенцијских карактеристика процеса. Треба овде напоменути да се резултати ових анализа фрапантно слажу са одговарајућим анализама на две термоелектране.

Пето поглавље посвећено је примени развијеног поступка идентификације и индустријског регулатора на две термоелектране. После кратког приказа основних процеса који се одвијају у котлу, дефинише се каскадна *antiwindup* структура САУ где се у унутрашњој контури налази PDDO регулатор. Наиме, експерименти су показали да се идентификацијом добија IFOPDT модел, те је за реализацију ефикасног система управљања била довољна примена основне верзије развијеног новог индустријског регулатора, односно PDDO регулатора. Дати су примери експерименталне провере развијеног индустријског регулатора на примерима регулације притиска паре пред турбино. Демонстрирано је да у условима значајне промене оптерећења котла и у условима значајне промене калоријске вредности угља, предложени систем регулације притиска паре пред турбином ради изузетно добро.

Шесто поглавље је закључак са предлогом основног правца даљих истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост, оригиналност и значај

У овој дисертацији разматра се проблем управљања индустријским процесима. Увођењем програмабилних логичких контролера (PLC) и процесних рачунара у управљање процесима и развојем моћних језика намењених процесном управљању (нпр. функцијски блокови), отворене су широке могућности за примену сложених алгоритама управљања. Међутим, новија истраживања о структури регулатора примењених у хемијској и другима гранама индустрије и енергетици показала су да је ПИД регулатор и данас убедљиво најзаступљенији регулатор. Дobar део остатка примене припада Смитовом предиктору и његовим модификацијама, а остали регулатори су тек симболично заступљени. Такође се показало да многи напредни алгоритми управљања показују у поређењу са добро подешеним ПИД регулатором малу или никакву предност. ПИД регулатор даје нешто слабије перформансе када процес има значајније транспортно кашњење. У том случају користи се Смитов предиктор и његове модификације. Недостатак Смитовог предиктора јесте везаност тог регулатора за одређени тип процеса, тако да је структура тог регулатора различита за интегрални, стабилни или нестабилни процес. Остаје и даље отворен проблем дефинисања услова када је погодније користити ПИД регулатор а када Смитов предиктор.

На основу изложеног је јасно да развој новог индустријског регулатора са *antiwindup* дејством, који за исту робусност обезбеђује боље перформансе САУ него ПИД регулатор и основна верзија Смитовог предиктора (која је у најширој употреби), представља значајан савремени допринос управљању процесима. Ово је посебно тачно када се има у виду да се регулатор развијен у докторској дисертацији може подесити тако да буде еквивалентан ПИД регулатору или основној верзији Смитовог предиктора, те се тиме отклања и дилема коју структуру користити у датој ситуацији. Имплементацијом развијеног регулатора постиже се поред ефикасности и универзалност структуре, неопходна за ширу употребу индустријског регулатора.

У којој мери је развој нове структуре индустријског регулатора, са свим напред наведеним особинама, оригинални допринос, показује и чињеница да је до сада развијена само једна структура која представља покушај унапређења ПИД регулатора са додавањем информације о еквивалентном транспортном кашњењу. То је, напред већ поменути, PID_{tau} регулатор, који је развио F.G. Shinsky, један од водећих истраживача у области управљања процесима. У раду који је објављен у часопису ISA Transactions показано је да су серијски ПИД регулатор и PID_{tau} регулатор само посебни случајеви развијеног PDDO регулатора. Развијени GPDDO регулатор представља унапређење паралелног ПИД регулатора. Предност паралелног ПИД регулатора над сиријским је у томе што покрива и осцилаторне процесе, као и GPDDO регулатор, што није случај са сиријским ПИД регулатором и PDDO регулатором.

На крају, мада не по важности, треба овде поменути податак да су тек у последњих десетак година развијене шире прихватљиве процедуре подешавања серијског и паралелног ПИД регулатора и Смитовог предиктора. То су процедуре које, за разлику од давно развијене а, уз мање модификације, и даље у употреби Зиглер-Николсове процедуре, поред одговарајуће перформансе обезбеђују и задовољавајућу робусност. Још је драстичнији податак да су се тек последњих година појавиле адекватне процедуре оптимизације паралелног ПИД регулатора. Кад се то има у виду онда посебан значај добија податак да су за предложени индустријски регулатор у овој докторској дисертацији развијене и процедуре робусног подешавања и оптимизације.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији коришћена литература у потпуности задовољава све критеријуме доброг покривања области истраживања, адекватности и савремености анализе најновијих резултата и трендова развоја у области истраживања и, коначно, јасно указује на место доприноса учињених у овој дисертацији.

3.3 Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У дисертацији су анализирани сви основни, данас најшире примењивани, прилази управљању индустријским процесима и најновији резултати истраживања у тој области. На основу тога, постављен је пре 6 година задатак развоја новог универзалног индустријског регулатора. Од самог почетка истраживања, поред теоријских аспеката у обзир је узимана и практична страна могућности примене у реализацији система аутоматске регулације котла ТЕ Морава 120 MW, на чему је мр. А. Рибић тада радио у оквиру својих радних задатака. То је била срећна околност, јер су реални проблеми везани за: идентификацију процеса у реалним условима неопходности прикупљања података из система са затвореном повратном спрегом; неопходност прелиминарног подешавања регулатора у фази пуштања објекта у пробни рад; неопходност универзалности дигитално имплементиране структуре регулатора, додатно указивали који су, поред теоријских доприноса, стварни могући и неопходни доприноси у развоју новог индустријског регулатора.

Методологија примењена у дисертацији следи у потпуности пут који се данас примењује у развоју метода пројектовања, подешавања и оптимизације индустријских регулатора. То су, с једне стране, примена једноставних модела (IPDT, FOPDT, IFOPDT, SOPDT) који одсликавају основне динамичке карактеристике индустријских процеса и, с друге стране, примена савремених метода оптимизације засноване на карактеризацији динамике процеса применом експериментално одређене фреквенцијске карактеристике процеса. И у литератури и у дисертацији то су прилази пројектовању и подешавању регулатора засновани на параметарским моделима и непараметарским моделима, што је у дисертацији јасно представљено сликом 3.2 где се дефинише пут развоја до индустријског GPDDO регулатора. У дисертацији је показано да модели првог реда са кашњењем (IPDT, FOPDT) резултују у PDO (P regulator + Disturbance Observer) регулатор, за који је онда развијена процедура за робусно подешавање. Показано је да модели другог реда са реалним половима и са кашњењем (IFOPDT, SOPDT) резултују у PDDO (PD regulator + Disturbance Observer) регулатор, за који се процедура за робусно подешавање, једноставном трансформацијом, своди на претходно развијену за PDO регулатор. Коначно, за усвојени генерализовани SOPDT модел изводи се структура генерализованог PDDO регулатора. Ова структура пружа две могућности и у томе је она у значајној предности над свим до сада изведеним структурама, укључујући и ПИД регулатор и Смитов предиктор. Генерализовани PDDO регулатор се може реализовати у структури у којој се подешавање своди на познавање генерализованог SOPDT модела. Недавно је слично показано код серијског ПИД-а, чија се структура изводи из SOPDT модела са реалним половима и сагласно томе и одговарајуће процедуре за робусно подешавање. Међутим, генерализовани PDDO регулатор се може реализовати и као индустријски GPDDO регулатор, који је, као и паралелни ПИД регулатор, независан од усвојеног модела. Његово подешавање се врши, као и код паралелног индустријског ПИД-а, применом експериментално одређене фреквенцијске карактеристике процеса и методе минимизације погодно одабраног критеријума перформансе уз ограничења на робусност и отпорност на мерни шум.

3.3 Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Применљивост је показана и верификација резултата извршена на најбољи могући начин тако што су развијени поступак идентификације процеса и развијени регулатор примењени успешно на две термоелектране.

3.4 Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Резултати досадашњег научно-истраживачког рада мр А. Рибића задовољавају све критеријуме Закона о високом образовању и јасно показују да кандидат поседује све услове за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Допринос ове дисертације је у области управљања индустријским процесима. Посебно дисертација разматра проблем пројектовања и подешавања параметара индустријских регулатора.

Предложен је нови индустријски регулатор са antiwindup дејством:

- а) који за исту робусност обезбеђује боље перформансе система у затвореној повратној спрези него данас најшире примењиван и највише анализиран ПИД регулатор;
- б) који, поред ефикасности, поседује универзалност структуре неопходну за ширу примену индустријског регулатора на стабилне процесе, процесе са интегралним дејством, нестабилне процесе, осцилаторне процесе и процесе са транспортним кашњењем;
- ц) који се може подесити тако да буде еквивалентан ПИД регулатору или основној верзији Смитовог предиктора, те се тиме отклања и дилема коју структуру користити у датој ситуацији.
- д) У дисертацији је разрађена ефикасна процедура за експериментално одређивање фреквенцијске карактеристике процеса на основу података добијених из нормалног рада постројења, односно из система са затвореном повратном спрегом. Применом те фреквенцијске карактеристике подешавање параметара предложеног регулатора врши се минимизација погодно одабраног критеријума перформансе уз ограничења на робусност и осетљивост на мерни шум.

На основу изложеног може се закључити да је оствареним научним доприносом добијен и резултат од

великог значаја за примену и даљи развој индустријских регулатора.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Охрабрује се кандидат да реализује своје виђење даљег истраживања у делу развоја формула подешавања, односно налажења трансформација мерених величина процеса у параметре регулатора. Када се има у виду да се адекватне формуле подешавања за ПИД регулатор траже интензивно већ 65 година, тај се резултат није могао очекивати у дисертацији, мада су за одређене варијанте структуре предложеног регулатора већ учињени први успешни кораци.

4.3 Очекивана примена резултата у пракси

Резултати истраживања су већ примењени у пракси, на две термоелектране, што је ваљано документовано у дисертацији.

4.4 Листа објављених радова

1. Александар И. Рибич, Мирослав Р. Матаушек, “Нови прилаз пројектовању индустријских регулатора”, 49 ЕТРАН, Будва 5.-10. Јун 2005
2. Александар И. Рибич, Драган Нешић, “Пројектовање регулације температуре свјеже паре у ТЕ Морава”, Међународно савјетовање ЕНЕРГЕТИКА 2005, Златибор 19.-22. Јун 2005
3. Александар И. Рибич, “Једно тумачење идентификације процеса за потребе пројектовања индустријских регулатора”, 50 ЕТРАН, Београд 6.-8. Јун 2006.
4. Aleksandar I. Ribić, Miroslav R. Mataušek, “Control of stable, integrating and unstable plants based on PD controller and simple disturbance observer”, 50 ЕТРАН, Београд 6.-8. Јун 2006.
5. Aleksandar Ribić, “Јединствен приступ оптимизацији регулационих контура на блоку термоелектране”, Међународни симпозијум Електране 2006, 19.-22. Септембар, Врњачка Бања.
6. Александар И. Рибич, “Квалитетна регулација процеса сушења љековитог биља: проблеми и решења”, 52 ЕТРАН, Палић 08.-12. Јун 2008.
7. Aleksandar Ribić “PID autotuning i primjenljivost u termotehnici”, Међународни симпозијум Електране 2008, 28.-31. Октобар, Врњачка Бања.
8. Aleksandar I. Ribić, Željko V. Despotović, “PI plus state observer control of electromagnetic vibratory feeder”, 53 ЕТРАН, Врњачка Бања, 15.-19. Јун 2009.
9. Željko V. Despotović, Aleksandar I. Ribić, “Strujna kontrola rezonantnih elektromagnetnih vibracionih dizatora”, 53 ЕТРАН, Врњачка Бања, 15.-19. Јун 2009.
10. Željko V. Despotović, Aleksandar I. Ribić, “Low Frequency Transistor Power Converter for Control Exciting Force of Resonant Electromagnetic Vibratory Conveyors”, 15th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER Electronics – Ee2009, Novi Sad, 2009.
11. M.R. Mataušek, A.I. Ribić, “Design and robust tuning of control scheme based on PD controller plus Disturbance Observer and low-order integrating first-order plus dead-time model”, ISA Transactions, vol 48 (4), pp 410-416, October, 2009.
12. Aleksandar I. Ribić, Željko V. Despotović, “High Performance Feedback Control of Electromagnetic Vibratory Feeder”, IEEE Trans. Industrial Electronics, у штампи – doi: 10.1109/TIE. 2009.2037677.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација мр Александра И. Рибича посвећена је проблему развоја новог индустријског регулатора. Као референтно решење разматран је данас најшире примењиван и анализиран ПИД регулатор. Поред овог регулатора, у индустријској примени је у већој мери заступљен још само Смитов предиктор, у случају да доминира транспортно кашњење. Последњих десет година број радова посвећених ПИД регулатору и Смитовом предиктору је у експоненцијалном порасту. У тим радовима, што се тиче ПИД регулатора реч је углавном о подешавању параметара у његовим двома структурама – паралелној и серијској, док се код Смитовог предиктора, поред развоја метода подешавања његових параметара, интензивно ради и на модификацијама основне структуре.

С обзиром на напред речено, изазов је и од теоријског и практичног интереса је да се развије нови

индустријски регулатор који може да обезбеди боље перформансе од наведених најшире примењиваних регулатора, уз исту робусност и исту осетљивост на мерни шум. Такође, потребно је да нови индустријски регулатору има универзалност ПИД-а у смислу применљивости на стабилне процесе, процесе са интегралним дејством, нестабилне процесе, осцилаторне процесе и процесе са кашњењем.

У докторској дисертацији развијени индустријски регулатор има тражене особине. Осим тога, предложени регулатор се може подесити тако да буде еквивалентан паралелном ПИД регулатору или основној верзији Смитовог предиктора. То је значајно са становишта примене, јер до данас није установљено када треба са структуре ПИД регулатора прећи на структуру Смитовог предиктора. Помоћу развијених робусних правила, предложени регулатор се може подесити и на основу модела ниског реда добијених из једноставних експеримената као што је одзив на степ побуду. Међутим, у дисертацији је дато целовито решење засновано на експерименталном одређивању фреквенцијске карактеристике процеса и минимизацији погоднo одабраног критеријума перформансе, уз ограничења на робусност и осетљивост на мерни шум. У дисертацији је разрађена ефикасна процедура за експериментално одређивање фреквенцијске карактеристике процеса на основу података добијених из нормалног рада постројења, односно из система са затвореном повратном спрегом. Овај поступак и на основу њега подешен регулатор успешно су примењени у реализацији система аутоматске регулације притиска паре пред турбином, у две термоелектране: ТЕ Морава 120 MW и ТЕНТ-А2 210 MW, чиме је поред обимних симулација и у пракси потврђена ваљаност предложених решења.

Резултати из ове дисертације приказани су у више радова на конференцијама и у међународном часопису са импакт фактором ISA Transactions. Осим тога, из области којом се бави дисертација, кандидату је у штампи рад (објављен on-line) и међународном часопису са импакт фактором IEEE Trans. on Industrial Electronics.

Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду.

Комисија сматра да докторска дисертација мр Александра Рибиха, под насловом **“Развој новог индустријског регулатора: Структура, модели, подешавање и реализација са применом на термоелектранама”**, садржи оригиналне научне доприносе, па има задовољство и част да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри њену усмену јавну одбрану.

У Београду, 12. јануара 2010. године

Чланови Комисије:

др Срђан Станковић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

др Миленко Ђурић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

др Душан Петровачки, редовни професор
Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду

др Жељко Ђуровић, ванредни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

др Бранко Ковачевић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду