

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ
КРАЉЕВО

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије о прегледу и оцени докторске дисертације кандидата
мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, бр. 1069/1 од 24. 10. 2012. год. именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом:

“Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима”

На основу прегледа докторске дисертације Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом “Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима” представља резултат научноистраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на проблем пројектовања регулатора фиксног реда када треба управљати хидрауличким извршним органима (погонима) са дугачким водовима, који су описани математичким моделима високог реда.

У управљању преноса хидрауличке енергије постоје два основна концепта: пригушни и запремински. Код пригушног концепта управљања управљање се остварује тако што се на путу преноса постави пригушни елемент (вентил, разводник) на коме се врши расподела енергије на користан део који одлази ка оптерећењу и део који се неповратно губи и претвара у топлоту. С обзиром да се пригушни концепт управљања базира на губитку енергије, да би се постигла већа енергетска ефикасност тежња је да се пригушно управљање све више замењује

запреминским управљањем код кога пумпа даје приближно онолико енергије колико је извршном органу потребно за савлађивање оптерећења и постизање одговарајуће брзине. Веза између пумпе и хидромотора код система са запреминским управљањем остврује се дугачким хидрауличким водом. Дужине ових водова могу бити од неколико метара до неколико десетина метара што је нарочито изражено код мобилних машина (грађевинских и рударских машина, локомотива) где се захтева већа удаљеност радног дела од извора енергије из функционалних и безбедносних разлога. Постојање дугачког хидрауличког вода у овом систему знатно усложњава његову динамику, јер физичке величине притисак и проток које карактеришу пренос енергије дуж дугачког хидрауличког вода, зависе поред временске и од просторне координате. Зависност ових физичких величина и од просторне координате условљава да се при математичком опису дугачког хидрауличког вода просторна расподељеност не може занемарити па се он описује моделом са расподељеним параметрима. Модели са расподељеним параметрима описују се парцијалним диференцијалним једначинама и добијени модел је бесконачно високог реда. Предмет рада ове тезе је да се тако добијени математички модел бесконачног реда редукује на адекватан математички модел високог реда и тиме знатно повећа његова употребна вредност. Са аспекта управљања овде се појављује како решити проблем управљања објекта високог реда (што је овде случај, јер се ради о хидрауличком преноснику снаге са запреминским управљањем и дугачким хидрауличким водом, којим треба управљати), јер у индустријској пракси су присутни регулатори фиксне структуре, а и објекти се описују моделима ниског реда, што овде није случај. Отуда се оправдава потреба дефинисања методологије синтезе регулатора фиксног реда за овакав објект управљања, а у циљу побољшања квалитета рада хидрауличких извршних органа са запреминским управљањем и дугачким водовима, што представља основни допринос ове докторске дисертације.

2. Оцена оригиналности научног рада кандидата

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом “**Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима**” представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области хидро и хидро-електричних система управљања у циљу побољшања квалитета рада а посебно са аспекта уштеде енергије код ових система. Кандидат је тему обрадио студиозно и детаљно, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата водећих светских истраживача у области истраживања ове докторске дисертације. На основу спроведене анализе кандидат је утврдио предности и недостатке до сада коришћених метода, и на основу њих дефинисао конкретан предлог за пројектовање регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у оквиру докторске дисертације

Кандидат мр Љубиша Дубоњић, дипл.маш.инж., је рођен 13.01. 1971. године у Прибоју. Основну школу завршио је у Прибоју, са одличним успехом, а средњу Природно техничку школу, такође са одличним успехом завршио је у Прибоју 1990. године. Машински факултет у Краљеву уписао је 1990. године. Дипломирао је 1997. године из предмета Хидрауличне и пнеуматске компоненте и системи управљања са оценом 10. Последипломске студије уписао је 1997. године на Машинском факултету у Краљеву на смеру Системи аутоматског управљања, које је успешно завршио са просеком 9,44 (девет и 44/100) 2002. године. Магистарски рад под насловом “**Динамичка анализа хидроелектричних управљачких система са дугачким хидрауличним водовима**” одбранио је 2002. године на Машинском факултету у Краљеву. Ментор рада је био проф. др Новак Недић.

Од 1997. до 2003. године радио је на Машинском факултету у Краљеву као сарадник. У звање истраживач сарадник изабран је на Машинском факултету Краљево 2003. године. У звање асистента изабран је 2005. године, за научну област аутоматско управљање, флуидна техника и мерења. У току рада у звању асистента изводи све облике вежби на следећим предметима: Основи система и аутоматског управљања, Хидрауличке и пнеуматске компоненте и системи управљања, Управљачке компоненте, Пројектовање система аутоматског управљања, Пројектовање хидрауличких и пнеуматских система управљања, Управљање и надзор дистрибутивних система, Индустијски работи и Физика.

Учествовао је у реализацији 4 научна пројекта код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Као коаутор и аутор објавио је више научних радова у међународним и домаћим часописима, као и на међународним научним конференцијама од којих се издвајају:

Радови у међународним часописима [M20]

1. Н.Недић, **Љ. Дубоњић**, В. Филиповић, “Design of constant gain controllers for the hydraulic control system with a long transmission line” *Forschung Ingenieurwesen*, Vol.75, Issue 4 (2011) pp. 231–242. ISSN: 0015-7899 (**M23**)
2. Пршић Драган, Недић Новак, **Дубоњић Љубиша**, Ђорђевић Владимир, „Bond Graph Modeling In Simscape“ *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 6, Issue 2 (2012), pp. 239-247. ISSN: 1998-0159 (**M24**)
<http://naun.org/multimedia/NAUN//mcs/16-083.pdf>

Рад у врхунском домаћем часопису [M51]

3. Nedić N. Novak, Filipović Ž. Vojislav, **Dubonjić M. Ljubiša**, “Design of Controllers with Fixed Order for Hydraulic Control System with a Long Transmission Line” *FME Transactions*, Vol. 38 No 2, (2010), pp. 79-86. ISSN: 1451-2092. (**M51**)

Најзначајнија саопштења са међународног скупа штампана у целини [M33]

4. V. Filipovic, N. Nedić, D. Pršić and **Lj. Dubonjić**, “Energy saving with variable speed drives“, The Sixth Triennial International Conference HM08, Kraljevo, 2008. p. A.35-A.39., ISBN 978-86-82631-45-3 (M33)
5. N. Nedić and **Lj. Dubonjić**, “Modeling and Simulation of a Pump Controlled Motor With Long Transmission Lines“ The Sixth Triennial International Conference HM08, Kraljevo, 2008. p. A.35-A.39., ISBN 978-86-82631-45-3 (M33)
6. N.Nedić, **LJ. Dubonjić**, V. Filipović, “Design of PI Controllers for the Hydraulic Control System with a Long Transmission Line“, X Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements SAUM 2010, pp. 76-80., ISBN 978-86-6125-020-0, Niš, (2010) (M33)
7. V.Brašić, **LJ. Dubonjić**, N.Nedić, “Parametric Methods in Analysis and Synthesis of Controlled Time Delay System–Circulating Reservoir for Mixing Liquids“, X Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements SAUM 2010, pp. 72-75., ISBN 978-86-6125-020-0, Niš, (2010), (M33)
8. V.Brašić, **LJ. Dubonjić**, “The Method for Extracing Region of Absolute Stability-Loop Controlled Time Delay Systems“, Heavy Machinery-HM 2011, Vol.7,No 3, pp. 33-36, ISBN 978-86-82631-58-3, Vrnjačka Banja, (2011), (M33)
9. **LJ. Dubonjić**, V.Brašić, “Separation of constant settling time area with D-composition method for controlled time delay systems” Heavy Machinery-HM 2011, Vol.7,No 3, pp. 37-40, ISBN 978-86-82631-58-3, Vrnjačka Banja, (2011) , (M33)
10. Dragan Pršić, Novak Nedić, **Ljubiša Dubonjić**, “Modeling and simulation of Hydraulic Long Transmission Line by Bond Graph”, Heavy Machinery-HM 2011, Vol.7, No 3, pp. 41-46, ISBN 978-86-82631-58-3, Vrnjačka Banja, (2011), (M33)

Сви претходно наведени резултати су директно из проблематике којом се бави ова докторска дисертација.

4. Оцена испуњености обима и квалитета докторске дисертације у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом “Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима” одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Машинског факултета Краљево од 09.07. 2009. године одлуком број 608/6 и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу од 16. 09. 2009. године одлуком бр. 735.

Резултати истраживања у писаном делу докторске дисертације изложени су укупно на 107 страна. У раду је приказано 75 графичких илустрација, 9 табеларних приказа и цитиран је 71 библиографски податак. Излагање је сврстано у 7 поглавља (којима предходе садржај и абстракт на енглеском језику):

1. Уводна разматрања,

2. Досадашњи истраживачки резултати,
3. Математичко моделирање и анализа струјања радног флуида у дугачким хидрауличким водовима,
4. Пројектовање П регулатора за хидрауличке системе управљања са дугачким водовима
5. Пројектовање ПИИ регулатора за хидрауличке системе управљања са дугачким водовима
6. Пројектовање ПИД регулатора за хидрауличке системе управљања са дугачким водовима и
7. Закључна разматрања.

На крају рада дат је списак коришћене литературе.

Прво поглавље указује на потребу и значај истраживања система са запреминским управљањем због низа предности у односу на системе са пригушним управљањем а посебно са аспекта енергетске ефикасности. Пошто су ови системи описани математичким моделима високог реда указано је на неопходност проналажења методологије за пројектовања регулатора фиксне структуре и ниског реда за управљање овим системима а у циљу побољшања квалитета рада хидро и хидроелектричних извршних органа са дугачким хидрауличким водовима.

У другом поглављу је дат преглед истраживачких резултата из области хидро и хидроелектричних система управљања са дугачким хидрауличким водовима као и резултата из области теорије управљања.

Треће поглавље, кроз свеобухватни методолошки прилаз, приказује облике математичких модела стјујања радног флуида у дугачким управљачким хидрауличним водовима, од најједноставнијих до најсложенијих. Модели су исказани кроз матричне зависности и спреге хиперболичких функција и извршен је њихов табеларно сређен приказ. Уз реалне вредности параметара приказане су фреквентне карактеристике усвојених модела, као и њихова анализа у фреквентном домену.

У четвртом поглављу развијена је методологија пројектовања П регулатора система пумпно управљаног мотора са дугачким хидрауличким водом. Методологија пројектовања П регулатора извршена је методом геометријског места корена затвореног кола у коју су укључене и перформансе кроз спецификацију релативне стабилности система, која подразумева унапред задату локацију полова преносне функције затвореног кола у комплексној равни, утврђену на основу познатих захтева. Показано је да пројектовани регулатор даје добре перформансе и при варијацији параметара у компонентама система (на пример: коефицијент вискозности и модул стишљивости који се знатно мењају са променом температуре и притиска). Користећи могућности рачунара и софтвера развијена је једноставна графичка метода за пројектовање П регулатора који често задовољава практичне потребе.

У петом поглављу развијен је ефикасан и једноставан графички метод за пројектовање ПИИ регулатора са којим се постижу високе перформансе за широк спектар линеарних процеса. Поред разматраног система високог реда са дугачким хидрауличким водом разматрани су и други процеси високог реда и процеси са

кашњењем. Код процеса са кашњењем анализирани су процеси код којих је релативно време кашњења велико и којима је тешко управљати. Поређењем са у литератури предложеним процедурама за подешавање ПИ регулатора, предложена метода одликује се великом једноставношћу и јасним инжењерским спецификацијама. Резултати симулација показују добру робусност у односу на немоделовану динамику, као и супериорност у односу на неке методе подешавања регулатора. Предложени метод је погодан за on-line реализацију у реалном времену и за аутоматско подешавање ПИ регулатора. Предложена методологија пројектовања ПИ регулатора, је једноставна и може бити лако усвојена од стране индустрије.

У шестом поглављу предложена је процедура за пројектовање ПИД регулатора за системе високог реда. Разматран је процес високог реда код кога се помоћу пумпе промњливог протока управља са хидромотором, при чему је веза између хидромотора и пумпе остварена дугачким хидрауличким водом. Поређењем са у литератури предложеним процедурама за подешавање ПИД регулатора, предложена метода одликује се великом једноставношћу и јасним инжењерским спецификацијама (релативна стабилност и време смирења). Резултати симулација показују добру робусност у односу на немоделовану динамику, као и супериорност у односу на неке методе подешавања регулатора. Предложени метод пројектовања ПИД регулатора је погодан за on-line реализацију у реалном времену и за аутоматско подешавање ПИД регулатора.

У последњем поглављу су дата закључна разматрања са предлогом за наставак научноистраживачког рада на овој проблематици.

5. Научни резултати докторске дисертације

Реализацијом истраживачког рада на овој дисертацији кандидат је дошао до резултата и закључака, који имају своје место и значај како у научно теоријском тако и у практичном смислу у пројектовању аутоматизованих хидрауличких и хидроелектричних извршних органа, од којих се издвајају следећи:

- Интезивним симулацијама потврђено је да при математичком моделирању дугачког хидрауличког вода са концентрисаним параметрима, да би била обухваћена његова комплетна динамика, неопходна његова подела на n једнаких сегмената дужине l/n .
- Користећи могућности рачунара и софтвера развијена је једноставна графичка метода за пројектовање П регулатора система пумпно управљаног мотора са дугачким хидрауличким водом. Показано је да пројектовани регулатор даје добре перформансе и при варијацији параметара у компонентама система (на пример: коефицијент вискозности и модул стишљивости који се знатно мењају са променом температуре и притиска).
- Развијен је ефикасан и једноставан графички метод за пројектовање ПИ регулатора са којим се постижу високе перформансе за широк спектар линеарних процеса. Поређењем са у литератури предложеним процедурама за подешавање ПИ регулатора, предложена метода одликује се великом једноставношћу и јасним инжењерским спецификацијама. Резултати симулација показали су добру робусност у односу на немоделовану

динамику, као и супериорност у односу на неке методе подешавања регулатора.

- Предложена је процедура за пројектовање ПИД регулатора за системе високог реда. Разматран је процес високог реда код кога се помоћу пумпе промњљивог протока управља са хидромотором, при чему је веза између хидромотора и пумпе остварена дугачким хидрауличким водом. Поређењем са у литератури предложеним процедурама за подешавање ПИД регулатора, предложена метода одликује се великом једноставношћу и јасним инжењерским спецификацијама (релативна стабилност и време смирења). Резултати симулација показали су супериорност у односу на неке методе подешавања регулатора. Предложени метод пројектовања ПИД регулатора је погодан за on-line реализацију у реалном времену и за аутоматско подешавање ПИД регулатора.

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Докторска дисертација кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом **“Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима”** даје низ значајних резултата који могу бити изузетно корисни у теорији и пракси.

Предложени метод за пројектовање регулатора фиксног реда проверен је на реалном индустријском систему пумпно управљаног мотора са дугачким хидрауличким водом, али може бити примењен и на широк спектар линеарних процеса високог реда као и процеса са кашњењем.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део резултата произашлих у оквиру ове дисертације је већ публикован и верификован објављивањем у међународним и националним часописима, као и на међународним научним конференцијама.

Практични аспекти реализованог научно-истраживачког рада и резултати реализације конкретног решења представљени су домаћој стручној јавности кроз реализацију пројеката **ТР 14071** и **ТР 33026**, Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даљу презентацију на научним скуповима и објављивање радова у међународним и домаћим научним часописима, као и наставак истраживања у овој проблематици.

На основу свега изложеног комисија доноси следећи

З А К Љ У Ч А К

Докторска дисертација кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., под насловом **“Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима”** у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, одлуком бр. 608/6 од 09.07. 2009. године од стране Наставно-научног већа Машинског факултета Краљево и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одлуком бр. 735 од 16. 09. 2009. године.

Разматрана научна тема је веома актуелна и даје значајан научни допринос у циљу побољшања квалитета рада хидро и хидроелектричних извршних органа (погона) у системима управљања. Докторска дисертација је резултат оригиналног научног рада кандидата у оквиру поменуте области. Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.






Значајан део резултата до којих је кандидат дошао у току израде ове дисертације је публикован у више радова, који су објављени у међународним и домаћим научним часописима као и на међународним научним конференцијама, и на тај начин верификован.

На основу свега изложеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, једногласно је закључила да докторска дисертација, под насловом:

“Синтеза регулатора фиксног реда за системе управљања са дугачким хидрауличким водовима”

кандидата мр Љубише Дубоњића, дипл. инж. маш., по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава стручне, научне и законске критеријуме за израду докторске дисертације, па са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, да на основу овог Извештаја и спроведене процедуре, докторску дисертацију прихвати за јавну усмену одбрану.

Чланови комисије:

1. 
др **Зоран Бучевац**, редовни професор
Машински факултет у Београду
Научна област: Аутоматско управљање
2. 
др **Зоран Рибар**, редовни професор
Машински факултет у Београду
Научна област: Аутоматско управљање
3. 
др **Војислав Филиповић**, ванредни професор
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Научна област: Аутоматско управљање, флуидна техника и мерења
4. 
др **Драган Пршић**, доцент
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Научна област: Аутоматско управљање, флуидна техника и мерења
5. 
др **Новак Неђић**, редовни професор
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Научна област: Системи аутоматског управљања и флуидне управљачке компоненте и системи (Ментор)