

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ	
1.	Датум и орган који је именовao комисију 26. 03. 2015. Наставно Научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду
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 Бранко Ковачевић, редовни професор, УНО: аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 12. 09. 1995, ЕТФ Београд, председник комисије др Душан Петровачки, професор емеритус, УНО: аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 10. 02. 2011, ФТН Нови Сад, члан комисије др Милан Рапаић, доцент, УНО: аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 07. 10. 2011, ФТН Нови Сад, члан комисије др Филип Кулић, редовни професор, УНО: аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 12. 09. 2013, ФТН Нови Сад, члан комисије др Томислав Шекара, ванредни професор, УНО: аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 04. 02. 2013, ЕТФ Београд, члан комисије др Зоран Јеличић, редовни професор, УНО: аутоматика и управљање, датум избора у звање: 20. 06. 2013, ФТН Нови Сад, ментор
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ	
1.	Име, име једног родитеља, презиме: Борис, Бранислав, Јаковљевић
2.	Датум рођења, општина, држава: 22.07.1982, Нови Сад, Србија
3.	Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Рачунарство и аутоматика, дипломирани инжењер електротехнике - мастер
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2007, Рачунарство и аутоматика
5.	Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука, Анализа стабилности и регулација линеарних временски непроменљивих система са транспортним кашњењем (интегрисане основне и мастер студије), Аутоматика и управљање системима, 30.05.2007.
6.	Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Оптимално и субоптимално подешавање параметара робусних линеарних регулатора нецелог реда

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Дисертација поседује следећа поглавља:

1. Увод (стр. 1 - 6)
2. Фракциони рачун - основе (стр. 7 - 16)
3. Примери реалних фракционих система (стр. 17 - 22)
4. Типови регулатора (стр. 23 - 38)
5. Захтеви при пројетовању регулатора (стр. 39 - 58)
6. Оптимизациони проблеми (стр. 59 - 68)
7. Резултати (стр. 69 - 118)
8. Управљање процесима са динамиком нецелог реда помоћу клизног режима (стр. 119 - 136)
9. Закључак(стр. 137 - 140)
Прилог - Основни математички појмови и дефиниције (стр. 141 – 144)
Библиографија (стр. 145 – 152)

Дисертација садржи: 153 стране, 9 поглавља, 88 цитата, 75 слика и 15 табела.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У уводном делу дисертације (поглавље 1) јасно су приказани основни циљеви истраживања. Рад је у целини посвећен управљању системима који се могу описати фракционим диференцијалним једначинама. По својој структури рад је подељен у две целине, у оквиру прве целине разматрано је линеарно управљање системима чији је линеарни регулатор и/или динамика нецелог реда, док је други део рада посвећен нелинеарном управљању системима нецелог реда.

У другом поглављу ове тезе дате су основе фракционог рачуна потребне за разумевање концепта диференцијатора и интегратора нецелог реда који представљају градивне елементе разматраних робусних регулатора, како линеарних тако и нелинеарних. Приказане су дефиниције, теореме и особине потребне за дубље разумевање свих феномена карактеристичних за динамичке управљачке системе нецелог реда. Детаљно су разматрани приступи базирани на Гринвалд-Летњиковој, Риман-Љувиловој и Капутовој дефиницији фракционих диферинтегратора, као и одговарајуће особине у сваком од ових приступа. Наглашен је значај почетних услова на проблеме који обухватају диферинтеграторе нецелог реда у духу теорије линеарних система.

У оквиру поглавља 3 дат је кратак преглед реалних фракционих процеса и математичких модела истих. Почело се од специфичних уопштења познатих из теорије кола, преко парцијалних диференцијалних једначина провођења топлоте, до система са меморијом у области фармакокинетике. Овај преглед показује не само значај система чија се динамика описује диференцијалним једначинама нецелог реда, већ и континуитет у истраживањима аутора.

У поглављу 4 дат је детаљан приказ линеарних регулатора, који су предмет истраживања у оквиру ове тезе. Детаљно и веома прегледно дата је структура линеарних регулатора почевши од класичног ПИД регулатора, затим фракционог ПИД регулатора (ФПИД) и регулатора дистрибуираног реда (ДОПИД), који се у специјалним случајевима може свести на класични или фракциони ПИД. Структура и изведба дистрибуираног регулатора представља оригинални допринос аутора, који према нашим најбољим сазнањима није разматран у доступној литератури. Посебно интересантно представљено је уопштавање линеарних регулатора по сложености и броју степени слободе, односно параметара за њихово подешавање. Са становишта практичне имплементације, од значаја су две структуре ДОПИД-а, једна са еквидистантним фракционим корацима, а друга произвољније структуре са широм слободом у избору реда фракционих диферинтегратора. Оригинално решење за нископропусни филтар, који је изведен из саме форме ДОПИД регулатора, употпунило је уопштавање класичног ПИД-а и сигурно представља вредан и верификован научно-стручни резултат ове тезе.

У поглављу 5 дат је свеобухватан преглед квантитативних и квалитативних критеријума за оцену понашања робусних система аутоматског управљања. Детаљно је анализиран утицај поремећаја и неодређености модела на квалитет регулације. Сви показатељи, било они дати интуитивно (описно) или математички ригидно, преведени су у критеријуме оптималности и/или ограничења, чиме је омогућена оптимизациона студија проблема, тачније, израчунавање оптималног, односно субоптималног управљања у случају када је профил управљачког сигнала унапред познат. Треба истаћи да једнозначно пресликавање критеријума и ограничења карактеристичних за „обичне“ линеарне системе у одговарајуће критеријуме и ограничења карактеристичне за фракционе линеарне системе није увек могуће, те је потребно извршити њихову квантитативну модификацију. Ове модификације, према најбољим сазнањима аутора, нису до сада обрађиване у литератури и представљају допринос аутора овој области теорије система управљања. Посебно је важан део у раду у коме се проблем из сфере динамичке оптимизације преводи у статичку, трансформацијом из временског у фреквентни домен.

У поглављу 6 дат је скуп система који се најчешће користе за тестирање линеарних регулатора целог и нецелог реда. Овај тест скуп обогаћен је системима описаним у поглављу 3 ове тезе. У оквиру овог поглавља једнозначно је дефинисано 11 оптимизационих проблема, који произилазе из претходног поглавља. Морамо напоменути да овако прегледан и широк приступ дат у духу теорије оптималног управљања нисмо сретали у литератури.

У поглављу 7 дати су резултати свих оптимизационих проблема дефинисаних у претходном поглављу. Нумеричка студија је веома детаљна, а резултати су представљени кроз табеле и графиконе на основу којих је анализиран квалитет добијеног одзива и управљачког сигнала за оптимални регулатор за одређени проблем и одређени процес. Интересантно је приметити да добијени резултати у избору оптималних параметара регулатора често конвергирају конвенционалном ПИД регулатору, посебно код система код којих постоји сложена динамика целог реда, а да се квалитет регулације фракционих система чешће квалитативно унапређује регулаторима нецелог реда. Ова чињеница грубо указује да је поништавање динамике иманентна карактеристика овако пројектованих оптималних и субоптималних регулатора. Са друге стране, фракциони регулатор у својој уопштеној ДОПИД структури дозвољава постизање компромиса између потискивања поремећаја и робусности система, односно да се сложени критеријуми оптималности, који садрже супротстављене оцене квалитета, боље задовољавају применом регулатора са више степени слободе у форми ДОПИД-а. Ово такође представља оригиналан закључак рада, који се није могао наћи у доступној литератури.

У поглављу 8 пројектована је једна класа нелинеарних регулатора, у духу теорије клизних режима, а која се показала као успешна у проблемима управљања системима бесконачне динамике. Предложена је оригинална структура регулатора, која у себи садржи паралелну везу класичног линеарног ПИ регулатора и нелинеарног ПИ регулатора. Ова студија представља својеврсно уопштење приступа из претходних поглавља овог рада на нелинеарно субоптимално управљање класом система са нецелом динамиком. Приступ и резултати из овог поглавља представљају оригинални и верификовани допринос аутора теорији управљања системима нецелог реда.

Закључак је дат у поглављу 9. Резимирана су основна достигнућа и наглашени су кључни резултати истраживања.

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

- [1] Jakovljević, B., Pisano, A., Rapaić, M. R. and Usai, E. (2015), On the sliding-mode control of fractional-order nonlinear uncertain dynamics, International Journal of Robust and Nonlinear Control, doi:[10.1002/rnc.3337](https://doi.org/10.1002/rnc.3337).
- [2] Jakovljević B.B. , Rapaić, M.R. , Jeličić, Z.D. , Šekara, T.B., Optimization of distributed order fractional PID controller under constraints on robustness and sensitivity to measurement noise, 2014 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications (ICFDA), 23-25 June 2014, Catania. pages 1 - 6, DOI: 10.1109/ICFDA.2014.6967406
- [3] Jakovljević B.B. , Rapaić, M.R. , Šekara, T.B. , Jeličić, Z.D. , Optimization of Fractional PID Controller by Maximization of the Criterion That Combines the Integral Gain and Closed-Loop System Bandwidth, 18th International Conference on System Theory, Control and Computing, October 17-19, 2014, Sinaia, Romania
- [4] Marko Bošković, Tomislav Šekara, Milan Rapaić, Boris Jakovljević. Rational approximations to design controllers for unstable processes, including dead-time, Proceedings of 10th Symposium on Industrial Electronics INDEL 2014, Banja Luka, pp. 200 - 204.
- [5] Jakovljević Boris, Rapaić Milan, Kapetina Mirna, Šekara Tomislav, Upporedna analiza performansi jedne klase linearnih optimalnih regulatora celog i necelog reda, Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh-Jahorina (13; Jahorina; 2014)

Из шире области тезе, кандидат је објавио и следеће научне и стручне радове:

- [6] Teodor M. Atanackovic, Boris B. Jakovljevic, Milena R. Petkovic, On the optimal shape of a column with partial elastic foundation, *European Journal of Mechanics - A/Solids*, Volume 29, Issue 2, March–April 2010, Pages 283-289
- [7] Jakovljević Boris, Kanović Željko, Rapaić Milan, Jeličić Zoran, *Analiza performansi linearnih sistema sa frakcionim astatizmom*, ETRAN (57; Zlatibor; 2013), ISBN: 978-86-80509-68-6

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

- Разматране су две класе проблема управљања системима са нецелом динамиком; Прва класа проблема обухвата линеарне регулаторе нецеле динамике у управљању динамичким системима. Предложена је оригинална структура дистрибуираног ПИД регулатора (ДОПИД), који обухвата све изводе од реда -1 до 1. Овај регулатор је обогаћен нископропусним филтром, који је природно изведен из саме структуре ДОПИД регулатора, а није наметнут као његова модификација.
Друга класа проблема обухвата нелинеарне системе фракционе динамике, којима се управља у духу теорије клизног режима, а предложену регулациону петљу чине линерани и нелинеарни ПИ регулатор у паралелној вези. Ово решење за управљање класом нелинеарних фракционих система представља оригинални верификовани допринос ауора.
- Детаљно су разматрани, образложени и формулисани критеријуми оптималности и ограничења за оптималано подешавање параметара дистрибуираног регулатора. Сви квантитативни показатељи понашања линераних система са нецелим изводима су прилагођени фракционој динамици и по први пут, према нашим најбољим сазнањима, се као такви срећу у овој тези.
- На великом броју тест примера, кроз низ нумеричких симулација закључено је да добијени резултати у избору оптималних параметара дистрибуираног регулатора често конвергирају конвенционалном ПИД регулатору, посебно код система код којих постоји сложена динамика целог реда, а да се квалитет регулације фракционих система чешће квалитативно унапређује регулаторима нецелог реда. Ова чињеница грубо указује да је поништавање динамике иманентна карактеристика овако пројектованих оптималних и субоптималних регулатора. С друге стране фракциони регулатор у својој уопштеној ДОПИД структури дозвољава постизање компромиса између потискивања поремећаја и робусности система; односно, да се сложени критеријуми оптималности, који садрже супротстављене оцене квалитета, боље задовољавају применом регулатора са више степени слободе у форми ДОПИД-а. Ово такође представља оригиналан закључак рада, који се није могао наћи у доступној литератури.
- Приказана је практична примена добијених решења кроз студију реалних фракционих процеса, чији су модели разматрани у посебном поглављу.
- Структура дистрибуираног регулатора омогућује имплементацију предложених алгоритама управљања и на процесним рачунарима.
- Основни резултати тезе научно су верификовани публикацијама у водећим међународним часописима и саопштењима на међународним конференцијама.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати добијени истраживањима приказани су јасно и прегледно. Резултати су верификовани кроз низ нумеричких симулација и богато илустровани кроз практичне примере. Резултати ових примера су јасно објашњени и коректно тумачени.

IX	КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
1.	Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2.	Дисертација садржи све битне елементе.
3.	Оригиналан допринос науци ове дисертације се манифестује првенствено у следећем: <ul style="list-style-type: none"> • Предложена је оригинална и верификована струкура дистрибуираног регулатора названог ДОПИД. Овај регулатор у континуалној форми обухвата кроз интеграл све изводе од -1 до 1, односно у дигиталном еквиваленту садржи коначан број извода у духу нумеричке интеграције по Њутн-Котесовој формули. За регулатор овог типа предложен је низ критеријума оптималности и ограничења прилагођених динамици са нецелим диферинтеграторима. • Приказано је оригинално и верификовано решење нелинеарног управљања системима са нецелом динамиком. Алгоритам управљања је базиран на клизном режиму, а представљен је кроз паралелну везу линеарног и нелинеарног ПИ регулатора.
4.	Ни суштински ни формални недостаци дисертације нису уочени.
X	ПРЕДЛОГ:
	На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
-	да се докторска дисертација прихвати, а кандидату Борису Јаковљевићу одобри одбрана

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Бранко Ковачевић, редовни професор, председник

Др Душан Петровачки, професор емеритус, члан

др Милан Рапаић, доцент, члан

др Филип Кулић, редовни професор, члан

др Томислав Шекара, ванредни професор, члан

Др Зоран Јеличић, редовни професор, ментор