

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1853/5
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)09.12.2021.
(Датум)**ЗАХТЕВ**
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

СТАБИЛНОСТ ПОСЕБНИХ КЛАСА МЕХАНИЧКИХ СИСТЕМА НЕЦЕЛОГ И ЦЕЛОГ РЕДА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ДАРКО (МИРОСЛАВ) РАДОЈЕВИЋ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: ФОН Београд3. Година дипломирања: 2008.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2012.Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 09.12.2021
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.**ДЕКАН**
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАпроф. др Владимир Поповић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1853/5
Датум: 09.12.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Дарка Радојевића**, магист. инж. орг. наука, бр. 1853/1 од 18.10.2021. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Михаило Лазаревић, ред. проф., др Петар Мандић, доц. и др Сретен Стојановић, ред. проф., Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у Лесковцу, број 1853/4 од 06.12.2021. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 09.12.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ДАРКО РАДОЈЕВИЋ**, магист. инж. орган. наука испуњава услове за израду докторске дисертације **«СТАБИЛНОСТ ПОСЕБНИХ КЛАСА МЕХАНИЧКИХ СИСТЕМА НЕЦЕЛОГ И ЦЕЛОГ РЕДА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ»**.

За ментора студенту **Дарку Радојевићу**, именује се др **Михаило Лазаревић, ред. проф.**

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Дарка М. Радојевића** за израду докторске дисертације

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. 1853/3 од 18.11.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Дарка М. Радојевића**, магист.инж.орг.наука, студента Докторских студија, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „**Стабилност посебних класа механичких система нецелог и целог реда са кашњењем на коначном временском интервалу**“

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Дарко М. Радојевић је рођен је у Београду, општина Савски Венац, 10. 11. 1976. године. Основну школу „Радоје Домановић, на Новом Београду, завршио је 1991. године а Девету гимназију „Михаило Петровић Алас“ на Новом Београду 1995. године. Дипломирао је на Факултету организационих наука у Београду, 2002. године а на истом факултету је завршио и мастер студије 2008. године.

Докторске студије уписао је школске 2012/2013. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Године 2016 објавио је свој први научни рад на конференцији *Chinese Control and Decision Conference CCDC 2016, Yinchuan* у Кини. У периоду од 2016. до 2021. године објавио је више научних радова на домаћим и иностраним конференцијама односно часописима.

У својој радној каријери између осталог бавио се инжењерингом, пројектовањем, анализом и оптимизацијом производних линија и процесне опреме у индустрији, израдом модела оптимизације оперативне припреме производње, организацијом одржавања и управљањем техничким системом објекта који укључује процесне, хидро и термотехничке системе. Такође био је координатор на пројекту израде и имплементације апликативних/софтверских система кроз фазно увођење нових решења као и израдом, имплементацијом и развојем контакт центара.

Током свог школовања и професионалног усавршавања похађао и завршио велики број професионалних курсева: MCSA Microsoft, AutoCAD, Windows Server 2003, ISA Server, SQL, Visual Basic, Primavera Project Planner, Monte Carlo, LaTeX, QuarkXPress, Проактивно вођење продаје Модули I и II. Исто тако завршио је и обуке из вештина презентације, комуникације, вођења и техника продаје.

Одслужио је редован војни рок 2003. године. Течно говори енглески језик.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Дарко М. Радојевић уписао је Докторске академске студије на Машинском факултету у Београду школске 2012/2013. године. Положио је све испите предвиђене Програмом усавршавања са просечном оценом 9.5 и то: Виши курс математике (оцена 10), Нумеричке методе (оцена 8), ОМНИР и комуникација (оцена 10), Истраживање и публикување I (оцена 10), Одабрана поглавља из механике (оцена 9), Системи са кашњењем (оцена 8), Рачун нецелобројног реда са применама у инжењерству (оцена 10), Истраживање и публикување II (оцена 10), Стабилност кретања система (оцена 8), Естимација линеарних система (оцена 9), Напредна роботика-изабрана поглавља (оцена 9), Истраживање и публикување III (оцена 10), Истраживање и публикување IV (оцена 10) и успешно је одбранио Пројекат идеје докторске дисертације (оцена 10).

Као резултат истраживања, кандидат је објавио 11 радова у часописима и на скуповима међународног и националног значаја који су приказани у наставку.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M24)

- [1] Lazarević P.M., **D. M. Radojević**, S. Pišl, G. Maione, „*Robust finite-time stability of uncertain neutral nonhomogeneous fractional-order systems with time-varying delays*“, Theoretical and Applied Mechanics, Serbia, 2020. Vol.47 (2020) Issue 2, 241–255.

Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у целини (M33)

- [2] Lazarević P.M., **D. Radojević**, G. Maione, S. Pišl, „*Finite-time stability of neutral fractional-order time varying delay systems with nonlinear parameter uncertainties and perturbations*“, 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics Kragujevac, ISBN 978-86-909973-8-1 Serbia, June 28-30, 2021, pp.652-661.
- [3] Lazarević M., Živković N., **Radojević D.**, „*Open-closed Iterative Learning Control Algorithm for Exoskeleton Rehabilitation Purposes*“, MATEC Web of Conferences 292, 010 (2019), CSCC, Atina (Greece), 2019, https://doi.org/10.1051/mateconf/2019292_292010_10.
- [4] Debeljković, Lj. D, I. M. Buzurović, G. V. Simeunović, **D. M. Radojević**, „*Improved Results on Finite Time of Time Delay Systems: Jensen's Inequality based Approach*“, Tehnika Masinstvo (Serbia), Vol. 67, No. 1 (2018) pp. 78–86, <https://doi.org/10.5937/tehnika1801076D>
- [5] Buzurović, I. M., D. Lj. Debeljković, M. Sedak, **D. M. Radojević**, „*Further Results on Finite-time Stability of Continuous Singular Time Delay Systems*“, The 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2017), Siam Reap (Cambodia), June 18-20, (2017), ISBN 978-1-5090-6161-7, <http://www.ieeeiciea.org/2017/>
- [6] Dimitrijević N. J., D. Lj. Debeljković, G. V. Simeunović, **D. M. Radojević**, „*Further Results on Finite Time Stability of Continuous Time Delay Systems: Basic Algebraic Approach*“, Proc. International Scientific Conference, 17–19 December 2017, Bansko, Bulgaria, pp. 2303–2310, <http://ibsedu.bg/media/Conference/2017/>
- [7] Buzurović, I. M., D. Lj. Debeljković, M. Sedak, **D. M. Radojević**, „*Finite- Time Stability Analysis of Descriptor Discrete Time Delay Systems using Discrete Convolution of Delayed States*“, Proc. 14 th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision,

(ICARCV) - 2016, Phuket (Thailand), 13-15, November, (2016), pp. Tu 24.5, ISSN 978-1-5090-3549-6/16/\$31.00© 2016 IEEE, <http://icarcv.org/2016/home.asp>

- [8] Buzurović, I. M., S. B. Stojanović, D. Lj. Debeljković, **D. M. Radojević**, „*Novel Delay Dependent Conditions for Non-Lyapunov Stability of Singular Time Delay Systems*“, Proc. Chinese Control and Decision Conference CCDC 2016, Yinchuan (China), 28-30, May, (2016), pp. 1071-1075, ISSN 978-1-9714-7016-8/16/\$31.00© 2016 IEEE, <http://www.ccdc.neu.edu.cn/>

Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у изводу (M34)

- [9] Buzurović, I. M., D. Lj. Debeljković, **D. M. Radojević**, G. V. Simeunovic, „*Asymptotic stability of singular time delay systems: Lyapunov's approach based on Jensen's and Coppel's inequality*“, Book. of Abstracts, International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies, Zlatibor, (Serbia), July 04 – 06, 2018, Book of Abstracts, pp. 21, CD-Rom, Innovation Center of Faculty of Mechanical Engineering, ISBN 978-86-7083-979-3, [https://www.researchgate.net/project/International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies](https://www.researchgate.net/project/International%20Conference%20of%20Experimental%20and%20Numerical%20Investigations%20and%20New%20Technologies).
- [10] T. Nestorović, D. Lj. Debeljković, **D. M. Radojević**, G. V. Simeunović, „*Discrete time delayed system stability theory in the sense of non-lyapunov: delay independent and delay dependent approach*“, Book. of Abstracts, International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies, Zlatibor, (Serbia), July 02–05, 2017, [https://www.researchgate.net/project/International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies](https://www.researchgate.net/project/International%20Conference%20of%20Experimental%20and%20Numerical%20Investigations%20and%20New%20Technologies)
- [11] Nestorović, T., D. Lj. Debeljković, **D. M. Radojević**, G. V. Simeunović, „*On Stability of Time Varying Delay Singular Systems over the Finite Time Interval*“, Book. of Abstracts, International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies, Zlatibor, (Serbia), July 02–05, 2017, [https://www.researchgate.net/project/International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies](https://www.researchgate.net/project/International%20Conference%20of%20Experimental%20and%20Numerical%20Investigations%20and%20New%20Technologies).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током докторских студија Дарко М. Радојевић, дипл. инж. маш. студент Докторских студија, положио је све испите предвиђене планом докторских студија (45 ЕСПБ) који укључују лабораторијски рад (53 ЕСПБ) и одбрани пројекта идеје докторске дисертације (22 ЕСПБ) што у укупном износу даје 120 ЕСПБ бодова чиме је остварио услов да му се одобри израда докторске дисертације. Током својих досадашњих истраживачких активности, кандидат је показао заинтересованост и афинитет за научно истраживачки рад. Научни радови публиковани у међународном часопису, радови презентовани на међународним и националним научним скуповима указују на смисао кандидата за бављење теоријским и експерименталним истраживањима и квалификују га за даљи успешан самосталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације са предложеном темом је динамичко понашање на коначном временском интервалу одређене класе механичких линеарних/нелинеарних система нецелог/целог реда са чистим временским кашњењем присутним у стању и/или управљању система. Наиме, већ крајем шездесетих година

двадесетог века, системи са чистим временским кашњењем привлаче велику пажњу научне и стручне јавности.

Њихова појава у роботици, дугачким хидрауличним и пнеуматским и електричним водовима, динамици летелица и великим системима подстакла је бројне научнике да се њима интензивно баве. Присуство чисто временског кашњења, без обзира да ли је оно присутно у управљању и/или у стању може да произведе нежељене прелазне карактеристике па чак и до појаве нестабилности.

Последње поменути случај веома је чест када су у питању динамички системи са повратном спрегом, односно уочено је да се то јавља и код одређене класе механичких система које су овде од интереса за истраживање.

Због тога је овај проблем наишао на велико интересовање код многих истраживача. У општем случају разматрање проблема који укључује и чисто временско кашњење повлачи далеко сложенију математичку анализу. Континуални механички системи целог реда са кашњењем, у математичком смислу, представљају динамичке системе описане функционалним-диференцијалним једначинама, што свакако представља тежи задатак у одређивању решавања тог система у поређењу са уобичајеним методама које се користе за решавање система без кашњења.

С друге стране, неутрално кашњење је пример врсте временског кашњења, које не постоји само у стању система, већ има везе и са изводом стања система. Дакле, неутрални системи представљају веома општу класу која укључује, као посебне случајеве, обичне системе са кашњењем. Неутрални системи са кашњењем се појављују у практичним инжењерским апликацијама (дистрибутивна мрежа у далеководу без губитака, измењивачи топлоте, работи у контакту са окружењем).

Овде разматрана класа система целог реда, поседује читав низ додатних специфичности и особина које се не сусрећу код стандардних континуалних механичких система и описана је математичким моделом у виду система диференцијалних једначина са помереним аргументом:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A_0 x(t) + A_1 x(t - \tau_x)$$

када су у питању аутономни континуални системи са кашњењем, где је са τ_x , означава чисто временско кашњење у стању које може бити константно или временски променљиво $\tau_x(t)$ са придруженом почетном функцијом стања: $x(t) = \psi_x(t)$, $t \in [-\tau_{xm}, 0]$.

Од посебног интереса биће истраживање класе тзв. неутралних механичких система који укључују осим кашњења у стању и кашњење које се појављује у првом изводу стања.

$$\frac{dx(t)}{dt} = A_0 x(t) + A_1 x(t - \tau_x(t)) + A_{N1} \frac{dx(t - \tau_{xN}(t))}{dt},$$

односно, одговарајућих неаутономних система

$$\frac{dx(t)}{dt} = A_0 x(t) + A_1 x(t - \tau_x(t)) + B_0 u(t),$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = A_0 x(t) + A_1 x(t - \tau_x(t)) + A_{N1} \frac{dx(t - \tau_{xN}(t))}{dt} + B_0 u(t) + B_1 u(t - \tau_u(t)),$$

Са друге стране посебан изазов представљаће и проучавање дате класе механичких система чији се динамички модели могу описати применом савремене теорије фракционог рачуна. Наиме, у дисертацији биће посвећена посебна пажња на примени фракционог рачуна (*рачуна нецелог реда*) у горе наведеној области истраживања. Наиме, већ више од четрдест година примена рачуна нецелог реда (*fractional calculus*) привлачи пажњу научне и стручне јавности широм света. Први пут рачун нецелог реда са јавља око краја 17. века и везују се за кореспонденцију која је остварена између Лопитала и Лајбница, и то у време када су Њутн и Лајбниц постављали основе диференцијалног и интегралног рачуна. Касније, овом рачуну је посвећивана извесна пажња од стране многих познатих математичара и научника тог доба

све до двадесетог века, међу којима су Ојлер, Риман, Лиувил, Абел, Фурије. Тек од седамдесетих година двадесетог века, долази до пуног развоја примене рачуна нецелог реда са тенденцијом непрекидног раста примене по обиму и броју публикованих научних радова, књига, конференција. Последњих деценија примена рачуна нецелобројног реда привлачи пажњу све веће научне јавности у различитим гранама: математици, физици, техници, итд. Фракциони рачун или рачун нецелог реда је област математичке анализе која се бави изучавањем и применом извода и интеграла произвољног реалног или комплексног реда. То је генерализација класичног интегро-диференцијалног рачуна, где оператори интегралнења и диференцирања имају целобројан степен. Примена и присуство рачуна нецелог реда у свим гранама науке и технике више је него евидентно јер омогућава да се уочени системи квалитетније, боље моделирају, односно развију и примене квалитетнији системи управљања, и у том смислу бројни научни радови и обимна публицистичка делатност у пуној мери су исказали интерес који је за њих био показан. Другим речима, рачун нецелог реда се последњих деценија све више примењује у моделирању и анализи својстава динамике механичких система, решавању све сложенијих задатака управљања, стабилности система који укључују и кашњења, опису конститутивних релација савремених материјала и структура са својствима вискоеластичности која укључују меморијске и ефекте наслеђивања и др.

Као пример једног неутралног система са кашњењем јесте примена вискоеластичног материјала који је искоришћен за смањење нежељних вибрација у датим системима. *Scot-Blair* модел претпоставља да је пригушење пропорционално нецелом реду извода променљиве померања и да може бити представљен у следећем облику:

$${}^c D^\alpha x(t) = A {}^c D^\alpha x(t - \tau) = Bx(t) + u(t), \quad \alpha = 1/2.$$

где је са ${}^c D^\alpha$ означен нецели извод реда α . Уочава се да се одговарајући модели могу описати односно уопштити и одговарајућим неутралним диференцијалним једначинама нецелог реда или неутралним Волтеровим интегрално-диференцијалним једначинама нецелог реда. На пример сложенији облик неаутономног система је дат са:

$${}^c D^\alpha x(t) = A_0 x(t) + A_1 x(t - \tau_1(t)) + A_2 {}^c D^\beta x(t - \tau_2(t)) + B_0 u(t) + B_1 u(t - \tau_u(t))$$

Овде је од суштинске важности испитивање *стабилности на коначном временском интервалу* одређене класе механичких линеарних/нелинеарних система нецелог/целог реда са чистим временским кашњењем присутним у стању и/или управљању система.

Наиме, у пракси је често од посебног интереса, не само испитивати стабилност система по Љапунову, већ је од далеко већег значаја утврдити да ли трајекторије система при његовом кретању у простору стања досежу или остају унутар раније прописаних граница. Систем може да буде стабилан у смислу Љапунова а потпуно неупотребљив са становишта његових показатеља кретања у простору стања. Ту се у првом реду мисли на недозвољени прескок или неприхватљиво дуго време смирења.

Због тога је сасвим оправдано кретање система посматрати унутар унапред прописаних граница које се могу усвојити у облику хипер-цилиндра у простору стања који могу бити схваћени као скупови дозвољених стања у којима се систем може наћи. Исти ти скупови могу бити стационарни или временски променљиви и потребно је да буду унапред дефинисани. Мимо тога, од посебног је интереса да се и динамичко понашање система посматра на коначном временском интервалу. Границе до којих достиже одзив система било у слободном било у принудном радном режиму представља веома значајан проблем са инжењерско-техничке тачке гледишта. Уважавајући ову чињеницу, појавио се велики број дефиниција стабилности на коначном временском интервалу која укључује и тзв. делимичну стабилност на коначном временском интервалу. Ове дефиниције се базирају на унапред одређеним границама дозвољених почетних стања система као и на дозвољеним границама у којима се очекује кретање разматраног система. У инжењерским применама ова чињеница

добива посебно на тежини, а некада постаје и суштинска када се, на пример, ради о проценама кретања система у простору стања и неопходности увођења адекватног управљања. Такође, понекад је од значаја да се испитивање стабилности система одреди у односу на неке величине стања система а не све, што је у литератури познато под називом делимична стабилност (*partial stability*).

Самим тим, изучавање концепта стабилности као и (делимичне) стабилности (*partial stability*) на коначном временском интервалу представља посебан изазов за сваког истраживача, код класичних система са кашњењем, код класичних неутралних система са кашњењем а у посебном случају и код неутралних система нецелог реда са кашњењем где се сви овакви проблеми изузетно усложњавају. Имајући у виду изнете чињенице, природно је овај концепт проширити и на ову класу система, где постоји читав низ отворених питања које треба истражити и дати коначне резултате.

Једна група резултата очекује се у примени Gronwallove неједнакости у циљу добијања нових довољних услова за робусну стабилност на коначном временском интервалу дате класе механичких система целог реда са кашњењем, као и компаративно сагледавање и предност нових евентуалних резултата у односу на садашње постојеће.

Посебна група резултата очекује се у примени тзв. проширене форме генерализоване Gronwallove неједнакости у циљу добијања нових довољних услова за робусну делимичну стабилност на коначном временском интервалу дате класе неутралних механичких система нецелог реда са кашњењем.

Мимо тога класичан поступак синтезе на коначном временском интервалу, није још у целости решен. Поступци стабилизације обично стабилизују систем и чине га асимптотски стабилним, чиме се прелази у сферу Лапуновске стабилности.

Извесна пажња биће посвећена проблематици решавања задатка да системи који у отвореном колу дејства не испуњавају дати критеријум на задатом коначном временском интервалу, постану то стабилизацијом, тако да будуће синтетизован систем у затвореном колу задовољи дате довољне услове стабилности на коначном временском интервалу.

2.2 Преглед и анализа релевантне литературе

Преглед литературе који је претходио дефинисању предмета истраживања предложене докторске дисертације се базира на публикованим радовима из ове области у међународним и домаћим часописима дат је у наставку:

1. С. Стојановић, М. Лазаревић, Д. Љ. Дебељковић, Д. Антић, *Стабилност и робусност посебних класа аутоматског управљања на коначном временском интервалу*, II део, 2019, Технолошки факултет у Лесковцу, Универзитет у Нишу
2. Francesco Amato Roberto Ambrosino Marco Ariola Carlo Cosentino Gianmaria De Tommas, *Finite-Time Stability and Control*, Springer-Verlag London 2014.
3. Д. Љ. Дебељковић, С. А. Милинковић, Стојановић, Б.С., *Стабилност система са чистим временским кашњењем на коначном и бесконачном временском интервалу*, Чигоја штампа, Београд, 2004.
4. М.Лазаревић Д. Дебељковић, Д. Крстић, *Оптимално управљање системима са кашњењем у процесној индустрији*, ТМФ-факултет, Београд, 2003.
5. М. Lazarević, *Finite Time Stability Analysis of PD^α Fractional Control of Robotic Time Delay Systems*, Journal of Mechanics Research Communications, Vol. 33, Iss.2, March-Apr., 2006, pp.269-279.
6. М. Lazarević, А. Spasić, *Finite-Time Stability Analysis of Fractional Order Time Delay Systems: Gronwall's Approach*, Mathematical and Computer Modelling, 2009, 49, (2009), 475-481.
7. Lazarević, М., Bućanović, Lj.: *Prilog modeliranju i dinamičkoj analizi sistema necelobrojnog reda sa osnovama racuna necelobrojnog reda*, Mašinski fakultet, Beograd, 2012.

8. M.Lazarević, Editor of, *Advanced Topics on Applications of Fractional Calculus on Control Problems, System Stability And Modeling*, WSEAS, ID 9028, ISBN: 978-960-474-348-3, pp. 202, 2014.
9. Vorotnikov, V., *Partial Stability and Control: The State-of-the-art and Development Prospects*, Automation and Remote Control, Vol. 66, No. 4, 511-561, 2005.
10. M.Lazarević, *Further Results on Finite Time Partial Stability of Fractional Order Time Delay Systems*, 6th Workshop on Fractional Differentiation and Its Applications Part of 2013 IFAC Joint Conference SSSC Grenoble, France, February 4-6, 2013, pp.155-160, IFAC - papers on line: DOI:10.3182/20130204-3-FR-4032.00223
11. Baleanu D., Kumar D., Singh H., *Methods of mathematical modelling fractional differential equations*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2020.
12. Tian, Y.; Yu, T.; He, G.T.; Zhong, L.F.; Stanley, H.E. *The resonance behavior in the fractional harmonic oscillator with time delay and fluctuating mass*. Phys. Stat. Mech. Appl. 545, 123731, 2020.
13. Xu Q., M. Shi, Z. Wang, *Stability and delay sensitivity of neutral fractional-delay systems*, Chaos 26, 084301, doi: 10.1063/1.4958713, 2016.
14. Ntouyas, Sotiris K., *Fractional Differential Equations, Inclusions and Inequalities with Applications*, Basel, Switzerland: MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020.
15. Denghao P., J. Wei, *Finite-time stability of neutral fractional time-delay systems via generalized Gronwall's inequality*, Abstr. Appl. Anal. 2014 1–4, p. 610547, 2014.
16. Liu K. Wei, Jiang Wei, *Finite time stability of fractional order neutral differential equations*, Journal of Mathematics, Vol. 34, Iss.1, p.43-50, 2014.
17. Du F., J-G Lu, *Finite-time stability of neutral fractional order time delay systems with Lipschitz nonlinearities*, Applied Mathematics and Computation 375, 125079, <https://doi.org/10.1016/j.amc.2020.125079>, 2020.

Литература [1-4] служи као полазна основа за теоријско описивање разматране класе динамичких система целог реда као и нецелог реда са кашњењем у стању и управљању као и кашњења који се може појавити и у првом изводу стања. Такође, биће искоришћена постојећа методологија испитивања (робусне) стабилности дате класе динамичких система целог и нецелог реда на коначном временском интервалу, као и реализације стабилизације истих.

Радови [5,6] који се баве испитивањем стабилности система нецелог реда са кашњењем као и литература [7,8] биће коришћена као основа за испитивање динамичког понашања на коначном временском интервалу одређене класе механичких линеарних/нелинеарних система нецелог/целог реда са чистим временским кашњењем присутним у стању и/или управљању система.

У радовима [9,10] су презентовани иницијални резултати који се односе на проблематику испитивања стабилности система у односу на неке величине стања система а не све, тј. (делимичне стабилности -*partial stability*) у смислу Љапунова и на коначном временском интервалу за динамичке системе целог реда и нецелог реда. Они ће послужити за даље испитивање делимичне стабилности (неутралних) система нецелог реда са кашњењем и дефинисање нових критеријума делимичне стабилности.

Полазна основа за математичко моделирање динамичких (механичких) система са кашњењем представља литература [11-13]. Даље, коришћењем литературе [14] и сличне релевантне претходно наведене, омогућиће примену нових неједнакости типа Gronwalla и модификованих. Даље, радови [15] и [16] се баве испитивањем стабилности на коначном временском интервалу неутралних аутономних система нецелог реда са временским кашњењем применом Gronwall-ове неједнакости док је у раду [17] анализирана стабилност на коначном временском интервалу за класу аутономних неутралних система нецелог реда са временски променљивим кашњењем и која садржи нелинеарности типа Липшица.

3. Полазне хипотезе

На основу прегледа литературе и сопственог искуства дефинишу се следеће полазне хипотезе у оквиру ове дисертације:

- Непосредни циљ истраживања односи се на формирање нових довољних услова за испитивање (делимичне) стабилности посебних класа механичких система са кашњењем на коначном временском интервалу и то критеријума који ће узети у обзир износ чисто временског кашњења и/или оних који то неће.
- Истраживање се ослања на извештај број постојећих резултата са јасном потребом њихових побољшања, проширивања и имплементацији на овде разматране класе система.
- Исти ти већ познати резултати представљају снажну полазну основу и инспирацију за тражење нових прилаза и резултата у класи обичних или неутралних система целог реда са кашњењем који ће по својој природи бити, или њихов логичан наставак, или потпуно нов прилаз. У том смислу важан задатак је прикупити и детаљно проучити постојећу литературу.
- Такође, на основу изучавања литературе и досадашњих истраживања у овој области постављена је хипотеза да се применом рачуна нецелог реда могу моделовати одређене класе механичких система без и са кашњењем са одговарајућим диференцијално-интегралним операторима нецелог реда, односно адекватном применом генерелизованих неједнакости могуће је добијање нових критеријума робусне (делимичне) стабилности.

4. Научне методе истраживања

Током реализације циљева истраживања користиће се следеће научне методе (теорије):

- Теорија рачуна нецелог реда
- Методе аналитичке механике
- Методе теоријског испитивања и анализе посебних класа система са кашњењем.
- Методе синтезе континуалног управљања на коначном временском интервалу
- Методе компаративне анализе
- Познавање математичког апарата оличеног у применама теорије диференцијалних једначина целог и нецелог реда, линеарне алгебре, коначно димензионих векторских простора, операторског рачуна, функционалне анализе и теорије скупова.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће кроз ову дисертацију успешном реализацијом циљева истраживања и применом поменутих научних метода и поступака, бити остварени следећи научни доприноси:

- Формирање нових критеријума за испитивање (делимичне) стабилности на коначном временском интервалу одређених класа временски континуалних (неутралних) механичких система целог реда са кашњењем,
- Формирање нових критеријума за испитивање (делимичне) стабилности на коначном временском интервалу одређених класа временски континуалних (неутралних)

механичких система нецелог реда са кашњењем у стању система и/или управљању,

- Са становишта стабилности на коначном временском интервалу, очекује се извештајан број резултата, који ће за посебне класе временски континуалних механичких система са кашњењем оформити одговарајуће аналитичке услове за тестирање како стабилности тако и робусности ових класа система.
- Методологија поступака синтезе управљања на коначном временском интервалу за раније разматране класе система.

Будући резултати унапређују истраживања у области система целог реда са кашњењем односно добиће се потпуно нови резултати у области система нецелог реда са кашњењем јер је евидентно да постоји изузетно мали број радова који се односи на ову проблематику.

Конкретна примена може се спровести на било каквом реалном постројењу, објекту или процесу уколико се располаже веродостојним математичким моделом истог и то у поступцима симулације, који се ослањају на програмске пакете (МАТЛАБ, СИМУЛИНК, итд). Током израде дисертације остварени научни допринос биће верификован и публиковањем у релеватним домаћим и међународним публикацијама.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације састоји се од следећих фаза:

Преглед одговарајуће литературе која подразумева истраживање стања науке у овој области кроз проучавање целокупне области развоја проблема стабилности на коначном временском интервалу са посебним акцентом на системе који су моделовани теоријом нецелог рачуна.

Паралелно са проучавањем ове области, активности на реализацији ове дисертације су усмерене на проучавање постојећих резултата и генерисање нових који се могу формирати различитим прилазима, што све заједно дозвољава да се једном озбиљном компаративном анализом изврши њихово поређење са становишта конзервативизма, имајући у виду да се добијају само довољни услови овог концепта стабилности.

Структура рада:

Увод – Основан поставка проблема, особине и специфичности разматраних класа система са позиција могуће динамичке анализе.

Систематски, хронолошки преглед досадашњих резултата истраживања

Теоријске основе у оквиру које би се детаљно проучиле посебне класе временски континуалних механичких система целог реда са кашњењем, па све до неутралних система нецелог реда са кашњењем. (Делимична) стабилност на коначном временском интервалу, феномен, дефиниције, услови стабилности за разматране класе система. Анализа првенствено намењена системима у отвореном колу дејства, сходно усвојеном концепту и њихова синтеза у смислу стабилизације увођењем одговарајућег управљања.

Формулација нових довољних услова стабилности – још увек недовољан број ефикасних критеријума за испитивање поменутих класа система на коначном временском интервалу. Формирање нових довољних услова за испитивање стабилности на коначном временском интервалу, мање рестриктивних од постојећих и компаративна анализа са нумеричког становишта.

Синтеза континуалног управљања за разматране класе система, на коначном временском интервалу а сходно раније изведеним критеријумима.

Закључак истраживања – Закључци истраживања непосредно проистичу из претходне тачке, односно остварених резултата и припадајуће дискусије а истовремено одређују правце могућих будућих истраживања у светлу или даљег још дубљег истраживања или могућих проширења овде добијених резултата на нове класе система.

Литература

7. Закључак и предлог

На основу детаљне анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата **Дарка М. Радојевића**, маг.инж.орг.наука, студента Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је кандидат успешно положио све испите предвиђене планом усавршавања и објавио научне радове чиме је стекао услов за одобравање теме за израду докторске дисертације. Такође, комисија закључује да је предложена тема актуелна и подобна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату

Дарку М. Радојевићу, маг.инж.орг.наука

одобри израду докторске дисертације под називом:

„Стабилност посебних класа механичких система нецелог и целог реда са кашњењем на коначном временском интервалу“

која припада научној области: Машинство, ужа научна област-Механика, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора током израде предметне дисертације предлаже се **проф. др Михаило П. Лазаревић**, редовни професор на Катедри за Механику Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 03.12.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Михаило Лазаревић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Петар Мандић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Сретен Б. Стојановић, редовни професор
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет
у Лесковцу

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др Михаило П. Лазаревић

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **M.Lazarević**, *Finite Time Stability Analysis of PD^α Fractional Control of Robotic Time Delay Systems*, Journal of Mechanics Research Communications, Vol. 33, Iss.2, 2006, pp.269-279, <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2005.08.010> **IF= 0.788 (M22)**
2. **M.Lazarević**, A.Spasić, *Finite-Time Stability Analysis of Fractional Order Time Delay Systems: Gronwall's Approach*, Mathematical and Computer Modelling, 2009, 49,(2009), pp.475-481. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.09.011> **IF= 1.103 (M22)**
3. M.Živanović, **M.Lazarević**, *Using the Decomposition Principle to Stabilize the Nominal Motion of a Mechanical System with Given Accuracy*, Automation and Remote Control, 2012, Vol.73, No12, 2012, pp.2001-2020, <https://link.springer.com/article/10.1134/S0005117912120065>, doi:10.1134/S0005117912120065 **IF= 0.192 (M23)**
4. M. Cajić, D. Karličić, **M. Lazarević**, *Damped vibration of a nonlocal nanobeam resting on viscoelastic foundation: fractional derivative model with two retardation times and fractional parameters*, Meccanica, DOI 10.1007/s11012-016-0417-z, accepted 2016, vol.52, Issue 1-2, pp. 363-382, 2017. **IF= 2.196 (M21)**
5. M. Cajić, **M. Lazarević**, D. Karličić, H.G. Sun, X.Liu, *Fractional order model for vibration of a nanobeam influenced by the axial magnetic field and attached nanoparticles*, Acta Mechanica, Acta Mechanica 229 (12), 4791-4815, 2018. **IF= 2.166 (M22)**
6. **Lazarević, M. P.**, Tzekis P., *Robust second-order PDA type iterative learning control for a class of uncertain fractional order singular systems*, Journal of Vibration and Control 2016, Vol. 22(8) 2004–2018, DOI: 10.1177/1077546314562241 **IF= 2.101 (M21)**
7. P. D. Mandić, M.. Bošković, T. B. Šekara, and **M. P. Lazarević**, *A new optimisation method of PIDC controller under constraints on robustness and sensitivity to measurement noise using amplitude optimum principle*, International journal of control, p.1-15, 2021 <https://doi.org/10.1080/00207179.2021.1912392>, **IF= 2.888 (M22)**

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
