

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1016/5

(Број захтева)

20.08.2012.године

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

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

МАРКА (СЛОБОДАН) АЛЕКСЕНДРИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **МАРКО (СЛОБОДАН) АЛЕКСЕНДРИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ

Универзитет је дана 01.10.2010. год. својим актом под бр. 11/612-3584-2/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **МАРКА (СЛОБОДАН) АЛЕКСЕНДРИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 07.06.2012. године, одлуком факултета под бр. 1016/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Драгутин Дебељковић</u>	Редовни професор	Аутоматско управљање	Машински факултет Београд
2. <u>Др Михаило Лазаревић</u>	Редовни професор	Механика	Машински факултет Београд
3. <u>Др Сретен Стојановић</u>	Ванредни професор	Електротехника и аутоматско Управљање	Технолошки факултет у Лесковцу

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.07.2012. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

- Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1016/4
Датум: 12.07.2012. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Драгутин Дебељковић, ментор, проф.др Михаило Лазаревић, проф.др Сретен Стојановић, Технолошки факултет у Лесковцу, Универзитета у Нишу о оцени докторске дисертације „Динамичка анализа посебних класа линеарних сингуларних система са кашњењем на коначном и бесконачном временском интервалу“ докторанта мр Марка Александрића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.07.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ“** докторанта **МР МАРКА АЛЕКСЕНДРИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај о завршеној докторској дисертацији **Мр Марка С. Александрића**, дипл.машинског инжењера.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број **1016/2** од 07.06.2012. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **Мр Марка С. Александрића**, дипл. машинског инжењера под насловом „**ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ**“, о којој подносимо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1 Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација **мр Марка С. Александрића**, дипл. инж. маш., под насловом „**ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ**“, изложена је на **312 страна, у оквиру 9 поглавља.**

1.2 Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат **мр Марко С. Александрић**, дипл. инж. маш., пријавио је израду докторске дисертације 24.06.2010. год. под бројем **1029/1** Машинском факултету Универзитета у Београду.

На основу захтева Катедре за аутоматско управљање бр. **1029/2**, од 05.07.2010. год., Научно-наставно веће Машинског факултета у Београду, донело је Одлуку бр. **1029/3** од 08.07. 2010. год., о именовању Комисије за оцену испуњености услова кандидата и заснованости теме докторске дисертације под називом „**ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ**“

кандидата **Марк С. Александрића**, дипл. инж. маш., у саставу: проф. др Драгутин Љ. Дебељковић, проф. др Михаило П. Лазаревић и тада доцента Др Сретен Б. Стојановић. изразу.

На основу претходно поменуте Одлуке Комисија у саставу: проф. др Драгутин Љ. Дебељковић, проф. др Михаило П. Лазаревић и доцент Др Сретен Б. Стојановић, поднела је Научно-наставном већу Машинског факултета у Београду одговарајући извештај бр. **808/6** од 23.08.2010. године.

Одлуком Научно-наставног већа бр. **808/7** од 02.09.2010. год. прихваћена је тема докторске дисертације под називом: „ **ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ** “, докторанта мр **Марка С. Александрића**, дипл. инж. маш. а за ментора дисертације одређен је проф. Др Драгутин Љ. Дебељковић.

Одлуком . **808/7** од 16.09.2010 прихваћен је предлог о испуњености услова и научној заснованости теме докторске дисертације „ **ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ** “, докторанта мр **Марка С. Александрића**

На основу ове одлуке, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 01.10.2010., године донело је Одлуку бр. 11/612 – 3584-2/10 од 01. 10. 2010. године дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације

Одлуком Декана Машинског факултета бр. **1704/1** од 14.10. 2010. године декан Машинског факултета одобрио је рад на теми докторске дисертације „**ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ** “, докторанта мр **Марка С. Александрића** а за ментора дисертације именован је проф. др Драгутин Љ. Дебељковић .

На основу извештаја проф. др Драгутина Љ. Дебељковић, ментора, да је докторант мр **Марко С. Александрић**, . дипл. инж. маш. завршио докторску дисертацију под називом: „ **ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ** “, као и предлога Катедре за аутоматско управљање, бр. **1016/1** од 30.05.2012. год., Наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку **број 1016/2** од 07.06.2012. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: проф. др Драгутин Љ. Дебељковић, проф. др Михаило П. Лазаревић и ванредни проф. др Сретен Б. Стојановић.

1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области

Научна област докторске дисертације је машинство, а ужа научна област је аутоматско управљање.

1.4 Биографски подаци о кандидату

Мр Марко (Слободан) Александрић рођен је у 13.05.1975 у Београду.

Основну школу “Владислав Рибникар” завршио је у Београду, као и прву годину у XIV београдској гимназији.

Средњешколско учење је наставио на Лицео Сциентифицо Ла Фарнесина у Риму, Италија наредне три године.

У периоди оф 1994. – 2002 студирао је на Машинском факултету у Београду, на одсеку за аутоматско управљање где је дипломирао крајем 2002. год., остваривши просечну оцену студирања од 7,83 (седам и 83/100) а са оценом 10 (десет) на дипломском раду и темом: “**Динамика посебних класа континуалних и дискретних система са кашњењем на коначном и бесконачном временском интервалу**“, код ментора Др Д Љ. Дебељковићу, проф.

2002. године уписује магистарске студије, на Машинском факултету у Београду, такође, на одсеку за аутоматско управљање и средином 2010. год. успешно брани свој магистарски рад под називом: **“Динамичка анализа и синтеза система аутоматског управљања са становишта критеријума H_{∞} оптималности**“

Од 2002 до 2005 године ради као истраживач у Институту “Винча”, Лабораторија за Термотехнику и Енергетику, а од краја 2005 прелази у Италијански Институт за Спољну Трговину – ИЦЕ.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Марко (Слободан) Александрић, дипл. инж. маш, под насловом **„ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА СИСТЕМА СА ЧИСТИМ ВРЕМЕНСКИМ КАШЊЕЊЕМ“** изложена је на 315 страна.

Дисертација садржи следећих девет поглавља:

- I. Општа разматрања
- II. Особине и специфичности класа разматраних система
- III. Нека општа питања теорије стабилности система
- IV. Кратка хронолошка рекапитулација доприноса на пољу систематског проучавања стабилности разматраних класа система
- V. Кратка хронолошка и селективна рекапитулација доприноса на пољу систематског проучавања стабилности разматраних класа система: класичан прилаз
- VI. Детаљни хронолошки и селективни приказ постојећих и нових резултата на пољу систематског проучавања нељапуновске стабилности разматраних класа система: ЛМИ и дескриптивни прилаз
- VII. Закључак
- VIII. Додаци
- IX. Литература

Предмет научне расправе у предложеном докторском раду су две посебне класе система: линеарни сингуларни системи и линеарни сингуларни системи са чистим временским кашњењем присутним у стању система, као и њихово динамичко понашање како на коначном тако и на бесконачном временском интервалу.

Наиме, већ од седамдесетих година двадесетог века, системи са чистим временским кашњењем привлаче велику пажњу научне и стручне јавности.

Њихова појава у роботизи, дугачким хидрауличним и пнеуматским и електричним водовима, динамици летелица и великим системима подстакла је бројне научнике да се њима интензивно баве.

Континуални сингуларни системи, у математичком смислу, представљају динамичке системе описане комбинацијом алгебарских и диференцијалних (диференцијалних) једначина, што не дозвољава њихово представљање у класичном облику векторске диференцијалне једначине стања, а самим тим и онемогућава решавање тог система једначина уобичајеним методама које се користе за решавање *“нормалних” системема*.

У том смислу, алгебарске једначине представљају ограничење наметнуто решењу, односно решавању дела система који садржи диференцијалне једначине.

У односу на тзв. *“нормалне”* системе, који по броју далеко превазилазе овде разматрану класу система, бројни резултати и практичне примене показали су да овако формиран модели имају евидентне предности.

Сама чињеница да су сингуларни системи исказани комбинацијом алгебро-диференцијалних једначина, повлачи за собом низ специфичности и особености које их јасно издвајају и разликују у односу на тзв. “нормалне” системе.

У том смислу, разматрања егзистенције, јединствености и структура тих решења представљају фундаментална питања, на која треба глобално одговорити, а у светлу постављених циљева истраживања.

Мимо тога, постојање импулсних чланова и временских извода улазних величина у кретању сингуларних система, као и могућа несвојственост преносне матрице и некаузалност између улазних величина и величина стања и излаза, чине их још више специфичним, а самим тим и привлачнијим са научног становишта.

На крају ваља истаћи да, ма колико су сва та настојања ишла у правцу истраживања њихових специфичности, ипак треба признати да се садашњи општи тренд њиховог разматрања утапа у покушаје извођења резултата који проистичу из опште модерне теорије система.

Ово постаје далеко јасније ако се схвати чињеница да се основна решења тих проблема на налазе у целом простору стања, већ да их треба тражити у неком његовом потпростору.

Сингуларни системи се природно појављују у многим инжењерским дисциплинама и проблемима, као што су електрична, електронска и магнетна кола, у динамици летелица и робота и великим енергетским системима и системима са повратном спрегом, у проблемима управљања и оптимизације, а такође и у биологији, економији, демографији и као граничан случај сингуларно пертурбованих система.

Већ више од пола века системи са кашњењем привлаче пажњу научне и стручне јавности широм света. Њихово присуство у свим гранама науке и технике више је него евидентно и у том смислу бројни научни радови и обимна публицистичка делатност у пуној мери су исказали интерес који је за њих био показан.

У математичком смислу, ова класа система описана је обичним диференцијалним (диференцијалним) једначинама са помереним аргументом, што условљава читав низ додатних потешкоћа при њиховом решавању.

С друге стране, у првом случају, као системи бесконачне димензије, њихово проучавање у комплексном домену условљено је суочавањем са трансцендентним преносним функцијама, што у извесним случајевима захтева радикалну преформулацију постојећих критеријума и метода развијених за обичне линеарне системе, а понекада и формирање сасвим нових прилаза и поступака за разрешавање постављених задатака како класичне, тако и модерне теорије аутоматског управљања.

У том смислу, ваља посебно истаћи чињеницу да за ову класу система егзистира један специфичан проблем који се огледа у могућности испитивања стабилности ове класе система кроз две врсте могућих критеријума.

Наиме, добро је познато да се за системе са кашњењем могу оформити услови који не узимају у обзир утицај чисто временског кашњења на стабилност система и они, у инжењерском смислу, сасвим задовољавају и даје реалтивно једноставне критеријуме, најчешће у виду једноставних алгебарских израза утемељених на коришћењу матрица које, у целисти, описује динамику система. Износ чисто временског кашњења не појављује се у тим изразима.

У другом случају, формирају се критеријуми који узимају у обзир износ чисто временског кашњења и као такви они дају далеко бољи увид у утицај овог феномена, поред структуре система изражене кроз системске матрице, на стабилност система. Међутим, њихово добијање далеко је сложеније, као и изрази који их формулишу.

Ваља посебно истаћи и чињеницу да у оба поменута случаја, већина објављених резултата дају само довољне услове стабилности, што свакако представља њихову мањкавост, више са теоријске стране а мање са практичне. Сама та чињеница омогућила је велики број резултата који су ишли у потрагу за што мање конзервативнијим резултатима, почев још од далеке 1981. године.

Ваља истаћи да постоји велики број система аутоматског управљања у којима је изражен истовремени феномен чисто временског кашњења и евидентна сингуларност тако да ова класа система позната под именом *Сингуларни системи са кашњењем* заслужује посебну пажњу имајући у виду да недвосмислено обједињује раније указане специфичности појединачних класа, овде, [описаних система](#).

Ови системи имају многе специфичне карактеристике.

Ако желимо да их ригурино опишемо, да их пројектујемо са завидним степеном тачности или да квалитетно управљамо њима, морамо тада поклонити веома велику пажњу дубокој спознаји њихових суштинских особина и посебности које их у, великој мери, разликују од других класа система.

У математичком смислу ова класа система аутоматског управљања представљена је системом диференцијалних једначина са помереним аргументом, којима је придружен систем одговарајућих алгебарских једначина које у општем случају могу бити, такође, са помереним аргументом или без њега.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Кандидат у **уводном делу** веома детаљно анализира и представља предметне класе будуће разматраних система, са посебним освртом на класе временски непрекидних а нешто мање на класе временски дискретних система, што је и природно имајући у виду тематику његове докторске дисертације.

Издају се специфичности сингуларних и дескриптивних система и у том смислу посебно се апострофира значај питања егзистенције и јединствености решења, проблем импулсних понашања и конзистентних почетних услова, као и питање физичке остварљивости (каузалности) система.

Феномен чисто временског кашњења облежава велики број класа система аутоматског управљања. Добро је познато да његово присуство има неповољан утицај на динамичке карактеристике система, а посебно на стабилност система са повратном спрегом. У неким једноставнијим случајевима присуство кашњења, проузрокује само временски помак излазног сигнала а у случајевима када је кашњење присутно и у стању система и до његовог временског помераја а и изобличавања.

Нужно присуство функције почетних услова, још више усложњава ионако сложени проблем изналажења решења.

Класа сингуларних система са кашњењем, обједињује све специфичности претходно поменутих класа система и јасно из свих поменутих разлога најсложенија је за динамичку анализу. У том смислу питања скупа конзистентних почетних функција, представља најзначајније питање које се мора решавати а све са циљем да се добију решења у затвореном облику са неимпулсним обележјима.

Настављајући даље, кандидат се осврће на значај испитивања стабилности ове класе система и указује на постојење две групе критеријума, разматра њихове предности и недостатке, све то елегантно повезујући са савременим могућим концептима стабилности. У том смислу помиње стандардни љапуновски прилаз, као и прилаз који је далеко ближи инжењерској пракси познат у литератури под називом концепт техничке или нељапуновске стабилности са своја два посебно значајна концепта: концепт стабилности на коначном временском интервалу и концепт практичне стабилности.

Апострофирајући значај нељапуновске стабилности кандидат констатује да је у пракси 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 прелазног процеса. 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 хиперцилиндара у простору стања који могу бити схваћени као скупови дозвољених стања у којима се систем може задесити. 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 практичне стабилности и стабилности на коначном временском интервалу. Грубо говорећи, 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 **II поглављу** кандидат разматра основне особине свих класа овде проучаваних система и систематски их надограђује, уакзивајући на њихов значај како у анализи тако и у синтези система, апострофирајући значај проблема постојања и јединствености њихових решења, простора конзистентних почетних услова и скупа почетних функција, имајући у виду вишеструки значај утицаја свих ових фактора на крајње решење и кретање система у простору стања.

У **поглављу III** кандидат детаљно и исцрпно износи, у хронолошки преглед основних концепата стабилности, посебно истићући у први план стабилност система у смислу Љапунова, као основног концепта који се примењује у динамичкој анализи система. Не мање простора кандидат посвећује и различитим концептима тзв. техничке или нелјапуновске стабилности. У том смислу посебно се апострофира концепт стабилности на коначном временском интервалу и концепт парктичне стабилности. Указује се на њихов значај са инжењерске тачке гледишта и примљивости у свакодневној потреби управљања технолошким и другим процесима.

У **IV поглављу** дата је значајна рекапитулација неких основних резултата на пољу проучавања нељапуновске и љапуновске стабилности свих класа овде разматраних система. Овако изложена материја даје јасан увид у хронолошки настанак и развој фундаменталних резултата на овом пољу изучавања динамике система аутоматског управљања и пружа снажан ослонац за препознавање могућих, даљих праваца истраживања и неких отворених, постојећих проблема.

Кратка хронолошка и селективна рекапитулација доприноса на пољу систематског проучавања стабилности разматраних класа система у духу класичаног прилаза била је предмет интересовања кандидата у **V поглављу** дисертације.

Као и у претходном поглављу, извршен је избор довољно репрезентативних радова из референтне литературе, дат њихов скараћени приказ и апострофиран допринос сваког анализираног рада са позиција будућих потреба дисертације и могућности њихове надградње. Овде изнети резултати дати су у форми скраћених приказа, утемељени на изворним дефиницијама и формулисаним теоремама, које су, јасно, само наведене без извођења доказа.

У овим разматрањима изложени су радови који покривају оба разматрана концепта стабилности а сви презентовани доприноси изведени су класичним, постојећим техникама, на које је кандидат имао запажене коментаре и закључке.

Ваља истаћи и неоспрну чињеницу, да се кандидат определио за један ужи избор ових радова из широке могуће плејаде, стављајући у први план само резултате ментора и коментара овог рада, што је било и природно с обзиром на очекиване резултате предметне дисертације.

У **VI поглављу** кандидат даје детаљни хронолошки и селективни приказ постојећих и нових резултата на пољу систематског проучавања нељапуновске стабилности разматраних класа система: ЛМИ и дескриптивни прилаз.

У том смислу кандидат се бави мало и генезом настанка ова два нова, модерна приступа, објашњавајући при томе механизме који они користе у решавању постављених проблема. Тако за поступке ЛМИ износи неопорну чињеницу да су исти супериорни у односу на све постојеће технике, када је у питању нумерички аспект али и да исти имају одређене маљкавости када је у питању сагледавање утицајних фактора на добро или лоше понашање система у целини. Мимо тога констатује, анализирајући бројне радове, да се одређени нумерички проблеми јављају у оним случајевима да су присутне слабе неједнакости, тако да се до коначних решења практично не може ни доћи. Имајући у виду да се и овде добијају само довољни услови, рецимо стабилности на коначном временском интервалу, ваља истаћи да бројне мајоризације или миноризације даљу доста конзервативна решења која могу да буду и слабија од оних које нуде класични прилази.

Дескриптивни прилаз, као један од најмодернијих прилаза у савременој теорији управљања, практично већину проблема са обичних диференцијалних једначина или диференцијалних једначина са помереним аргументом, једном оригиналном сменом, преводи на интегро-диференцијалне једначине, које сада без кашњења праужају евидентну прилику за далеко једноставнији третман.

У овом истом поглављу, кандидат се определио, да саопшти своје нове доприносе а све из једноставног разлога, могућег њиховог поређења са постојећим.

Ту су изведена три нова оригинална резултата о којима ће бити далеко више речи у одељку о суштинским доприносима ове дисертације.

Да би се показала ефикасност презентованих прилаза и изведених резултата дати су нумерички примери који показују да су добијени резултати мање конзервативни у односу на резултате у постојећој литератури.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Савремени системи аутоматског управљања не могу се замислити а да их не прати феномен кашњења.

Наиме, већ од седамдесетих 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 нестабилност.

Последње поменути случај веома је чест када су у питању системи аутоматског управљања са повратном спрегом.

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 разматраних система.

Постојећи концепти стабилности, где се у првом реду мисли на љапуновску а у другом на техничку стабилност, унапређују се из дана у дан.

Бројни резултати, имају увек неке полазне претпоставке и често се изводе под оређеним условима и за посебне класе система.

У том смислу није поштеђена ни класа система са кашњењем, а прва проширења концепта стабилности на коначном временском интервалу и практичне стабилности потичу из рада *Debeljković, Nenadić* (1992) када су у питању временски континуални а из рада *Debeljković, Aleksendrić* (2003) када су у питању временски дискретни системи са чистим временским кашњењем.

Открићем сингуларних система, знатно се проширила могућа класа линеарних система аутоматског управљања са свим специфичностима о којима је било већ речи.

Природним повезивањем претходно поменутих класа система долази се до предметне класе система

Од тих времена група аутора окупљена око ментора ове докторске дисертације непрестано ради на унапређивању ових резултата што је у овој дисертацији и довело и до потпуно нових како резултата тако и прилаза овој проблематици.

Сваки нови резултат, свако ново проширење или слабњење одговорајућих услова представља значајан напредак у применама разматраних концепата стабилности на предметне класе система.

Конкретно, у овој дисертацији потпуно нова два прилаза су развијена и то: први који користи квазиљапуновљеве функције за добијање услова практичне и стабилности на коначном интервалу посебне класе сингуларних система са чистим временским кашњењем, присутним у стању система, а који полази од претпоставке да те агрегационе функције не морају да буду по знаку одређене као и да њихови изводи дуж трајекторија система не морају да буду негативно одређене функције.

Потпомогнуте дескриптивним прилазом добијени су нови критеријуми за оцену нељапуновске стабилности. У комбинацији са љапуновским прилазом могуће је одредити и услове под којима су разматрани системи атрактивно (привлачно) практично стабилни.

Други значајан и евидентан допринос, лежи у изналажењу довољних услова стабилности на коначном временском интервалу исте класе система а помоћу савремених ЛМИ поступака. Овај, потпуно нов резултат даје евидентне предности над постојећим класичним и далеко је мање рестриктиван у односу на њих.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Овде се кандидат показао као врсни познавалац референтне литературе из ове области. Наиме, на неколико места у дисертацији кандидат, сходно потребама, излаже хронолошки преглед релевантне литературе, која му је у многоме била инспирација и претходница у генерисању нових резултата. Посебно је обрађена и приказана литература коауторских радова ментора, а касније и заједничких радова.

Референце су навођене на крају сваке главе, као и поглавља а на крају дисертацији и њен сумарни преглед који износи више од 190 цитата. Већина цитираних радова млађи су од 10 година а потичу из часописа са импакт фактором.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Кандидат користи аналитичке методе истраживања које су добро познати научној и стручној јавности а огледају се у првенствено и примени Друге методе Љапунова или примене квази-Љапуновљевих функција као агрегационих функција, посебно бираних, за предметне класе система.

Афирмација изабраних методолошких поступака, који генеришу довољне услове стабилности, разматарних класа система у потпуности је постигнута новим, квалитетним и мање рестриктивним резултатима у односу на оне које тренутно постоје у пракси.

Као круна свега, коришћени су и ЛМИ поступци, актуелне методе без којих је данас незамисливо анализирати или синтетизовати управљања за савремене системе аутоматског управљања.

Све то је илустровано бројним нумеричким примерима, где је здушно примењен програмски пакет MATLAB, као и програмски пакет SIMULINK.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Добијени резултати имају практичну примену у савременој теорији и пракси аутоматског управљања и могу се применити на све предметне класе изучаваних система под претоставком да су познати њихови веродостојни математички модели. Сама верификација резултата показана је кроз бројне школске примере, што не умањује њихов значај када су у питању реални системе са њиховим конкретно израчунатим константама или временским константама.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

За време израде дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад. То је документовано познавањем широког спектра савремених референци и коначно самосталним решавањем бројних проблема који су својевремено били предочени у планираним и очекиваним резултатима ове докторске дисертације а који су резултирали у бројне објављене радове, како на реномираним конференцијама тако и у угледним домаћим и међународним часописима.

Кандидат је учествовао је у бројним коаторским радовима и показао висок степен стручности и смисла за самоиницијативни рад. Самим тим показао се као веома погодна личност за тимски рад.

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ оствареног научног допринос

Остварени научни допринос кандидата може се систематизовати у следећих неколико тачака:

1. Детаљно је сакупљена, проучена и систематизована релеванта литература, везана за све аспекте ове дисертације а и шире.

2. Дат је систематичан, целовит и детаљан приказ основних особина три класе система аутоматског управљања и указан на њихов значај за динамичку анализу система.

3. Форулисане су и доказане, потпуно нове *Теореме* које за различите класе временски континуалних са чистим временским кашњењем дају довољне услове стабилности ових класа система како *на ограниченом временском интервалу* тако и када је у питању *практична атрактивна стабилност*. Мимо тога, одређени број нових резултата излаже критеријуме који не узимају у обзир износ тог константног чисто временског кашњења а изванредан број који ту чињенцу не пребегава.

Тиме је постигнуто да се иста класа система може разматрати са адекватног становишта усвојеног концепта стабилности само преко системских матрица, у првом случају, а и преко њих са допунском информацијом о износу кашњења у другом случају, што може квалитативно па и квантитативно да употпуни сазнања о стабилности разматраног система.

Та прва група новоизведених резултата примељива је у условима позитивно одређености једне квазисистемске матрице. Међутим, таква претпоставка не умањује значај резултата, посебно када су у питању временски дискретни системи са кашњењем, јер такви, до тада нису ни постојали, или су били исказани преко фундаменталне матрице, што одговара практично потреби за решавањем система диференцијалних једначина са помереним аргументом, што се јасно настоји избећи.

4. Примена ЛМИ методе за неке од класа овде разматраних *временски сингуларних континуалних система са кашњењем*, на један специфичан начин, представља такође, једна значајан и потпуно нов резултат у теорији. У форми довољних услова, овај критеријум укључује износ чисто временског кашњења, што му даје посебан квалитет.

5. Исти прилаз, а као потпуно нови резултат, даје довољне услове стабилности посебне класе линеарних *временски дискретних дескриптивних система са чистим временским кашњењем*.

У посебно случају, када нема кашњења или је изостаје сингуларност, поменути резултати, у оба случаја, своде се на добро познате од раније изведене резултате за обичне системе аутоматског управљања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Изнети доприноса аутора подељени су већ и раније у две групе, класичан прилаз и прилаз преко ЛМИ.

Оно што је непосредно уочљиво кандидат је резултате остварио у једном хармонијском хронолошком редоследу, одбацујући неке од услова императивно наметнуте у класи прворешаваних проблема.

Последњи резултати, представљају крајње опште резултате у овој техници прилаза њиховом [решавању](#).

Како су у питању довољни услови, може се претпоставити да ће знатижеља других аутора ићи и даље, што је и природно.

Да ли ће се доћи до мање рестриктивних резулата или не, треба сачекати.

Ваља истаћи и неоспорну чињеницу да су овде изнети резултати само даље проширење постојећих резултат на нове класе система са чистим временским кашњењем, а да када су у питању системи са временски промеливим кашњењем, они су и методолошки и идејно потпуно нови.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Ова истраживања представљају добру основу за даљи рад и њихова примена је евидентна на све класе система заступљене у овој дисертацији.

Сем у једном случају, када треба решавати нелинеаран систем матричних једначина, све понуђене методе су веома питке и лаке за непосредну нумеричку реализацију.

Томе, свакако, знатно доприносе програмски пакети типа MATLAB и SIMULINK, а посебно процедура ЈМИ.

4.4. Верификовани научни доприноси

Резултате истраживања из своје докторске дисертације кандидат мр **Марко С. Александрић**, дипл. инж. маш., је презентовао радовима саопштеним на 3 (три) међународне конференције, једном монографијом националног значаја и једним радом са СЦИ листе, категорије (M_{23}).

Радови објављени у међународним часописима са SCI : (M_{23}) = 3

[1] Debeljković, D. Lj., S. B. Stojanović, M. S. Aleksendrić, "Stability of Singular Time Delay Systems in the Sense of Non-Lyapunov: Classical and Modern Approach", Хемијска Индустрија, ISSN 0367 – 598X (IF = 0, 137), (2012), DOI Number 10.2298/HEMIND120403061D<<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0367-598X1200061D>> <http://www.doiserbia.nb.rs/issue.aspx?issueid=1336>

Радови саопштени и објављени у зборницима радова конференција међународног значаја штампано у целини (M_{33}) = 1

[1] Debeljkovic, D. Lj., M. Aleksendric, "Lyapunov and Non-Lyapunov Stability of Linear Discrete Time Delay Systems", *Proc. ACC*, 4 – 7 June, Denver (Colorado) – USA, 2003, CD – Rom, pp. 4450 - 4451.

[2] Debeljkovic, D. Lj., M. Aleksendric, Y. Y. Nie Q. L. Zhang, " Lyapunov and Non – Lyapunov Stability of Linear Discrete Time Delay Systems ", *Proc. The Fourth Inter. Conference on Control and Automation*, 9 – 12 June, Montreal (Canada), 2003, CD – Rom, pp. 296 - 300.

[3] Debeljkovic, D. Lj., I. M. Buzurovic T. Nestorovic, S. B. Stojanovic, N. J. Dimitrijevic, M. S. Aleksendric, " Time Delayed System Stability in the sense of Non- Lyapunov: Delay Independent and Delay Dependant Approach: New Results ", *Proc. 2011 IEEE Multi-Conference on Systems and Control (MSC)* Denver (Colorado), Sep. 28 – 30, (2011), CD – Rom, pp. 1410 – 1417.

Монографија националног значаја: (M_{42}) = 5

[1] Debeljkovic, D. Lj., M. S. Aleksendric, N. J. Dimitrijevic, *Contemporary Theory of Multi Input - Multi Output Linear Control Systems*, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2011 (*in Serbian*), pp. 476, ISBN 978 – 86 – 7083 – 706 – 5.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да ова докторска дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области теоријске и практичне имплементације резултата, па сагласно томе предлаже Научно-наставном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату мр **Марку С. Александрић**, дипл. инж. маш. одобри одбрану докторске дисертације под називом „**ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ**“, када се за то стекну законски услови, пред комисијом у истом саставу.

Чланови Комисије:

Проф. др Драгутин Љ. Дебељковић,
редовни професор Машинског
факултета Универзитета у Београду

Проф. др Михаило П. Лазаревић,
редовни професор Машинског
факултета Универзитета у Београду

В. проф. др Сретен Б. Стојановић,
ванредни професор Технолошког
факултета у Лесковцу, Универзитета
у Нишу

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1016/6
Датум:12.07.2012.
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању и члана 12.2 Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 12.07.2012. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео мр МАРКО АЛЕКСЕНДРИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСЕБНИХ КЛАСА ЛИНЕАРНИХ СИНГУЛАРНИХ СИСТЕМА СА КАШЊЕЊЕМ НА КОНАЧНОМ И БЕСКОНАЧНОМ ВРЕМЕНСКОМ ИНТЕРВАЛУ“

II Универзитет је дана 01.10.2010. године, својим актом број 11/612-3584-2/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

[1] Debeljković, D. Lj., S. B. Stojanović, M. S. Aleksendrić, “**Stability of Singular Time Delay Systems in the Sense of Non-Lyapunov: Classical and Modern Approach**”, Хемијска Индустрија, ISSN 0367 – 598X (IF = 0, 137), (2012), DOI Number 10.2298/HEMIND120403061D<<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0367-598X1200061D>> <http://www.doiserbia.nb.rs/issue.aspx?issueid=1336>

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за аутоматско управљање и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић