

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Декан Факултета техничких наука, на основу одлуке Научно-наставног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, донео је Решење о именовану комисије за оцену и одбрану докторске дисертације број 012-199/4-2023 од 01. 06. 2023.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Др Зоран Јеличић	редовни професор	Аутоматика и управљање системима, 20. 06. 2013.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду		Председник комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Др Филип Кулић	редовни професор	Аутоматика и управљање системима, 12. 09. 2013.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду		Члан комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Др Томислав Шекара	редовни професор	Аутоматика, 01.11.2017.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Електротехнички факултет Универзитета у Београду		Члан комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Др Мирна Капетина	ванредни професор	Аутоматика и управљање системима, 01. 05. 2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду		Члан комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Др Милан Рапаић	редовни професор	Аутоматика и управљање системима, 07. 10. 2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука Универзитета у		Ментор рада

Новом Саду		
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. Др Рашид Малти	редовни професор	Аутоматика и информатика, 01. 09. 2014.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Универзитет у Бордоу		Ментор рада
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

## II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

- Име, име једног родитеља, презиме: **Вукан (Весна) Туркулов**
- Датум рођења, општина, држава: **25.02.1993., Нови Сад, Србија**
- Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: **Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Рачунарство и аутоматика, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства**
- Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: **2017, Рачунарство и аутоматика, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду**

## III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса

## IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација под насловом **Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса**, кандидата Вукана Туркулова садржи (поред 12 страна пратећег уводног материјала), укупно 8 поглавља и 1 додаток на 92 странице писаног текста.

Главном делу рада претходи пратећи уводни материјал (стр. *i-xii*), која садржи: насловну страницу дисертације, обавезну општу документацију на српском и енглеском језику, садржај рада, списак слика, списак табела и нотацију. Докторска дисертација садржи 8 поглавља, и то:

- Увод.
- Преглед стања у области са прегледом литературе
- Поставка проблема
- Стабилност дуж криве у простору параметара
- Стабилност унутар области у простору параметара
- Нека проширења и специјални случајеви
- Примери
- Закључак.

Сем наведених поглавља, дисертација садржи и преглед литературе (библиографију). Дисертација је написана на 129 страна, позива се на 284 референце, садржи 4 табеле и 36 графикона.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

### Наслов

Наслов докторске дисертације је коректно и прецизно формулисан. Јасно указује на разматрану проблематику и у потпуности изражава предмет и суштину теме.

### Поглавље 1. Увод.

У уводном поглављу јасно је прецизирана проблематика којом се дисертација бави, као и значај остварених резултата. У уводу је такође детаљно приказана структура и организација дисертације.

### Поглавље 2. Преглед стања у области са прегледом литературе

У другом поглављу дат је приказ литературе од значаја за истраживање, односно,

уобичајене дефиниције стабилности система и методе за анализу стабилности линеарних стационарних система. Приказане дефиниције стабилности укључују стабилност у смислу Љапунова, асимптотску стабилност, експоненцијалну стабилност, БИБО (*Bounded-Input, Bounded-Output*) стабилност,  $\mathcal{L}_p$  стабилност и  $H_\infty$  стабилност. Разматрана је чињеница да су у случају система описаних рационалним функцијама преноса, приказане дефиниције махом еквиваленте. Насупрот томе, у случају система описаних ирационалним функцијама преноса, дефиниције се разликују. У наставку поглавља дат је преглед практично значајних класа система описаних ирационалним функцијама преноса: система са временским кашњењем, фракционих система и система са расподељеним параметрима. Описани су недостаци постојећих метода анализе стабилности система описаних ирационалним функцијама преноса, као и мотивација за даље истраживање у овој области.

### **Поглавље 3. Поставка проблема**

У трећем поглављу јасно је постављен проблем који се разматра у оквиру дисертације. Дефинисани су појмови области инваријантне стабилности и сегмента инваријантне стабилности. Такође је дефинисана карактеристична функција система, која представља директно уопштење карактеристичног полинома. Уведена дефиниција погодна је за системе описане ирационалним функцијама преноса, пошто је за такве системе појам карактеристичног полинома неодговарајући. Формулисане су благе претпоставке које систем мора да задовољава како би приказани методи били примењиви. Претпоставке дозвољавају да систем садржи коначно много сингуларитета на имагинарној оси, што је од посебног значаја за фракционе системе и системе са расподељеним параметрима. Сингуларитети могу бити произвољног типа.

### **Поглавље 4. Стабилност дуж криве у простору параметара**

У четвртом поглављу приказани су оригинални поступци за анализу стабилности дуж криве у простору параметара. Једна од последица овог приступа је независност нумеричке комплексности метода од димензионалности оригиналног простора параметара. Поглавље потом излаже тврђење које установљава довољне услове за проналазак сегмента инваријантне стабилности. Добијени сегмент је конзервативан. Наредна теорема проширује овај резултат, одређујући сегмент инваријантне стабилности који је комплетан. Сама теорема представља итеративну примену претходне теореме, уз доказ да таква итеративна примена конвергира ка граници инваријантне стабилности. Најзад, у поглављу је приказана и објашњења и рачунарска имплементација метода, која је илустрована примерима.

### **Поглавље 5. Стабилност унутар области у простору параметара**

У петом поглављу приказани су поступци за анализу стабилности унутар области у простору параметара. Поглавље почиње теоремом која даје довољне услове за одређивање конзервативне области инваријантне стабилности. Наредна теорема проширује овај резултат, одређујући комплетну област инваријантне стабилности која окружује дату почетну параметарску тачку. Приказана је рачунарска имплементација метода, као и начини да се поступак паралелизује на вишеструким процесорским јединицама. Примена метода илустрована је примерима.

### **Поглавље 6. Нека проширења и специјални случајеви**

У шестом поглављу разматрају се два проширења предложених метода. Прво проширење односи се на анализу стабилности ретардираних система (система са кашњењем, у којима се кашњења не јавља у члану који садржи диференцирање највишег степена). Показано је да у случају ове класе система предложени методи имају посебно једноставну реализацију. Друго проширење односи се на ублажавање претпоставки изнетих у трећем поглављу. Оба проширења илустрована су примерима.

### **Поглавље 7. Примери**

Седмо поглавље приказује примену метода за анализу стабилности на многобројне системе описане ирационалним функцијама преноса. Примери укључују системе са временским кашњењем (укључујући и системе са дистрибуираним кашњењем), фракционе системе и

системе са расподељеним параметрима. Примери такође укључују анализу стабилности управљачких система. Већина примера испитује стабилност у дводимензионалном простору параметара, док један пример испитује стабилност у тродимензалном простору параметара. На све примере примењене су методе за анализу стабилности дуж криве и унутар области у простору параметара.

#### **Поглавље 8. Закључак**

У закључку се даје осврт на приказане методе испитивања стабилности ситета. Истиче се значај посматраног проблема и предложеног решења, као и комплементарност предложених метода и постојећих метода за одређивање броја нестабилних полова за дату параметарску тачку.

#### **Додатак**

Додатак садржи неке познате теореме и дефиниције из области комплексне анализе које су од интереса са становишта резултата приказаних у тези. Овај одељак знатно олакшава праћење текста читаоцима који не поседују активна знања из ове области.

#### **Литература**

Литература је адекватног обима, одговарајућа проблематици која је разматрана у дисертацији.

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

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

**Turkulov, V., Rapačić, M. R., & Malti, R.**, Stability of linear dynamical systems with time delays, International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2019), pp. 213-218, Silver Lake, Serbia, June 3-6, 2019. ISBN 978-86-7466-785-9. – M33

**Turkulov, V., Rapačić, M. R., & Malti, R.** (2023). A novel approach to stability analysis of a wide class of irrational linear systems. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 26 (1), 70–90. <https://doi.org/10.1007/s13540-022-00126-z> - M21a

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

Кандидат Вукан Туркулов у закључку своје докторске дисертације под насловом **Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса** даје одговоре на постављена истраживачка питања, приказује резултате истраживања и потврђује хипотезе дефинисане у уводном делу докторске дисертације.

У оквиру ове докторске дисертације предложене су оригиналне, како аналитичке, тако и нумеричке савремене методе анализе стабилности система описаних функцијама преноса. Заједнички именитељ свих описаних метода јесте комплетност (односно неконзервативност) добијених резултата.

Основно својство предложених метода јесте да се успешно могу применити на широку класу линеарних модела процеса описаних функцијама преноса, без обзира на то да ли су функције преноса рационалне или ирационалне. У поменуту класу система спадају системи са временским кашњењем (дискретним и/или расподељеним), системи са расподељеним параметрима, као и фракциони системи.

Предложене методе за испитивање стабилности дуж криве у простору параметара свде вишедимензионалан параметарски простор у једнодимензионалан, обезбеђујући ефикасну анализу без обзира на број димензија оригиналног простора параметара. Посебно наглашавамо да методе проналазе комплетан сегмент инваријантног броја нестабилних полова дуж одабране криве у простору параметара почевши од задате параметарске тачке, без уношења конзервативности. Дисертација такође описује нумеричку имплементацију предложених метода, која је илустрована примером.

Предложене методе за испитивање стабилности унутар области у простору параметара проналазе комплетну област инваријантног броја нестабилног полова којој припада дата почетна параметарска тачка, без обзира на облик те области. Слично као у случају метода за испитивање стабилности дуж криве, предложене методе не уносе конзерватизам. Дисертација описује нумеричку имплементацију метода, као и начине да се имплементација прилагоди паралелном извршавању на више процесорских јединица.

Обе фамилије предложених метода илустроване су применом на мноштво разноликих примера, укључујући системе са дискретним временским кашњењем, системе са расподељеним временским кашњењем, системе са нецелим степеном извода, системе са просторно расподељеним параметрима, као и системе аутоматског управљања. У већини примера стабилност се испитује у дводиомензалном простору параметара, а један пример илуструје примену метода на тродиомензионалан простор параметара.

Комисија са задовољством изјављује како је кандидат испунио све задатке које је поставио у пријави дисертације, и тиме остварио оригиналан и значајан допринос у области анализе стабилности система.

## **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Након пажљиве, детаљне и свеобухватне анализе, Комисија констатује: докторска дисертација Вукана Туркулова под насловом **Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса** је написана јасно и квалитетно, начин приказа и тумачење резултата истраживања спроведеног у оквиру дисертације су коректни и исцрпни, сам рад представља значајан допринос у односу на постојеће методе испитивања стабилности система. Рад је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма *iThenticate*, у Библиотеци ФТН-а, о чему је Комисија извештена путем електронске поште.

*Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата.*

<p><b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p>Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:</p> <p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?</p> <p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?</p> <p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?</p> <p>4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?</p> <p>Комисија за оцену докторске дисертације Вукана Туркулова под насловом „Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса“, након пажљиве, детаљне и свеобухватне анализе, закључује следеће:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме ове докторске дисертације;</li> <li>2. Дисертација садржи све битне елементе неопходне за позитивну оцену дисертације;</li> <li>3. Дисертација представља оригиналан допринос науци – конкретно, предложени оригинални поступци за анализу стабилности широке класе линеарних динамичких система описаних функцијама преноса које не морају бити рационалне, као и анализа услова под којима су предложени алгоритми применљиви представљају оригиналан допринос науци;</li> <li>4. Комисија није уочила нити суштинске нити формалне недостатке дисертације.</li> </ol>
<p><b>X ПРЕДЛОГ:</b></p> <p>На основу наведеног, комисија предлаже да се докторска дисертација кандидата <b>Вукана Туркулова</b> под насловом „Анализа стабилности линеарних стационарних процеса описаних ирационалним функцијама преноса“ <b>прихвати</b>, а кандидату одобри јавна одбрана дисертације.</p>

Место и датум: Нови Сад, 1. јун 2023.

1. Др Зоран Јеличић, редовни професор,  
председник комисије

\_\_\_\_\_

4. Др Мирна Капетина, ванредни  
професор, члан комисије

\_\_\_\_\_

2. Др Филип Кулић, редовни професор,  
члан комисије

\_\_\_\_\_

5. Др Милан Рапаић, редовни професор,  
ментор рада

\_\_\_\_\_

3. Др Томислав Шекара, редовни  
професор, члан комисије

\_\_\_\_\_

6. Др Рашид Малти, редовни професор,  
ментор рада

\_\_\_\_\_

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.