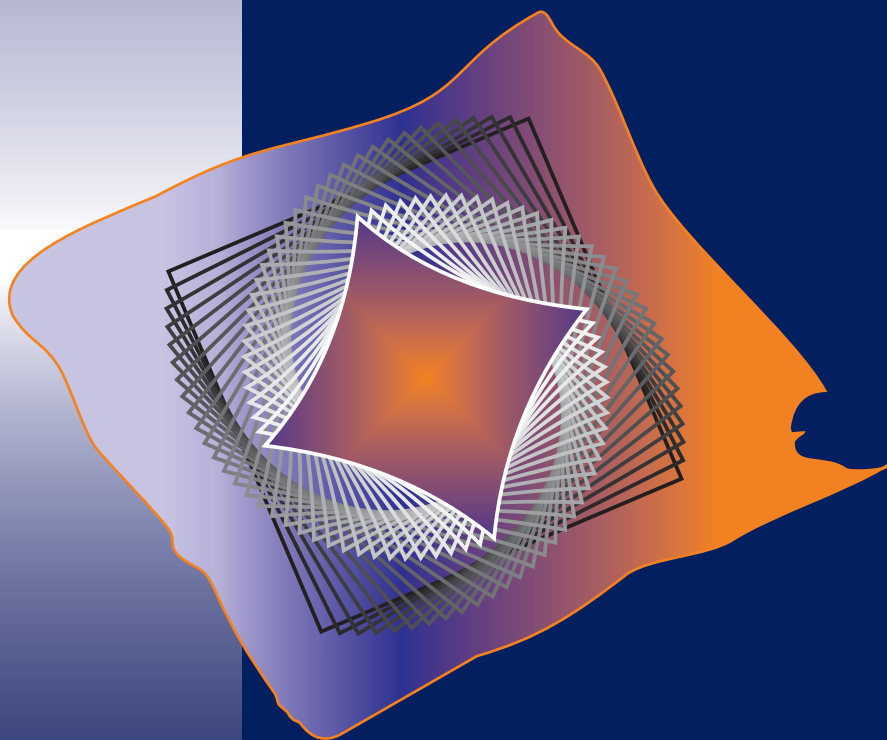


# DINAMIKA SINGULARNIH I DESKRIPTIVNIH SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM

*D. Lj. Debeljković  
Ivan M. Buzurović*





Dr Dragutin Lj. Debeljković • Dr Ivan M. Buzurović

---

**DINAMIKA  
SINGULARNIH I DESKRIPTIVNIH  
SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA  
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM  
Stabilnost, robusnost, optimizacija,  
stabilizacija i robusna stabilizacija**

**Dynamics of Singular and Descriptive  
Time Delayed Control Systems  
Stability, robustness, optimization,  
stabilizability and robustness stabilizability**

*Mašinski fakultet  
Univerziteta u Beogradu  
2013*

Dr **Dragutin Lj. Debeljković**, redovni profesor  
Mašinski fakultet - Univerzitet u Beogradu

Dr **Ivan M. Buzurovic**,  
Division of Physics and Biophysics,  
Harvard Medical School, Harvard University,  
Boston, MA, USA

**Dinamika  
singularnih i deskriptivnih  
sistemi automatskog upravljanja  
sa čistim vremenskim kašnjenjem**

**Dynamics of  
singular and descriptive  
time delayed control systems**

Monografija  
*Monograph*

I izdanje

*Recenzenti*

Dr Svetislav Zarić, redovni profesor  
Mašinskog fakulteta u Beogradu

Dr Mihailo P. Lazarević, redovni profesor  
Mašinskog fakulteta u Beogradu

*Izdavač*

Univerzitet u Beogradu  
Mašinski fakultet Beograd  
11000 Beograd, Kraljice Marije 16

*Za izdavača*

Dr Aleksandar Obradović, prof.

*Odobreno za štampu*  
odlukom *Dekana* br. 227/13 od 07.02.2013.

Beograd, 2013  
Tiraž: 200 primeraka

*Štampa PLANETA print*

ISBN 978 – 86 – 7083 – 779 – 9

---

*Preštampavanje, umnožavanje, fotokopiranje  
ili reprodukcija cele knjige ili nekih njenih delova nije dozvoljena*

**Dr Dragutin Lj. Debeljković · Dr Ivan M. Buzurović**

**DINAMIKA  
SINGULARNIH I DESKRIPTIVNIH  
SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA  
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM  
Stabilnost, robusnost, optimizacija,  
stabilizacija i robusna stabilizacija**

**DYNAMICS  
OF SINGULAR AND DESCRIPTIVE  
TIME DELAYED CONTROL SYSTEMS  
STABILITY, ROBUSTNESS, OPTIMIZATION,  
STABILIZABILITY AND ROBUSTNESS STABILIZABILITY**

## **Zahvalnost**

*Izdanje ove  
naučne monografije  
finansijski je pomoglo*

**Ministarstvo za prosvetu, nauku,  
i tehnološki razvoj Republike Srbije**

*na čemu je Ministarstvu autor neizmerno i duboko zahvalan*

## ***PREDGOVOR***

Već više od dve pune decenije *singularni* (deskriptivni) sistemi privlače pažnju naučne i stručne javnosti širom sveta.

Njihovo prisustvo u svim granama tehnike i u pojedinim oblastima društvenih nauka više je nego evidentno, što obavezuje da im se sa svih mogućih aspekata proučavanja posveti dužna pažnja.

U matematičkom smislu ovi sistemi su predstavljeni kombinacijom diferencijalnih (diferencnih) i algebarskih jednačina, pri čemu ove druge predstavljaju ograničenje koje treba zadovoljiti pri rešavanju onih prvih.

Imajući to u vidu, sasvim je jasno da je odgovarajuće poznavanje linearne algebre i teorije sistema neophodno za razumevanje i adekvatno tumačenje dobijenih rezultata.

Već više od pola veka *sistemi sa kašnjenjem* privlače pažnju naučne i stručne javnosti širom sveta.

Njihovo prisustvo u svim granama nauke i tehnike više je nego evidentno i u tom smislu brojni naučni radovi i obimna publicistička delatnost u punoj meri su iskazali interes koji je za njih bio pokazan.

U matematičkom smislu, ova klasa sistema opisana je običnim diferencijalnim (diferencnim) jednačinama sa pomeranim argumentom, što uslovljava čitav niz dodatnih poteškoća pri njihovom rešavanju.

S druge strane, u prvom slučaju, kao sistemi beskonačne dimenzije, njihovo proučavanje u kompleksnom domenu uslovljeno je suočavanjem sa transcendentnim prenosnim funkcijama, što u izvesnim slučajevima zahteva radikalnu preformulaciju postojećih kriterijuma i metoda razvijenih za obične linearne sisteme, a ponekada i formiranje sasvim novih prilaza i postupaka za razrešavanje postavljenih zadataka kako klasične, tako i moderne teorije automatskog upravljanja.

Razmatrajući osobine i specifičnosti pomenutih klasa sistema, zainteresovanom čitaocu se pružila jedinstvena prilika, da na jednom mestu spozna dve, veoma posebne i značajne klase sistema automatskog upravljanja.

U tom smislu dosta prostora bilo je posvećeno problematici tzv. singularnih sistema i sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem kao i njihovim diskretnim analoganima.

Valja istaći da postoji veliki broj sistema automatskog upravljanja u kojima je izražen istovremeni fenomen čisto vremenskog kašnjenja i evidentna singularnost tako da ova klasa sistema poznata pod imenom **Singularni sistemi sa kašnjenjem** zaslužuje posebnu pažnju imajući u vidu da nedvosmisleno objedinjuje ranije ukazane specifičnosti pojedinačnih klasa, ovde, opisanih sistema.

Ovi sistemi imaju mnoge specifične karakteristike.

Ako želimo da ih rigurozno opišemo, da ih projektujemo sa zavidnim stepenom tačnosti ili da kvalitetno upravljamo njima, moramo tada da poklonimo veoma veliku pažnju dubokoj spoznaji njihovih suštinskih osobina i posebnosti koje ih u, velikoj meri, razlikuju od drugih klasa sistema.

U matematičkom smislu ova klasa sistema automatskog upravljanja predstavljena je kuplovanim sistemom diferencijalnih (diferencnih) jednačina sa pomeranim argumentom, kojima je pridružen sistem odgovarajućih algebarskih jednačina koje u opštem slučaju mogu biti, takođe, sa pomeranim argumentom ili bez njega.

U tom smislu predmet ove naučne monografije predstavlja pomenuta klasa singularnih (diferencnih) sistema sa prisutnim čistim vremenskim kašnjenjem lociranom u stanju sistema, prirodno proistekla iz globalnog matematičkog modeliranja pojedinih realnih objekata i procesa automatskog upravljanja.

Kao i uvek, u žiži interesovanja sa stanovišta dinamike ovde izučavanih klasa sistema, bila su pitanja njihove **stabilnosti u Ljapunovskom i neljapunovskom smislu**, što predstavlja permanentnu preokupaciju i interesovanje autora već više a iskazano kroz brojne naučne radove objavljene u uglednim međunarodnim časopisima ili saopštene na renomiranim međunarodnim konferencijama.

Uvažavajući savremene trendove u naučnoj literaturi, već klasična pitanja stabilnosti ove klase sistema, praćena su i odgovarajućim rezultatima vezanim za ispitivanje njihove robusnosti u prisustvu strukturalnih i nestrukturalnih perturbacija kao i nedavno nastalim metodama za optimizaciju i podešavanje polova kojima se ili stabilišu ili robusno stabilišu razmatrani sistemi.

Ova monografija, kao i nekoliko prethodnih monografija prvopotpisanog autora, podržava i nastavlja da prezentuje aktuelne trendove u ovoj oblasti i predstavlja uobličeni, rafiniran, selektivan i prilagođeni tekst. delom, preuzet iz savremenih radova objavljenih u renomiranim međunarodnim časopisima najvišeg ranga a i monografija koje se bave opštim pitanjima problema stabilnosti, robusnosti stabilnosti, stabilizacije i robusne stabilizacije ove klase sistema automatskog upravljanja.

Već duži niz godina postoji nasušna potreba, da se na ovdašnjim i sadašnjim naučnim prostorima, pojavi jedno ovakvo štivo koje bi, sa prethodnim izdanjima, zainteresovanim čitaocima pružilo dovoljno početnih znanja i ohrabrenja da se bez straha i bojazni mogu upustiti u dalju spoznaju ove veoma složene problematike a što je i bila glavna preokupacija autora bez ikakvih pretenzija da se, u ovom trenutku, ponudi i nešto više.

Za razliku od prethodnih izdanja, ovde je iznet nešto širi spektar nedavno objavljenih radova autora a koji se odnosi na doprinose date na polju neljapunovske stabilnosti, ovde razmatranih klasa sistema sa unetim izvesnim brojem numeričkih, školskih primera a i primera koji su proistekli iz svakodnevne prakse, posebno u sferi primene ove klase sistema u medicini kako u lečenju kancera prostate tako i u tehnologiji dopremanja i doziranja lekova.

*Dr Svetislavu Zariću i Dr Mihailu P. Lazareviću*, redovnim profesorima Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu autori su duboko zahvalni na korisnim sugestijama i trudu oko recenzije.

Beograd, januar 2013. god.

***Autori***



**DINAMIKA  
SINGULARNIH I DESKRIPTIVNIH  
SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA  
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM**

**DYNAMICS  
OF SINGULAR AND DESCRIPTIVE  
TIME DELAYED CONTROL SYSTEMS**



# SADRŽAJ

## Opšta razmatranja

<b>I UVODNI DEO</b> .....	1
1. NEKA OPŠTA PITANJA SINGULARNIH SISTEMA .....	1
1.1 Primeri singularnih sistema .....	2
1.2 Problem početnog stanja .....	4
1.3 Redukovanje reda sistema .....	5
1.4 Rešenja u vremenskom domenu korišćenjem Drazinove inverzije .....	7
1.5 Singularna perturbacija .....	7
1.6 Rešavanje Laplasovom transformacijom .....	8
1.7 Modalna analiza .....	9
1.8 Osmotrivost i upravljivost .....	10
Literatura .....	12
<b>II UPRAVLJIVOST I OSMOTRIVOST</b> .....	13
2. UPRAVLJIVOST SINGULARNIH SISTEMA .....	13
2.1 Definicije i leme .....	17
2.2 Redukovanje na kondenzovanu formu .....	22
2.3 Regularizacija i minimizacija indeksa pomoću povratne sprege po veličinama stanja .....	29
2.4 Geometrijski dokazi .....	33
2.5 Povratna sprega po izvodu stanja i izlaza .....	35
2.6 Vremenski diskretni sistemi i linearno kvadratno upravljanje .....	37
Literatura .....	37

---

3. OSMOTRIVOST SINGULARNIH SISTEMA .....	41
3.1 Neimpulsni sistemi, impulsna upravljivost i osmotrivost .....	42
3.2 Glavni rezultati .....	50
Literatura .....	51

## *Stabilnost kontinualnih singularnih sistema*

### **III STABILNOST**

<b>KONTINUALNIH SINGULARNIH SISTEMA U SMISLU LJAPUNOVA .....</b>	<b>53</b>
--	-----------

4. ROBUSNA STRUKTURNA STABILNOST LINEARNIH INTERVALNIH SINGULARNIH SISTEMA .....	53
4.1 Uvod .....	53
4.2 Označavanja i preliminarna razmatranja .....	55
4.3 Glavni rezultati .....	55
4.4 Ilustrativni primer .....	60
Literatura .....	62

5. GENERALIZOVANE LJAPUNOVLJEVE JEDNAČINE ZA ANALIZU STABILNOSTI SINGULARNIH SISTEMA .....	63
5.1 Uvod .....	63
5.2 Opis sistema i preliminarni rezultati .....	64
5.3 Generalizovana Ljapunovljeva jednačina i asimptotska stabilnost .....	66
5.4 Numerički primeri .....	72
Literatura .....	75

---

<b>6. NOVE LJAPUNOVLJEVE I RIKATIJEVE JEDNAČINE ZA SINGULARNE SISTEME: VREMENSKI KONTINUALAN SLUČAJ .....</b>	<b>77</b>
6.1 Uvod .....	77
6.2 Preliminarna razmatranja .....	78
6.3 Ljapunovljeve jednačine i stabilnost .....	81
6.4 Rikatijeva jednačina i stabilizacija .....	83
6.5 Ilustrativni primeri .....	85
Literatura .....	89
<b>7. ROBUSNOST SINGULARNIH SISTEMA SA PRISUTNIM NEIZVESNOSTIMA .....</b>	<b>91</b>
7.1 Uvod .....	91
7.2 Preliminarna razmatranja .....	92
7.3 Robusnost bez impulsa i osobine stabilnosti .....	93
7.4 Robusni impulsni regulatori .....	100
Literatura .....	106
<b>8. LJAPUNOVLJEVA TEORIJA STABILNOSTI I ROBUSNO UPRAVLJANJE SINGULARNIH SISTEMA SA PRISUTNIM NEIZVESNOSTIMA .....</b>	<b>107</b>
8.1 Uvod .....	107
8.2 Pretpostavke i definicije stabilnosti .....	108
8.3 Ljapunovljeve teoreme stabilnosti za singularne sisteme .....	110
8.4 Regulatori smešteni u povratnim spregama po veličinama stanja koji garantuju asimptotsku stabilnost za singularne sisteme sa prisutnim neizvesnostima .....	113
8.5 Ilustrativni primer .....	117
Literatura .....	120

---

<b>9. KONCEPTI STABILNOSTI ZA OPŠTE VREMENSKI KONTINUALNE IMPLICITNE SISTEME : DEFINICIJE, HAUTOVI TESTOVI I LJAPUNOVLJEVI KRITERIJUMI .....</b>	<b>123</b>
<b>9.1 Uvod .....</b>	<b>123</b>
<b>9.2 Asimptotska stabilnost .....</b>	<b>123</b>
<b>9.3 Ljapunovljeve teoreme         za moguće nekvadratne sisteme .....</b>	<b>131</b>
Literatura .....	140
<b>10. STABILIZACIJA LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA .....</b>	<b>143</b>
<b>10.1 Definisane problema .....</b>	<b>144</b>
<b>10.2 Rešenja         regulacije izlaza pomoću         povratne sprege sa potpunom informacijom .....</b>	<b>147</b>
<b>10.3 Rešenja         regulacije izlaza pomoću         povratne sprege na osnovu signala greške .....</b>	<b>149</b>
10.3.1 Slučaj singularnih sistema koji mogu biti normalizovani .....	151
10.3.2 Opšti slučaj .....	154
Literatura .....	159
<b>IV STABILNOST KONTINUALNIH SINGULARNIH SISTEMA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU</b>	<b>161</b>
<b>11. UPRAVLJANJE NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA SA PARAMETARSKIM NEIZVESNOSTIMA I U PRISUSTVU DELOVANJA POREMEĆAJA .....</b>	<b>161</b>
<b>11.1 Uvod .....</b>	<b>161</b>
<b>11.2 Postavka problema .....</b>	<b>162</b>
<b>11.3 Osnovni rezultati .....</b>	<b>164</b>
<b>11.4 Numerički primer .....</b>	<b>167</b>
Literatura .....	168

---

<b>12. STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU IMPULSNIH SINGULARNIH DINAMIČKIH SISTEMA .....</b>	<b>171</b>
<b>12.1 Matematički model         impulsnih singularnih dinamičkih sistema .....</b>	<b>172</b>
<b>12.2 Vremenski zavisni         impulsnih singularnih dinamičkih sistema .....</b>	<b>175</b>
<b>12.3 Vremenski zavisni impulsnih singularnih sistema .....</b>	<b>176</b>
<b>12.4 Stabilnost         na konačnom vremenskom intervalu         impulsnih singularnih dinamičkih sistema .....</b>	<b>177</b>
Literatura .....	181

*Stabilnost  
diskretnih  
deskriptivnih sistema*

<b>V STABILNOST DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA U SMISLU LJAPUNOVA .....</b>	<b>183</b>
<b>13. ANALIZA I PROJEKTOVANJE ROBUSNE STABILNOSTI ZA VREMENSKI DISKRETNE DESKRIPTIVNE SISTEME .....</b>	<b>183</b>
<b>13.1 Označavanje .....</b>	<b>183</b>
<b>13.2 Uvod .....</b>	<b>183</b>
<b>13.3 Relevantna literatura i formulacija problema .....</b>	<b>185</b>
13.3.1 Pregled relevantnih rezultata .....	185
13.3.2 Uvodna razmatranja i formulacija problema .....	186
<b>13.4 Rešenja .....</b>	<b>187</b>
13.4.1 Analiza robusne stabilnosti .....	187
13.4.2 Robusno klasterovanje korena u definisanom disku .....	194
13.4.3 Projektovanje robusnog upravljanja .....	198
Literatura .....	204

---

<b>14. ROBUSNA STABILIZACIJA DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA SA PRISUTNIM NEIZVESNOSTIMA .....</b>	<b>207</b>
14.1 Uvod .....	207
14.2 Definicije i opis problema .....	208
14.3 Glavni rezultati .....	210
14.4 Ilustrativni primer .....	214
Literatura .....	215

<b>15. ROBUSNA KVADRATNA STABILNOST SA UPRAVLJANJEM SA DOZVOLJENIM OTKAZOM ZA VREMENSKI DISKRETNE DESKRIPTIVNE SISTEME .....</b>	<b>217</b>
15.1 Uvod .....	217
15.2 Opis sistema i formulacija problema .....	218
15.3 Kvadratna stabilnost i stabilizacija .....	220
15.4 Upravljanje sa prihvatljivim otkazom .....	224
15.5 Primer .....	226
Literatura .....	228

<b>VI STABILNOST DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU .....</b>	<b>229</b>
--	------------

<b>16. STABILNOST DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU .....</b>	<b>229</b>
16.1 Uvod .....	229
16.2 Formulacija i rešenje problema .....	232
Literatura .....	238



---

*Stabilnost  
kontinualnih sistema  
sa čistim vremenskim kašnjenjem*

<b>VII STABILNOST KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM U SMISLU LJAPUNOVA</b>	241
<b>17. STABILIZACIJA LINEARNIH AUTONOMNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM POVRATNOM SPREGOM PO VELIČINAMA STANJA</b>	241
17.1 Uvod	241
17.2 Karakteristična matrična jednačina	243
17.3 Stabilizacija preko opšteg sistema bez kašnjenja	251
17.4 Numerički primeri	258
Literatura	266
<b>18. VREMENSKI ZAVISNA ROBUSNA STABILNOST I STABILIZACIJA LINEARNOG SISTEMA SA KAŠNJENJEM I PRISUTNIM NEIZVESNOSTIMA – PRISTUP PREKO LINEARNIH MATRIČNIH NEJEDNAKOSTI</b>	269
18.1 Uvod	269
18.2 Formulacija problema	270
18.3 Glavni rezultati	271
Literatura	283

---

<b>19. NOVA METODA ZA STABILIZACIJU JEDNE KLASJE KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNENJEM SA PRISUTNIM NEIZVESNOSTIMA .....</b>	<b>285</b>
19.1 Uvod .....	285
19.2 Formulacija problema .....	286
19.3 Projektovanje upravljanja i analiza stabilnosti .....	288
19.4 Numerički primeri .....	292
Literatura .....	294
<b>VIII STABILNOST KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNENJEM NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU .....</b>	<b>295</b>
<b>20. STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU I STABILIZACIJA SISTEMA SA KAŠNENJEM .....</b>	<b>295</b>
20.1 Uvod .....	295
20.2 Napomene i definicije .....	296
20.3 Preliminarni rezultati stabilnosti u konačnom vremenskom intervalu .....	298
20.4 Proširenje Artsteinove transformacije: Primena na stabilizaciju problema na konačnom vremenskom intervalu .....	301
Literatura .....	308
<b>21. STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU LINEARNIH VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM: Kratka rekapitulacija prethodnih rezultata .....</b>	<b>309</b>
21.1 Uvod .....	309
21.2 Vremenski kontinualni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem .....	309
21.2.1 Vremenski kontinualni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem: Stabilnost na konačnom vremenskom intervalu .....	309
Literatura .....	320

---

*Stabilnost  
diskretnih sistema  
sa čistim vremenskim kašnjenjem*

**IX STABILNOST**

**DISKRETNIH SISTEMA**

**SA KAŠNJENJEM U SMISLU LJAPUNOVA ..... 323**

**22. ANALIZA**

**ROBUSNE STABILNOSTI**

**DISKRETNIH LINEARNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM ..... 323**

**22.1 Uvod ..... 323**

**22.2 Preliminarna razmatranja ..... 324**

**22.3 Asimptotska stabilnost**

**vremensko diskretnih linearnih**

**sistema sa vremenskim kašnjenjem ..... 325**

**22.4 Numerički primer ..... 328**

Literatura ..... 332

**X STABILNOST**

**DISKRETNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM**

**NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU ..... 333**

**23. NELJAPUNOVSKA STABILNOST**

**LINEARNIH VREMENSKI DISKRETNIH**

**SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM:**

**LMI I KLASIČAN PRILAZ ..... 333**

**23.1 Uvodna razmatranja ..... 333**

**23.2 Glavni rezultati ..... 335**

Literatura ..... 341

---

*Stabilnost  
kontinualnih singularnih sistema  
sa čistim vremenskim kašnjenjem*

**XI STABILNOST**

**KONTINUALNIH**

**SINGULARNIH SISTEMA**

**U SMISLU LJAPUNOVA** ..... 343

**24. ROBUSNO FLEKSIBILNO UPRAVLJANJE**

**SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM**

**KOJE GARANTUJE INDEKS PERFORMANSE ZA**

**SINGULARNE SISTEME SA ČISTIM VREMENSKIM**

**KAŠNENJEM SA PRISUTNIM NEODREĐENOSTIMA** ..... 343

**24.1 Uvod** ..... 343

**24.2 Iskaz problema i preliminarna razmatranja** ..... 345

**24.3 Robusno fleksibilno upravljanje**

**koje garantuje indeks performanse** ..... 353

Literatura ..... 364

**XII STABILNOST**

**KONTINUALNIH SINGULARNIH**

**SISTEMA NA KONAČNOM**

**VREMENSKOM INTERVALU** ..... 365

**25. PRAKTIČNA STABILNOST KONTINUALNIH**

**SINGULARNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM**

**KAŠNENJEM ODREĐENIH NA OSNOVU DVA MERENJA** .... 365

**25.1 Uvod** ..... 365

**25.2 Preliminarna razmatranja i definicije** ..... 366

**25.3 Glavni rezultati** ..... 368

25.3.1 Paralela sa Lyapunov–ljevimi rezultatima ..... 368

25.3.2 Rezultati preko principa poređenja ..... 372

25.3.3 Primena na klasu

singularnih sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem ..... 375

Literatura ..... 377

---

<b>26. KONTINUALNI LINEARNI SINGULARNI SISTEMI SA KAŠNENJEM: MODERNI LMI PRILAZ</b> .....	379
Literatura .....	390
<b>27. NON-LYAPUNOV STABILITY OF SINGULAR TIME DELAYED SYSTEMS: CLASSICAL AND MODERN APPROACHES WITH APPLICATION TO AUTOMATIC DRUG DELIVERY</b> .....	393
<b>27.1 Introduction</b> .....	393
<b>27.2 System modeling</b> .....	393
27.2.1 System description .....	394
27.2.2 Mathematical modeling .....	395
<b>27.3 Stability concepts</b> .....	397
27.3.1 Preliminaries .....	398
27.3.2 Basic definitions .....	400
<b>27.4 Main results</b> .....	400
<b>27.5 Dynamic analysis</b> .....	403
References .....	407

*Stabilnost  
diskretnih deskriptivnih sistema  
sa čistim vremenskim kašnjenjem*

<b>XIII STABILNOST DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA U SMISLU LJAPUNOVA</b>	409
<b>28. ROBUSTNA STABILNOST LINEARNIH DISKRETNIH DEKRIPTIVNIH SISTEMA SA VREMENSKIM KAŠNENJEM I SA STRUKTURNIM PARAMETARSKIM NEODREĐENOSTIMA</b> .....	409
<b>28.1 Uvod</b> .....	409
<b>28.2 Analiza robustne stabilnosti</b> .....	409
<b>28.3 Diskretni deskriptivni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem sa strukturnim i nestrukturnim parametarskim neodređenostima</b> .....	408
Literatura .....	422

---

<b>XIV STABILNOST DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA SA KAŠNENJEM NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU .....</b>	<b>423</b>
<b>29. DISKRETNI DESKRIPTIVNI SISTEMI SA KAŠNENJEM: MODERNI LMI PRILAZ .....</b>	<b>423</b>
Literatura .....	428

## *Dodaci*

<b>XV DODACI .....</b>	<b>431</b>
<b>DODATAK A – Oznake .....</b>	<b>431</b>
<b>DODATAK B - Neophodni dokazi.....</b>	<b>437</b>
Literatura .....	443
<b>DODATAK C – Dokaz Teoreme 14.2 .....</b>	<b>445</b>
Literatura .....	447