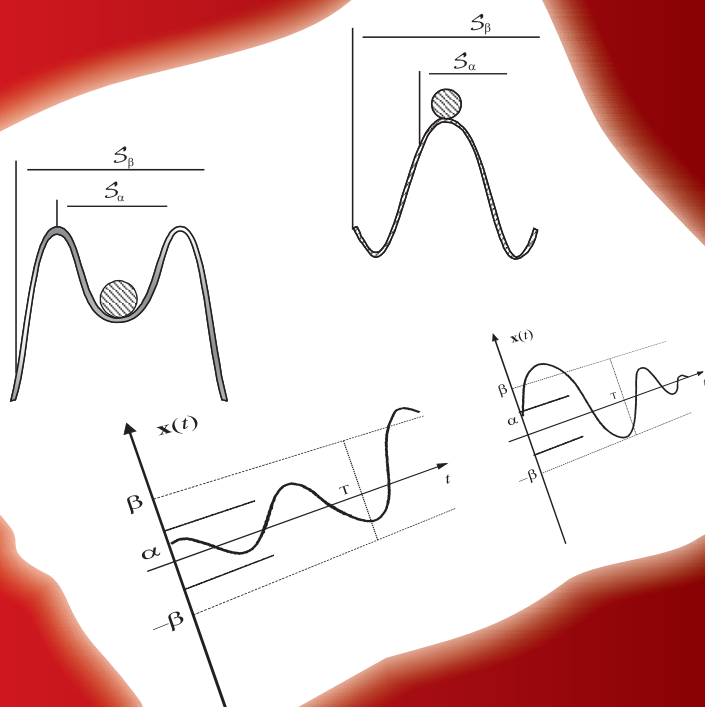


STABILNOST SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU

Dragutin Lj. Debeljković
Milan A. Mišić



Dr Dragutin Lj. Debeljković
Dr Milan A. Mišić

**STABILNOST
SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU
III DEO**

**Stability of Control Systems
over a Finite Time Interval
Part III**

*Mašinski fakultet
Univerziteta u Beogradu
2013*

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

Dr **Milan A. Mišić**, docent
Fakultet tehničkih nauka – Univerzitet u Prištini
sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici

**Stabilnost
sistema automatskog upravljanja
na konačnom vremenskom intervalu III Deo**

**Stability
of Control Systems
over Finite Time Interval Part III**

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. 228/13 od 07.02.2013.

Beograd, 2013
Tiraž: 200 primeraka

Štampa PLANETA print

ISBN 978 – 86 – 7083 – 781 - 2

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

Dr Dragutin Lj. Debeljković
Dr Milan A. Mišić

STABILNOST
SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU
III DEO

STABILITY OF CONTROL SYSTEMS
OVER FINITE TIME INTERVAL
PART III

Zahvalnost

*Izdanje ove
naučne monografije
finansijski je pomoglo*

**Ministarstvo prosvete, nauke
i tehnološkog razvoja Republike Srbije**

na čemu su Ministarstvu autori neizmerno i duboko zahvalni

**STABILNOST SISTEMA
AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU**

III DEO

**CONTROL
SYSTEM STABILITY
OVER FINITE TIME INTERVAL
PART III**

Predgovor

Linearni sistemi su oduvek privlačili pažnju naučne i stručne javnosti i taj interes postoji i dan danas i zaokuplja sve tehničke discipline podržan snažnim matematičkim aparatom osnovanim na odabranim poglavljima linearne algebre, operatorskog računa i teorije diferencijalnih jednačina, sa i bez pomenog argumenta, što im neosporno daje veliki značaj, pa je samim tim prirodno da se još jednom nađu u stvarnoj žiži interesovanja a sa nekih drugih aspekta njihovog dinamičkog delovanja i ponašanja.

U savremenoj teoriji upravljanja sistemima predloženi su i koriste se različiti koncepti stabilnosti, kao na primer: ljapunovska, neljapunovska i tehnička stabilnost, stabilnost tipa “ograničeni ulaz - ograničeni izlaz”, krajnja stabilnost, itd., od kojih se, u prvom redu očekuje da odgovore na mnoga suštinska pitanja o osobinama kretanja sistema.

U tom smislu, u standardnom kontekstu ovih razmatranja, uvažavajući usvojenu klasu sistema, uobičajeno se prvo razjašnjavaju pitanja vezana za definiciju, postojanje, jedinstvenost i stabilnost ravnotežnog stanja sistema, a zatim se, shodno predloženom konceptu, daju definicije i odgovarajući uslov stabilnosti.

Na taj način, dolazi se do potrebne platforme i pozicija sa kojih je moguće efikasno analizirati dinamičko ponašanje razmatranog sistema sa željenog aspekta.

Jasno je da se, korišćenjem odgovarajućih kriterijuma, mogu dobiti odgovori po pitanju stabilnosti razmatranih sistema i bez rešavanja njihovih diferencijalnih jednačina kretanja, čime se postiže pun analitički efekat.

Ova monografija je prvenstveno nastala kao plod tridesetogodišnjeg bavljenja prvopotpisanog autora problematikom neljapunovske stabilnosti i predstavlja prirodan nastavak proširenja ovih koncepata na pojedine klase sistema automatskog upravljanja.

Duboko insprisan kulturnim radovima Lj. T. Grujića, prvopotpisani autor ove monografije, prvo u svojoj doktorskoj disertaciji a zatim kroz brojne radove saopštene na međunarodnim konferencijama najvišeg ranga i/ili objavljene u renomiranim internacionalnim časopisima proširuje koncept praktične stabilnosti i stabilnosti na konačnom vremenskom intervalu na posebne klase običnih linearnih vremenski diskretnih sistema, na sisteme sa čistim vremenskim kašnjenjem i singularne sisteme, odnosno deskriptivne sisteme automatskog upravljanja.

Kao kruna svih tih napora, slobodno se može reći da predstavlja implementacija ovog koncepta stabilnosti na razne klase singularno- deskriptivnih sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem.

Imajući u vidu poslednje navedene klase sistema, može se sa sigurnošću reći, da ti rezultati predstavljaju i prve, takve vrste, u svetu.

Mimo toga, značajni doprinosi ove monografije nastali su i kao rezultat dugogodišnje intenzivne saradnje autora sa uvažanim profesorom Dr *David H. Owens* – om, University of Sheffield na problemima ljabunovske i neljabunovske stabilnosti.

Autoru je zadovoljstvo istaći i nespornu činjenicu da je veliku pomoć na proširivanju koncepta neljabunovske stabilnosti na različite klase sistema sa kašnjenjem imao u nekolicini svojih studenata, posebno u gospodinu *Dr Zoranu Nenadiću*, dipl. inž. maš., koji su u svojim diplomskim radovima samostalno osmislili i razrešili nekoliko idejno predočenih problema, čime su dali značajan doprinos kompletiranju i konačnom uobličavanju do sada postojećih rezultata iz ove oblasti naučnog istraživanja.

Okosnoća ove monografije počiva na savremenoj teoriji upravljanja i postavlja i razrešava niz veoma složenih pitanja neljabunovske stabilnosti posebnih klasa, sistema automatskog upravljanja U tom smislu izloženi su brojni radovi eminentnih naučnika i osvedočenih autoriteta iz ove oblasti, kao i izvestan broj radova samog autora iz ove, uvek aktuelne i više nego provokativne oblasti savremene teorije upravljanja i stabilnosti.

Monografija podržava aktuelne trendove u ovoj oblasti i predstavlja uobličan, rafiniran, selektivan i prilagođen tekst preuzet iz savremenih radova objavljenih u prestižnim međunarodnim časopisima najvišeg ranga a i monografija koje se bave opštim pitanjima problema neljabunovske stabilnosti.

U tom smislu ona se nadovezuje se na dva prethodna monografska izdanja, i u potpunosti je posvećene identičnoj problematici sa posebnim osvrtom na savremene trendove u izučavanju tzv. *stohastičke stabilnosti na konačnom vremenskom intervalu* kako za kontinualne tako i za diskretne sisteme automatskog upravljanja.

Prirodno u njoj se nalazi i izvestan broj najnovijih radova koji nastavljaju tradiciju prethodnih, nadograđujući ih, prvenstveno idejno a u izvesnom smislu i metodološki.

Već duži niz godina postoji nasušna potreba, da se na ovdašnjim i sadašnjim naučnim i akademskim prostorima, pojavi jedno ovakvo štivo koje bi zainteresovanim čitaocima pružila 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.

Postupci analize ovde razmatranih sistema, dati su uopšteno tako da se ne odnose samo na mašinske sisteme pa monografija, u tom smislu, može da posluži svima koji se šire bave teorijom stabilnosti i konkretnom aplikacijom ovih rezultata u praksi.

Ova monografija će, sigurno, po svom sadržaju zainteresovati i stručnjake specijalizovane za naučno – istraživački rad, pa će autor biti zahvalni na svim sugestijama u pogledu obima i načina prezentovanja izložene materije i jasno eventualnog poboljšanja kvaliteta njenog sadržaja.

Dr Svetislavu Zariću, redovnom profesoru u penziji i Dr Mihailu P. Lazareviću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu zahvalni smo na korisnim sugestijama i trudu oko recenzije.

A u t o r i

Beograd, april 2013. god.

*Jarčevi gube bitke,
ali ne i ratove
D. Lj.D.*

SADRŽAJ

OSOBI NE I SPECIFI ČNOSTI KLASA RAZMATRANIH SISTEMA

I KONTINUALNI SINGULARNI SISTEMI	1
1. UVODNA RAZMATRANJA	1
2. NASTANAK I KRAĆI PREGLED REZULTATA POSTIGNUTIH NA POLJU PROUČAVANJA SINGULARNIH SISTEMA	4
3. PRIRODA I OSOBENOSTI LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA	5
4. KLASIFIKACIJA I PODELA SINGULARNIH SISTEMA	6
5. DINAMIČKO PONAŠANJE SINGULARNIH SISTEMA	8
6. PRIMERI I RAZLOZI POJAVLJIVANJA SINGULARNIH SISTEMA	8

7. REŠLJIVOST LINEARNOG SINGULARNOG SISTEMA DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA SA KONSTANTNIM KOEFICIJENTIMA	10
8. KONZISTENTNI POČETNI USLOVI	17
9. PRENOSNA FUNKCIJA I IMPULSNO PONAŠANJE SINGULARNOG SISTEMA	20
9.1 Prenosna funkcija	20
9.2 Impulsno ponašanje	22
10. REŠAVANJE SISTEMA SINGULARNIH DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA	30
10.1 Snižavanje reda sistema	32
10.2 Rešenja u vremenskom domenu	33
10.3 Sekvencijalna aproksimacija singularnih sistema	34
10.4 Rešenja sistema korišćenjem Laplace-ove transformacije	35
11. STABILNOST I USKLADIVANJE SINGULARNIH SISTEMA	36
12. PODEŠAVANJE STRUKTURE SISTEMA	39
Literatura	40
II DISKRETNI DESKRIPTIVNI SISTEMI	43
13. UVODNA RAZMATRANJA	43
14. REŠLJIVOST LINEARNIH SINGULARNIH DIFERENCNIH JEDNAČINA SA KONSTANTNIM KOEFICIJENTIMA	45
15. KONZISTENTNI POČETNI USLOVI DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA	50

16. ODREĐIVANJE	
REŠENJA SINGULARNOG SISTEMA	
DIFERENCNIH JEDNAČINA I KRETANJE	
DESKRIPTIVNOG SISTEMA U PROSTORU STANJA	54
16.1 Slobodni radni režim	54
16.2 Prinudni radni režim	56
16.3 Prilaz sa pozicija kanoničkih formi	58
17. MATRICA	
PRENOSNIH FUNKCIJA	
DISKRETNOG DESKRIPTIVNOG SISTEMA	60
18. FUNDAMENTALNA MATRICA	
DISKRETNOG DESKRIPTIVNOG SISTEMA	64
19. RELIZACIJA	
DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA	70
19.1 Realizacija diskretnih deskriptivnih	
sistema pomoću parametara Markova	70
19.1.1 Formulacija problema	71
19.1.2 Algoritam minimalne realizacije	74
19.2 Realizacija diskretnih deskriptivnih sistema	
pomoću parametara i momenata Markova	76
19.2.1 Formulacija problema	77
Literatura	82

III VREMENSKI

KONTINUALNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM

20. OPŠTA RAZMATRANJA	87
20.1 Priroda i osobenosti fenomena kašnjenja	
u prenosu signala u fizičkim procesima	88
20.2 Klasifikacija kontinualnih sistema sa kašnjenjem	89
20.3 Mogućnosti rešavanja	
diferencijalnih jednačina sa pomerenim argumentom	91
20.4 Mogućnost analize kontinualnih sistema sa kašnjenjem	94
20.4.1 Uvod	94

IV VREMENSKI

DISKRETNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM 104

21. OPŠTA RAZMATRANJA 104

21.1 Priroda i osobenosti fenomena kašnjenja u prenosu signala u fizičkim procesima 105

21.2 Klasifikacija diskretnih sistema sa kašnjenjem 106

21.3 Mogućnosti rešavanja diferencnih jednačina sa pomerenim argumentom 106

21.4 Mogućnost analize diskretnih sistema sa kašnjenjem 111

21.5 Metode analize diskretnih sistema sa kašnjenjem 119

21.5.1 Odziv diskretnih sistema u vremenskom domenu 119

21.5.2 Kretanje diskretnih sistema sa kašnjenjem u prostoru stanja 120

Literatura 122

V VREMENSKI

KONTINUALNI SINGULARNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM 125

22. UVODNA RAZMATRANJA 125

23. NEKA OPŠTA PITANJA

DINAMIKE SINGULARNIH SISTEMA

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM 127

23.1 Kanoničke forme 127

23.2 Opšta rešenja sistema singularnih diferencijalnih jednačina sa čistim vremenskim kašnjenjem 128

23.2.1 Prilaz Campbell 128

23.2.2 Prilaz Wei 134

Literatura 138

VI VREMENSKI	
DISKRETNİ DESKRIPTIVNI SISTEMI	
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM	139
24. UVODNA RAZMATRANJA	139
Literatura	140

NEKA PITANJA OPŠTE TEORIJE STABILNOSTI SISTEMA

VII OPŠTA RAZMATRANJA	141
25. SAVREMENI KONCEPTI U TEORIJI UPRAVLJANJA I STABILNOSTI SISTEMA	141
25.1 Uvodna razmatranja	141
25.2 O stabilnosti sistema	142
25.3 Pregled nekih bazičnih koncepta stabilnosti sistema	146
25.3.1 Neka opšta pitanja teorije stabilnosti sistema u smislu Ljapunova	147
25.3.2 Neka opšta pitanja teorije praktične stabilnosti i stabilnosti na konačnom vremenskom intervalu	148
25.3.3 Još neka značajna pitanja ljapunovske teorije stabilnosti	151
25.3.4 Kraće podsećanje na neke definicije i teoreme vezane za izučavanje ljapunovske stabilnosti sistema	154
25.3.5 Kraće podsećanje na neke definicije i teoreme vezane za izučavanje stabilnosti tipa “Ograničeni ulaz–ograničeni izlaz”	156
25.3.6 Kraće podsećanje na neke definicije i teoreme vezane za izučavanje tehničke stabilnosti	158
Literatura	160
26. NEOPHODNA TUMAČENJA I DEFINICIJE	161
26.1 O definicijama stabilnosti	161
Literatura	190

STABILNOST POSEBNIH KLASA SISTEMA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU

VIII VREMENSKI KONTINUALNI LINEARNI I NELINEARNI SISTEMI	191
27. HRONOLOŠKI PREGLED POSTIGNUTIH REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	191
Literatura	198
28. STOHAŠTIČKA STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU I ANALIZA SAVREMENIH PRATEĆIH SISTEMA	203
28.1 Uvod	203
28.2 Terminologija	206
28.3 Glavni rezultati – teoreme	209
Literatura	231
29. POTREBNI I DOVOLJNI USLOVI ZA STABILNOSTI LINEARNIH SISTEMA NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	233
29.1 Uvod	233
29.2 Označavanje, preliminarni rezultati i postavka problema	234
29.3 Glavni rezultati	237
29.3.1 Potrebni i dovoljni uslovi stabilnosti na konačnom vremenskom intervalu i ograničenosti na konačnom vremenskom intervalu	237
29.3.2 Dovoljni uslovi ograničenosti na konačnom vremenskom intervalu sa nenultim početnim stanjem	240
Literatura	241

IX VREMENSKI DISKRETNII	
LINEARNI I NELINEARNI SISTEMI	243
30. HRONOLOŠKI	
PREGLED POSTIGNUTIH	
REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA	
PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI	
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	243
Literatura	246
31. STABILNOST	
SKUPA ZA DIFERENCNE JEDNAČINE	247
31.1 Uvod	247
31.2 Preliminarna razmatranja	247
31.3 Stroga negativna određenost	
i veza sa osobinom stabilnosti	249
Literatura	256
32. STABILNOST	
NA KONAČNOM VREMENSKOM	
INTERVALU NELINEARNIH MREŽA POZNATOG	
MATEMATIČKOG MODELA: Deterministički slučaj	257
32.1 Uvod	257
32.2 Formulacija problema	258
32.3 Upravljački sistemi na bazi mreža i mreže	263
32.3.1 Deterministički model za paket osipanja	263
32.4 Stabilnost na konačnom vremenskom intervalu	265
32.5 Analiza proširene determinističke	
stabilnosti na konačnom vremenskom intervalu	268
32.6 Primeri	272
Literatura	275
33. STABILNOST	
NA KONAČNOM VREMENSKOM	
INTERVALU NELINEARNIH MREŽA POZNATOG	
MATEMATIČKOG MODELA: Stohastički slučaj	277
33.1 Uvod	277
33.2 Formulacija problema	278

33.3 Stohastička stabilnost	
na konačnom vremenskom intervalu	283
33.3.1 Granice izlazne verovatnoće	284
33.3.2 Analiza stohastičke stabilnosti	
na konačnom vremenskom intervalu	286
33.3.3 Stohastička stabilnost	
na konačnom vremenskom intervalu	
za sisteme upravljanja na bazi mreža (FTSS)	288
33.3.4 Stohastička sinteza sistema	
na konačnom vremenskom intervalu	291
33.4 Primeri	294
Literatura	297
X VREMENSKI KONTINUALNI	
LINEARNI SINGULARNI SISTEMI	299
34. HRONOLOŠKI	
PREGLED POSTIGNUTIH	
REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA	
PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI	
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	299
Literatura	302
35. UPRAVLJANJE NA KONAČNOM	
VREMENSKOM INTERVALU	
LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA	
SA PARAMETARSKIM NEIZVESNOSTI	
I U PRISUSTVU DELOVANJA POREMEĆAJA	307
35.1 Uvod	307
35.2 Postavka problema	308
35.3 Osnovni rezultati	310
35.4 Numerički primer	313
Literatura	314
XI VREMENSKI DISKRETNi	
LINEARNI DESKRIPTIVNI SISTEMI	315
36. HRONOLOŠKI	
PREGLED POSTIGNUTIH	
REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA	
PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI	
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	315
Literatura	317

37. STABILNOST	
DISKRETNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA	
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	319
37.1 Uvod	319
37.2 Formulacija i rešenje problema	321
Literatura	328

XII VREMENSKI

KONTINUALNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM	331
---	-----

38. HRONOLOŠKI	
PREGLED POSTIGNUTIH	
REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA	
PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI	
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	331
Literatura	333

39. STABILNOST NA	
KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	
LINEARNIH VREMENSKI KONTINUALNIH	
SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM:	
Kratka rekapitulacija prethodnih rezultata	335
39.1 Uvod	335
39.2 Vremenski kontinualni sistemi	
sa čistim vremenskim kašnjenjem	335
39.2.1 Vremenski kontinualni sistemi	
sa čistim vremenskim kašnjenjem:	
Stabilnost na konačnom vremenskom intervalu	335
Literatura	339

40. STABILNOST NA	
KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	
LINEARNIH VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA	
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM: Novi rezultati	343
40.1 Uvodna razmatranja	343
40.2 Oznake i preliminarna razmatranja	344
40.3 Glavni rezultati	345
40.4 Numericki primeri	353
Literatura	366

XIII VREMENSKI

DISKRETNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM 369

41. HRONOLOŠKI PREGLED POSTIGNUTIH REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	369
--	-----

Literatura	370
------------------	-----

42. STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU LINEARNIH VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM: LMI PRILAZ	373
---	-----

42.1 Uvodna razmatranja	373
-------------------------------	-----

42.2 Glavni rezultati	374
-----------------------------	-----

Literatura	381
------------------	-----

43. STABILNOST NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU LINEARNIH VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM: KLASIČAN PRILAZ	383
---	-----

43.1 Uvodna razmatranja	383
-------------------------------	-----

43.2 Glavni rezultati – klasičan prilaz	383
---	-----

Literatura	387
------------------	-----

XIV VREMENSKI

KONTINUALNI

LINEARNI SINGULARNI SISTEMI

SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM 389

44. HRONOLOŠKI PREGLED POSTIGNUTIH REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	389
--	-----

Literatura	390
------------------	-----

45. DINAMIKA VREMENSKI KONTINUALNIH LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM	391
---	-----

45.1 Uvodna razmatranja	391
45.2 Neka opšta pitanja dinamike sigularnih sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem	392
Literatura	394
46. PRAKTIČNA STABILNOST SINGULARNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM ODREĐENA ISKLJUČIVO NA OSNOVU DVA MERENJA	395
46.1 Uvod	395
46.2 Preliminarna razmatranja i definicije	396
46.3 Glavni rezultati	398
46.3.1 Paralela Lyapunov–ljevim rezultatima	398
46.3.2 Rezultati preko principa poređenja	401
46.3.3 Primena na posebnu klasu singularnih sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem	405
Literatura	407
47. UNIFORMNA PRAKTIČNA STABILNOSTI LINEARNIH SINGULARNIH SISTEMA SA BESKONAČNIM VREMENSKIM KAŠNENJEM ODREĐENA ISKLJUČIVO NA OSNOVU DVA MERENJA: NOVI PRISTUP	409
47.1 Uvod	409
47.2 Uvodne napomene	410
47.3 Glavni rezultati	412
47.4 Primena	417
Literatura	422
48. KONTINUALNI LINEARNI SINGULARNI SISTEMI SA KAŠNENJEM: MODERNI LMI PRILAZ	423
Literatura	434
XV VREMENSKI DISKRETN LINEARNI DESKRIPTIVNI SISTEMI SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM	437
49. HRONOLOŠKI PREGLED POSTIGNUTIH REZULTATA NA POLJU IZUČAVANJA PRAKTIČNE STABILNOSTI I STABILNOSTI NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU	437
Literatura	438

50. DINAMIKA VREMENSKI DISKRETNIH LINEARNIH DESKRIPTIVNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM	439
50.1 Uvodna razmatranja	439
Literatura	439
51. DISKRETNİ DESKRIPTIVNI SISTEMI SA KAŠNJENJEM: MODERNI LMI I KLASIČNI PRILAZ	441
Literatura	448
XVI DODACI	
DODATAK A – Oznake	449
DODATAK B – Izvodi iz linearne algebre	455
Literatura	464
DODATAK C – Drazinova i Moore – Penrose – ova inverzija matrica	465
Literatura	480
DODATAK D – Ekvivalentnost singularnih sistema	481
Literatura	482
DODATAK E – Neki izvodi iz teorije funkcija	483
Literatura	484
DODATAK F – Normirani vektorski prostori	485
Literatura	488
DODATAK G – Izvod iz teorije skupova	489
G.1 Preliminarna razmatranja	489
G.2 Osnovne operacije nad skupovima	490
G.3 Algebra skupova	493
G.4 Još neke značajne osobine skupova	493
Literatura	494
Dodatak H – Matrična mera	495
Literatura	496
Dodatak I – Schur–ov komplement	497
Literatura	499