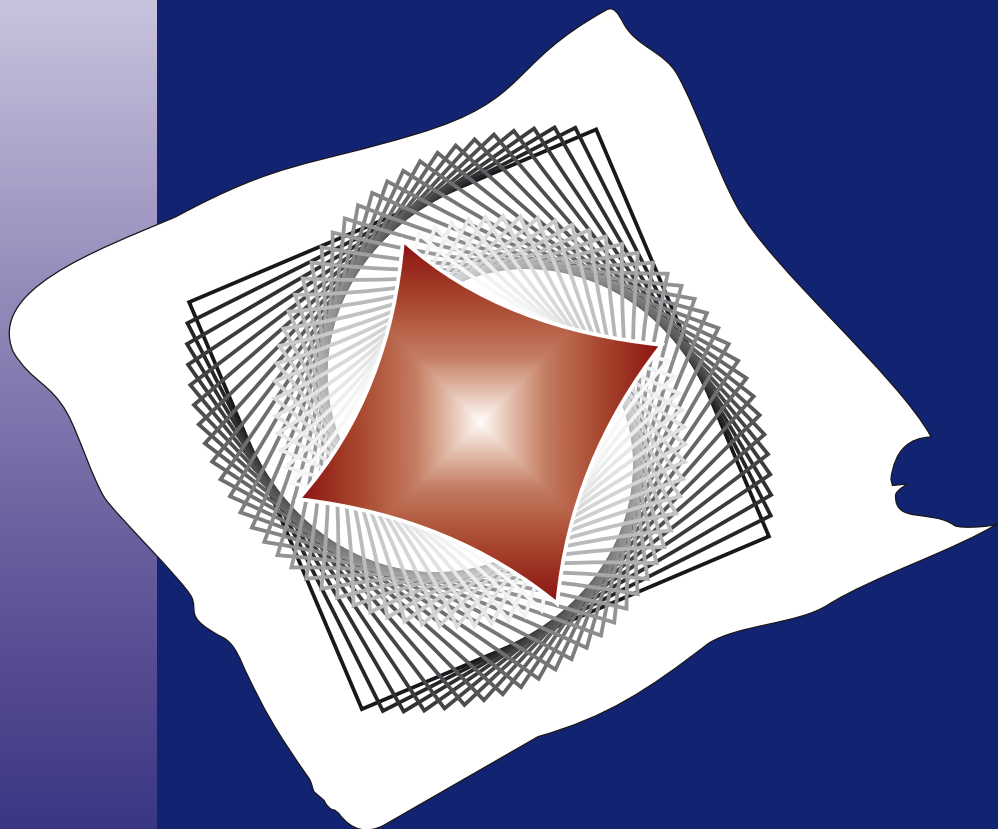


# SAVREMENE METODE PROJEKTOVANJA LINEARNIH SISTEMA

D. Lj. Debeljković  
D. N. Popov





**Dr Dragutin Lj. Debeljković**  
**Dr Dejan N. Popov**

---

**SAVREMENE METODE**  
**PROJEKTOVANJA LINEARNIH SISTEMA**

**Mašinski fakultet**  
**Univerziteta u Beogradu**  
**2011**

Dr *Dragutin* Lj. **Debeljković**, redovni profesor  
Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr *Dejan* N. **Popov**, docent  
Fakulteta za poslovne studije Megatrend univerziteta

## **Savremene metode projektovanja linearnih sistema**

### *Monografija*

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 35, Kraljice Marije 16

Za izdavača: Dekan

*Glavni i odgovorni urednik*  
Dr Aleksandar Obradović, prof.

*Odobreno za štampu*  
odlukom *Dekana* br. 175/10 od 02.12.2010.god.

Beograd, 2011  
Tiraž: 200 primeraka

*Štampa: PLANETA print*  
ISBN 978 – 86 – 7083 – 718 – 8

---

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

**Dr Dragutin Lj. Debeljković**  
**Dr Dejan N. Popov**

**SAVREMENE METODE**  
**PROJEKTOVANJA LINEARNIH SISTEMA**

**Mašinski fakultet**  
**Beograd 2011**

## **Zahvalnost**

*Izdanje ove  
naučne monografije  
finansijski je pomoglo*

**Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije**  
*na čemu su Ministarstvu autori neizmerno i duboko zahvalni*

## ***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, 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.

Počev od daleke 1930-te godine linearni skalarni sistemi intenzivno se proučavaju sa više različitih stanovišta a korišćenjem klasičnih prilaza među kojima dominiraju tehnike vezane za korišćenje frekventnog i kompleksnog domen. Nešto kasnije se uviđa da je primena tih metoda ograničena i da klasičan prilaz izučavanju sistema sa pozicija ulazno – izlaznih relacija ne može kvalitetno da odgovori da na čitav niz značajnih pitanja dinamičke analize i sinteze kako vremenski stacionarnih tako i vremenski nestacionarnih, najopštijih klasa, sistema upravljanja.

Polazeći od pionirskih radova Bellmana i Kalmana, evidentni nedostaci klasične teorije, bivaju otklonjeni, prevaziđeni i razrešeni novom modernom teorijom upravljanja zasnovanoj na konceptu stanja dinamičkih sistema. Sveobuhvatno i rigorozno definisanje pojma stabilnosti i uvođenje čitavog niza novih koncepata kao što su: upravljivost, osmotrivost, optimalnost, osetljivost, robusnost, svodljivost, minimalnost i nekih drugih snažno su podstakli otvaranje i celovito i uspešno rešavanje ovih značajnih pitanja.

Uporedo sa time diskretno se nametnula logična potreba da se pomenuti koncepti prošire i na višestruko prenosne sisteme upravljanja, jedine skladne i verne reprezentate dinamičkog ponašanja realnih sistema.

U tom smislu tradicionalno se započelo sa proširivanjem prilaza baziranog na korišćenju racionalnih prenosnih funkcija na sisteme sa više ulaza i više izlaza. Ovo prirodno proširenje, oličeno kroz matricne prenosne funkcije, bilo je predmet interesovanja velikog broja naučnika inspirisanih potrebom da se koristeći umerenu analogiju sa skalarnim slučajem, postojeći matematički aparat skladno i efikasno uklopi i iskoristi u proučavanju racionalnih matrica kao verodostojnih matematičkih modela višestruko prenosnih sistema u kompleksnom domenu.

Ova početna euforija, dobila je nešto kasnije, jedan umereniji tok kada se shvatilo da opis višestruko prenosnih sistema kroz ulazno – izlazne relacije i prostor stanja predstavljaju samo dva ekstrema od celog spektra mogućih opisa linearnih konačno dimenzionih sistema. Pokazalo se, naime, da se može uspešno operisati sa bilo kojim od ovih prilaza, da je takođe moguće nesmetano izvršiti prevođenje dobijenih rezultata iz jednog domena u drugi a da je nekada daleko celishodnije raditi sa tzv. hibridnim – parcijalno – prostornim opisom.

Glavno obeležje višestruko prenosnih sistema predstavlja prisustvo interakcija kao posledica prisustva dva ili više ulaza, čije se istovremeno ili pojedinačno dejstvo prenosi i reperkutuje na sve ili samo neke izlazne veličine sistema. Veoma je čest slučaj da višestruko prenosni objekti upravljanja, pored inherentne povratne sprege, ostvaruju i tzv. ukrštene sprege koje se ogledaju u međusobnom delovanju jedne izlazne veličine na drugu i/ili na više njih. Ovako složene strukture uslovljavaju čitav niz ozbiljnih poteškoća kako u analizi tako i u sintezi višestruko prenosnih sistema. Dovoljno je samo istaći i postaviti u prvi plan pitanje fizičke ostvarljivosti koja se, u formi tzv. korektno definisanog problema, imperativno nameće kao realni zahtev u njihovoj praktičnoj realizaciji.

Mimo toga, dobro je poznato da je prelaz sa vektorske diferencijalne jednačine stanja i jednačine izlaza u kompleksni domen jednoznačan. Nažalost, obrnuto ne važi i u vezi sa tim postavlja se pitanje iznalaženja minimalne realizacije modela u prostoru stanja kao jednog veoma važnog i složenog problema za rešavanje.

Osnovna ideja projektovanja ove klase sistema ide najčešće u pravcu izbora takvih uskladnika koji, implementirani u sistem u otvorenom kolu dejstva, treba da obezbede da u zatvorenom kolu dejstva u celini potpuno bude lišen međusobnih interakcija ili da njihov nivo u sistemu bude sveden na minimum.

Pitanja optimizacije i izbora optimalnog upravljanja ove klase sistema bila su predmet intenzivnog izučavanja u ovoj monografiji. Pored klasičnih pitanja, koja su solidno obrađena, veliki prostor posvećen je bio novim, savremenim tendencijama koja idu u pravcu tzv. metode projekcijskih upravljanja, kao jedne od moćnih sub-optimalnih poatupaka i u nešto manjoj meri kvadratnim kriterijumima i njihovoj riguroznoj primeni u savremenim zadacima upravljanja.

Dosta prostora posvećeno je analizi i sintezi višestruko prenosnih sistema sa pozicija modalne teorije.

Imajući u vidu, da je u realnim uslovima rada, projektantu praktično dostupna samo delimična (okrnjena) informacija o ponašanju sistema i da budemo jasni, dostupni su samo merljivi izlazi, korišćenje savremenih observera, u cilju moguće rekonstrukcije stanja sistema, predstavlja uvek snažan izazov kako teorijsku tako i praktičnu sferu njihove implementacije.

Uz sve to, mnogi zadaci upravljanja, bar sa teorijske tačke gledišta, znatno se uprošćavaju ukoliko se iskoriste odgovarajuće kanoničke forme o kojima je ovde bilo dosta reči, posebno u kontekstu izloženih metoda za podešavanje polova.

Ovo štivo podržava aktuelne trendove u ovoj oblasti i predstavlja uobličeni, rafiniran, selektivan i prilagođen tekst preuzet iz savremenih monografija i osvedočeno kvalitetnih naučnih radova koje se bave najopštijim pitanjima višestruko prenosnih sistema i predstavlja, u najmanju ruku, prirodan nastavak i proširenje problematike publikovane u prethodnoj monografiji autora sa istim tematskim naslovom.

Već duži niz godina postoji nasušna potreba, da se na ovdašnjim i sadašnjim naučnim 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 i visokom matematikom opterećene problematike a što je i bila glavna preokupacija autora, bez ikakvih pretenzija da se, u ovom trenutku, ponudi i nešto više.

Postupci analize i projektovanja ovih 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 sistema i problemima upravljanja, iako je prvenstveno namenjena doktorantima odseka za automatsko upravljanje Mašinskog fakulteta.

Ova knjiga će po svom sadržaju zainteresovati i stručnjake specijalizovane za istraživački i praktičan rad, pa će autori biti zahvalni na svim sugestijama u pogledu poboljšanja kvaliteta njenog sadržaja.

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

*Beograd, juni 2011. god.*

**A u t o r i**



*SAVREMENE METODE  
PROJEKTOVANJA  
LINEARNIH  
SISTEMA*



# SADRŽAJ

## OPŠTI DEO

<b>I NEKA OPŠTA PITANJA TEORIJE VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	1
1. UVOD .....	3
Literatura .....	5
<b>2. PRIRODA I OSOBENOSTI VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	7
Literatura .....	15
<b>3. PROJEKTOVANJE SISTEMA SA JEDNOM POVRATNOM SPREGOM</b> .....	17
3.1 Osvrt na elementarni oblik povratne sprege i rekapitulacija nekih osnovnih pojmova .....	17
3.2 Standardni problem .....	23
3.3 Fundamentalne relacije .....	27
3.4 Moguća rešenja .....	30
3.5 Dva prilaza projektovanju .....	36
3.6 Ograničenja performansi .....	38
3.6.1 Odnos pojačanja i faze .....	38
3.6.2 Nule u desnoj poluravni .....	40
3.6.3 Polovi u desnoj poluravni .....	44
3.6.4 Bodeova integralna teorema .....	46
Literatura .....	48

# OPŠTA TEORIJA NULA I POLOVA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA

<b>II NULE I POLOVI LINEARNIH VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	51
<b>4. POLOVI I NULE LINEARNIH VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	52
4.1 Uvodna razmatranja .....	52
4.2 Smith-McMillan-ov oblik matrice prenosne funkcije .....	55
4.3 Polovi i nule matrice prenosne funkcije .....	60
4.4 Opis matrice prenosne funkcije (MFD) .....	63
4.5 Realizacija matrice prenosne funkcije u prostoru stanja .....	65
4.6 Koliko nula? .....	67
Literatura .....	70
<b>5. INVARIJANTNE NULE VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	71
<b>5.1 Geometrijska analiza</b> .....	71
5.1.1. Uvodna razmatranja .....	71
5.1.2 Geometrijska definicija invarijantnih nula .....	72
5.1.3 Algebarski proizvod i podela prostora stanja .....	75
5.1.4 Više granice za $n_z$ . .....	78
5.1.5 Nule sistema .....	81
5.1.6 Nule i stanje povratne sprege. Fizička interpretacija .....	82
<b>5.2 Napomene o nizu mogućnosti proširenja metode geometrijskog mesta korenova na savremene višestruko prenosne sisteme</b> .....	85
5.2.1 Uvodna razmatranja .....	85
5.2.2 Stepni red proširivanja beskonačne nule .....	85
5.2.3 Ponašanje konačnih pojačanja .....	88
Literatura .....	90

# OPŠTA TEORIJA MODALNOG UPRAVLJANJA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA

<b>III MODALNO UPRAVLJANJE VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	91
<b>6. MODALNA TEORIJA LINEARNIH STACIONARNIH SISTEMA</b> .....	91
<b>6.1 Modalna analiza</b> .....	91
<b>6.2 Upravlјivost i osmotrivost</b> .....	97
Literatura .....	101
<b>7. SINTEZA U DOMENU SOPSTVENIH VREDNOSTI: MODALNO UPRAVLJANJE</b> .....	103
<b>7.1 Uvod</b> .....	103
<b>7.2 Sistem sa jednim ulazom:     promena jedne realne sopstvene vrednosti</b> .....	104
<b>7.3 Sistem sa jednim ulazom:     promena više realnih sopstvenih vrednosti</b> .....	107
<b>7.4 Praktičan primer:     upravlјanje modovima     ugla naginјanja aviona i     brzine obrtanja aviona oko uzdužne ose</b> .....	108
7.4.1 Karakteristike otvorenog sistema .....	108
7.4.2 Upravlјanje modom ugla naginјanja aviona .....	111
7.4.3 Upravlјanje modom brzine obrtanja aviona oko uzdužne ose .....	111
7.4.4 Istovremeno upravlјanje modovima ugla naginјanja i brzine obrtanja aviona .....	112
<b>7.5 Sistem sa jednim ulazom: promena više     realnih ili kompleksnih sopstvenih vrednosti</b> .....	113
<b>7.6 Sistem sa više ulaza: promena više     realnih ili kompleksnih sopstvenih vrednosti</b> .....	118
Literatura .....	119

# OPTIMALNO UPRAVLJANJE VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA

<b>IV OPTIMIZACIJA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA</b> .....	121
<b>8. OPTIMIZACIJA KONTINUALNIH VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA</b> .....	121
8.1 Uvod .....	121
8.2 Analiza kriterijuma optimalnosti .....	122
8.3 Optimizacija i ograničenja .....	127
8.4 Metode optimizacije .....	130
8.5 Primena klasičnog varijacionog računa .....	130
8.6 Koncept dinamičkog programiranja .....	134
8.7 Dinamičko programiranje i pontryagin-ov princip .....	137
8.8 Pontryagin-ovi principi za vremenski nestacionarne i stacionarne sisteme .....	140
8.9 Dinamička optimizacija linearnih sistema .....	147
8.10 Optimalno upravljanje sa ograničenjem vektora stanja .....	155
8.11 Optimalnost uz nefiksiranu početnu ili krajnju tačku - uslovi transverzalnosti .....	166
Literatura .....	172
<b>9. OPTIMIZACIJA LINEARNIH SISTEMA: KVADRATNIM KRITERIJUMOM OPTIMALNOSTI</b> .....	173
9.1 Uvod .....	173
9.2 Sinteza linearnih vremenski nestacionarnih optimalnih sistema pomoću kvadratnog kriterijuma optimalnosti .....	173
9.3 Sinteza linearnih stacionarnih optimalnih sistema pomoću kvadratnog kriterijuma optimalnosti .....	178
9.4 Optimalno regulisanje greške vektora izlaza .....	182

9.5 Asimptotske osobine optimalnih regulatora .....	184
9.6 Izbor težinskih matrica optimalnih regulatora .....	193
Literatura .....	203

## **V SUBOPTIMALNO UPRAVLJANJE**

### **VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA .... 205**

#### **10. METODA PROJEKCIONIH UPRAVLJANJA .....** 205

##### **10.1 Uvod .....** 205

10.1.1 Sinteza regulatora primenom metode projekcionih upravljanja .....	206
---	-----

##### **10.2 Sinteza regulatora**

<b>u sistemima sa centralizovanom informacionom i upravljačkom strukturom .....</b>	<b>207</b>
---	------------

10.2.1 Sinteza regulatora u sistemima na koje ne deluju spoljašnji poremećaji .....	207
--	-----

10.2.1.1 Sinteza statičkog regulatora .....	208
---	-----

10.2.1.2 Sinteza dinamičkog regulatora .....	212
--	-----

10.2.2 Sinteza regulatora u sistemima na koje deluju spoljašnji poremećaji .....	218
---	-----

10.2.2.1 Sinteza PI regulatora .....	219
--------------------------------------	-----

10.2.2.2 Sinteza PID regulatora .....	223
---------------------------------------	-----

10.2.2.3 Sinteza generalisanog PID regulatora .....	226
---	-----

##### **10.3 Sinteza regulatora**

<b>u sistemima sa decentralizovanom informacionom i upravljačkom strukturom .....</b>	<b>229</b>
---	------------

10.3.1 Sinteza regulatora u sistemima na koje ne deluju spoljašnji poremećaji .....	229
--	-----

10.3.2 Sinteza regulatora u sistemima na koje deluju spoljašnji poremećaji .....	232
---	-----

Literatura .....	236
------------------	-----

## **VI NEKA PITANJA ANALIZE I SINTEZE**

### **OPTIMALNIH VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA U VREMENSKOM DOMENU .....** 239

#### **11. ANALIZA OPTIMALNIH**

<b>LINEARNIH SISTEMA U VREMENSKOM DOMENU .....</b>	<b>239</b>
--	------------

<b>11.1 Višestepeni proces odlučivanja</b> .....	239
<b>11.2 Indeksi performanse vremensko domena</b> .....	240
11.2.1. Upravljanje sa minimumom vremena (vremenskim minimumom) .....	240
11.2.2 Završni problem upravljanja .....	241
11.2.3 Problem upravljanja sa minimalnim integralom .....	241
<b>11.3 Princip optimalnosti</b> .....	241
<b>11.4 Diskretno dinamičko programiranje</b> .....	243
11.4.1 Sistemi sa skalarnim jednačinama stanja .....	243
11.4.2 Linearni vremenski nezavisni sistemi sa skalarnim jednačinama stanja i kvadratnim indeksima performanse .....	246
11.4.3 Sistemi sa vektorskim jednačinama stanja .....	248
11.4.4 Linerni vremenski nezavisni sistemi sa vektorskim jednačinama stanja i kvadratnim indeksima performansi .....	250
<b>11.5 Kontinualno dinamičko programiranje</b> .....	250
11.5.1 Sistemi sa skalarnim jednačinama stanja .....	250
11.5.2 Linearna vremenski nepromenljivi sistemi sa skalarnom jednačinom stanja i kvadratnim integralom performansi .....	252
11.5.3 Sistemi sa vektorskim jednačinama stanja .....	254
11.5.4 Linearno vremenski invarijantni sistemi sa vektorskom jednačinom stanja i kvadratnim integralom performansi .....	255
Literatura .....	257
<b>12. SINTEZA</b>	
<b>OPTIMALNIH LINEARNIH</b>	
<b>SISTEMA U VREMENSKOM DOMENU</b> .....	259
<b>12.1 Uvod</b> .....	259
<b>12.2 Sinteza optimalnih sistema vešanja (amortizera)</b> .....	260
12.2.1 Sistemi sa jednim stepenom slobode .....	260
12.2.2 Sistem sa dva stepena slobode .....	264
<b>12.3 Sinteza modela pratećih sistema</b> .....	269
12.3.1 Model u indeksu performansi .....	269
12.3.2 Model u sistemu .....	274



<b>12.4 Hodograf kvadratnog korena</b> .....	277
12.4.1 Uopštena teorija .....	277
12.4.2 Jednostruko prenosni sistemi .....	281
12.4.3 Višestruko prenosni sistemi .....	283
Literatura .....	285

## **PROJEKTOVANJE OBSERVERA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA**

<b>13. ASIMPTOTSKI OBSERVERI I PROJEKTOVANJE SPREGE OBSERVERA I USKLADNIKA</b> .....	287
<b>13.1 Asimptotski observeri za procenu stanja</b> .....	287
<b>13.2 Određivanje pojačanja oservera</b> .....	290
<b>13.3 Sprega uskladnika (regulatora) i observera</b> .....	291
<b>13.4 Određivanje prenosne funkcije i princip separacije</b> .....	293
<b>13.5 Primeri</b> .....	295
<b>13.6 Observeri sniženog reda</b> .....	299
<b>13.7 Primeri</b> .....	302
<b>13.8 Izbor optimalnih polova observera</b> .....	306
<b>13.9 Direktni postupak     projektovanja pomoću prenosne funkcije</b> .....	307
<b>13.10 Observeri punog reda</b> .....	308
<b>13.11 Observeri sniženog reda</b> .....	311
<b>13.12 Observer     i sprega uskladnika     i observera kod višestruko prenosnih sistema</b> .....	312
13.12.1 Projektovanje observera .....	312
13.12.2 Određivanje pojačanja observera .....	314
13.12.3 Sprega observera i uskladnika .....	315
Literatura .....	316

# METODE PODEŠAVANJA POLOVA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA

<b>VII NEKE ZNAČAJNE KANONIČKE FORME VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA .....</b>	<b>317</b>
<b>14. TRANSFORMACIJE IZMEĐU NEKIH KANONIČKIH FORMI ZA VIŠESTRUKO PRENOSNE VREMENSKI INVARIJANTNE LINEARNE SISTEME .....</b>	<b>317</b>
14.1 Uvod .....	317
14.2 Preliminarna razmatranja .....	318
14.3 Transformacije kanoničkih formi .....	321
Literatura .....	330
<b>15. KANONIČKE FORME ZA IDENTIFIKACIJU VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA .....</b>	<b>331</b>
15.1 Uvod .....	331
15.2 Osnovne definicije i preliminarna razmatranja .....	331
15.3 Kanoničke forme za determinističke višestruko prenosne linearne sisteme .....	334
15.4 Proširivanje kanoničkih formi na $\{(A,B,C)\}$ .....	345
15.5 Kanoničke forme izvedene iz hankel-ovih matrica .....	347
15.6 Primena kanoničkih formi u identifikaciji .....	348
Literatura .....	351
<b>VIII METODE PODEŠAVANJA POLOVA PO VELIČINAMA STANJA VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA .....</b>	<b>353</b>
<b>16. PODEŠAVANJE MODELA KORIŠĆENJEM POVRATNE SPREGE PO VELIČINAMA STANJA I DINAMIČKO USKLAĐIVANJE .....</b>	<b>353</b>
16.1 Uvod .....	353

16.2. Definicije i uvodna razmatranja .....	354
16.3 Suština i osobine strukturnog algoritma .....	357
16.4 Podešavanje modela korišćenjem povratne sprege po veličinama stanja .....	360
16.5 Podešavanje modela korišćenjem dinamičkog usklađivanja .....	364
Literatura .....	370
<b>17. POVRATNA SPREGA     PO VELIČINAMA STANJA     I INVERZNI SISTEM .....</b>	<b>371</b>
17.1 Uvod .....	371
17.2 Rastavljanje preko povratne sprege po veličinama stanja .... 371	
17.3 Levo inverzni sistem .....	381
Literatura .....	386
<b>IX METODE</b>	
<b>PODEŠAVANJA POLOVA     PO IZLAZNIM VELIČINAMA     VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA .....</b>	<b>387</b>
18. POVRATNA SPREGA PO OPTIMALNOM IZLAZU .....	387
Literatura .....	391
<b>X METODE PODEŠAVANJA     DINAMIČKOG PONAŠANJA     VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA     RELOKACIJOM SOPSTVENIH VREDNOSTI .....</b>	<b>393</b>
19. PROJEKTOVANJE SISTEMA SA POVRATNIM SPREGAMA KORIŠĆENJEM TEHNIKE RELOKACIJE SOPSTVENIH VREDNOSTI MATRICE SISTEMA U OTVORENOM KOLU DEJSTVA .....	393
19.1 Tehnika projektovanja komutativnog regulatora .....	394
19.2 Karakteristike prenosne funkcije i karakteristični pravci .....	397

19.3 Stabilnost sistema u zatvorenom kolu dejstva i karakteristični hodograf .....	399
19.4 Ponašanje u stacionarnom stanju i interakcija .....	404
Literatura .....	407

## DODACI

<b>XI DODACI</b> .....	409
DODATAK A - Spisak oznaka .....	409
DODATAK B – Neki primeri i zadaci vezani za optimizaciju sistema u vremenskom domenu .....	417
Literatura .....	423
DODATAK C – Neki konkretni problemi optimizacije .....	424
Literatura .....	429
DODATAK D – Optimalno upravljanje linearnim kontinualnim sistemima .....	430
<b>D.1 Određivanje optimalnog upravljanja</b> .....	431
D.1.2 Velika vrednost indeksa performanse ( $r \rightarrow \infty$ ) .....	432
D.1.3 Mala vrednost indeksa performanse ( $r \rightarrow 0$ ) .....	433
<b>D.2 Simetrični hodograf (GMK) i indeks performanse</b> .....	434
<b>D.3 Primeri</b> .....	435
<b>D.4 Algebarska Riccati-jeva jednačina</b> .....	437
<b>D.5 Povratna sprega po stanju     kod višestruko prenosnih sistema</b> .....	438
<b>D.6 Podešavanje polova     višestruko prenosnog sistema     sa povratnom spregom po stanju</b> .....	440
<b>D.7 Uticaj povratne sprege na osobine sistema</b> .....	442
<b>D.8 Klasična optimizacija višestruko prenosnih sistema</b> .....	443
Literatura .....	444