

<b>I NEKA OPŠTA PITANJA TEORIJE</b>	
<b>VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	1
1. UVOD .....	3
Literatura .....	5
2. PRIRODA I OSOBENOSTI	
<b>VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	7
Literatura .....	15
3. PROJEKTOVANJE SISTEMA	
<b>SA JEDNOM POVRATNOM SPREGOM</b> .....	17
3.1 Osvrt na elementarni oblik <b>povratne sprege</b> 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
<b>4.1 Uvodna razmatranja</b> .....	52
<b>4.2 Smith-McMillan-ov oblik matrične prenosne funkcije</b> .....	55
<b>4.3 Polovi i nule matrica prenosne funkcije</b> .....	60
<b>4.4 Opis matričnih frakcija prenosne funkcije (MFD)</b> .....	63
<b>4.5 Realizacija matrice prenosne funkcije u prostoru stanja</b> .....	65
<b>4.6 Koliko nula?</b> .....	67
Literatura .....	70
<b>5. INVARIJANTNE NULE VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA</b> .....	71
<b>5.1 Geometriška analiza</b> .....	71
5.1.1. Uvodna razmatranja .....	71
5.1.2 Geometriška 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</b> <b>o nizu mogućnosti proširenja</b> <b>metode geometrijskog mesta korenova</b> <b>na savremene višestruko prenosne sisteme</b> .....	85
5.2.1 Uvodna razmatranja .....	85
5.2.2 Stepeni red proširivanja beskonačne nule .....	85
5.2.3 Ponašanje konačnih pojačanja .....	88
Literatura .....	90

# OPŠTA TEORIJA MODALNOG UPRAVLJANJA VIŠESTRUKO PRENOSNIH LINEARNIH SISTEMA

## III MODALNO UPRAVLJANJE

<b>VIŠESTRUKO PRENOSNIH SISTEMA .....</b>	<b>91</b>
<b>6. MODALNA TEORIJA</b>	
<b>LINEARNIH STACIONARNIH SISTEMA .....</b>	<b>91</b>
<b>6.1 Modalna analiza .....</b>	<b>91</b>
<b>6.2 Upravljivost i osmotrivost .....</b>	<b>97</b>
Literatura .....	101
<b>7. SINTEZA</b>	
<b>U DOMENU SOPSTVENIH</b>	
<b>VREDNOSTI: MODALNO UPRAVLJANJE .....</b>	<b>103</b>
<b>7.1 Uvod .....</b>	<b>103</b>
<b>7.2 Sistem sa jednim ulazom:</b>	
<b>    promena jedne realne sopstvene vrednosti .....</b>	<b>104</b>
<b>7.3 Sistem sa jednim ulazom:</b>	
<b>    promena više realnih sopstvenih vrednosti .....</b>	<b>107</b>
<b>7.4 Praktičan primer:</b>	
<b>    upravljanje modovima</b>	
<b>    ugla naginjanja aviona i</b>	
<b>    brzine obrtanja aviona oko uzdužne ose .....</b>	<b>108</b>
7.4.1 Karakteristike otvorenog sistema .....	108
7.4.2 Upravljanje modom ugla naginjanja aviona .....	111
7.4.3 Upravljanje modom	
brzine obrtanja aviona oko uzdužne ose .....	111
7.4.4 Istovremeno upravljanje	
modovima ugla naginjanja i brzine obrtanja aviona .....	112
<b>7.5 Sistem sa jednim ulazom: promena više</b>	
<b>    realnih ili kompleksnih sopstvenih vrednosti .....</b>	<b>113</b>
<b>7.6 Sistem sa više ulaza: promena više</b>	
<b>    realnih ili kompleksnih sopstvenih vrednosti .....</b>	<b>118</b>
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>	<b>277</b>
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>	<b>287</b>
13.1 Asimptotski observeri za procenu stanja .....	287
13.2 Određivanje pojačanja observera .....	290
13.3 Sprega uskladnika (regulatora) i observera .....	291
13.4 Određivanje prenosne funkcije i princip separacije .....	293
13.5 Primeri .....	295
13.6 Observeri sniženog reda .....	299
13.7 Primeri .....	302
13.8 Izbor optimalnih polova observera .....	306
13.9 Direktni postupak projektovanja pomoću prenosne funkcije .....	307
13.10 Observeri punog reda .....	308
13.11 Observeri sniženog reda .....	311
13.12 Observer i sprega uskladnika i observera kod višestruko prenosnih sistema .....	312
13.12.1 Projektovanje observera .....	312
13.12.2 Određivanje pojačanja observera .....	314
13.12.3 Sprega observera i uskladnika .....	315
Literatura .....	316

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 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>
<b>19. PROJEKTOVANJE SISTEMA SA POVRATNIM SPREGAMA KORIŠĆENJEM TEHNIKE RELOKACIJE SOPSTVENIH VREDNOSTI MATRICE SISTEMA U OTVORENOM KOLU DEJSTVA .....</b>	<b>393</b>
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
<b>DODATAK A - Spisak oznaka</b> .....	409
<b>DODATAK B – Neki primeri i zadaci vezani za optimizaciju sistema u vremenskom domenu</b> .....	417
Literatura .....	423
<b>DODATAK C – Neki konkretni problemi optimizacije</b> .....	424
Literatura .....	429
<b>DODATAK D – Optimalno upravljanje linearnim kontinualnim sistemima</b> .....	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