

<b>1 OPŠTA RAZMATRANJA</b> .....	1
<b>1.1 Priroda i osobenosti fenomena kašnjenja u prenosu signala u fizičkim procesima</b> .....	2
<b>1.2 Klasifikacija kontinualnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	3
<b>1.3 Mogućnosti rešavanja diferencijalnih jednačina sa pomerenim argumentom</b> .....	5
<b>1.4 Mogućnost analize kontinualnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	8
1.4.1 Uvod .....	8

<b>2. METODE ANALIZE</b>	
<b>KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM</b> .....	18
<b>2.1 Određivanje prelaznih funkcija</b> posebne klase sistema sa kašnjenjem korišćenjem Laplace-ove transformacije .....	18
<b>2.2 Određivanje kretanja kontinualnog</b> sistema sa kašnjenjem u prostoru stanja .....	20
<b>2.3 Mogućnosti aproksimacija</b> kontinualnih sistema sa kašnjenjem .....	25
<b>3. PRIMERI KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM</b> .....	27
Literatura .....	49

# *VREMENSKI DISKRETNII SISTEMI SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM*

<b>II OSOBINE I SPECIFIČNOSTI</b>	
<b>VREMENSKI DISKRETNIIH SISTEMA</b> <b>SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM</b> .....	51
<b>4. OPŠTA RAZMATRANJA</b> .....	51
<b>4.1 Priroda i osobenosti fenomena kašnjenja</b> u prenosu signala u fizičkim procesima .....	52
<b>4.2 Klasifikacija diskretnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	53
<b>4.3 Mogućnosti rešavanja</b> diferencnih jednačina sa pomerenim argumentom .....	53
<b>4.4 Mogućnost analize diskretnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	58
<b>4.5 Metode analize diskretnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	66
4.5.1 Odziv diskretnih sistema u vremenskom domenu .....	66
4.5.2 Kretanje diskretnih sistema sa kašnjenjem u prostoru stanja .....	67
<b>4.6 Primeri diskretnih sistema sa kašnjenjem</b> .....	69
4.6.1 Sistem za navodnjavanje .....	70
4.6.2 Model prezagušene raskrsnice .....	71
Literatura .....	75

# **DINAMIČKA ANALIZA**

## **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA**

### **SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM ..... 79**

#### **5. METODA GEOMETRIJSKOG MESTA KORENOVA**

##### **U PRIMENI NA VREMENSKI KONTINUALNE**

##### **SISTEME AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA**

##### **SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM ..... 79**

##### **5.1 METODA GEOMETRIJSKOG MESTA KORENOVA ..... 79**

##### **Literatura ..... 86**

#### **6. UPRAVLJIVOST SISTEMA SA KAŠNENJEM ..... 87**

##### **6.1 Uvodna razmatranja ..... 87**

##### **6.2 Upravljivost sistema sa kašnjenjem ..... 87**

##### **6.3 Upravljivost linearnih sistema sa konstantnim vremenskim kašnjenjem i u stanju i u upravljanju ..... 89**

##### **6.4 Upravljivost i apsolutna upravljivost linearnih sistema sa konstantnim vremenskim kašnjenjem u upravljanju ..... 92**

##### **6.5 Upravljivost i apsolutna upravljivost linearnih sistema sa konstantnim vremenskim kašnjenjem u stanju sistema ..... 97**

##### **Literatura ..... 100**

#### **7. OSMOTRIVOST SISTEMA SA KAŠNENJEM ..... 101**

##### **Literatura ..... 102**

# **VI STABILNOST**

## **U SMISLU LJAPUNOVA**

### **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA**

#### **SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM:**

**Klasičan prilaz** ..... 147

## **11. METODE ZA ISPITIVANJE**

**LJAPUNOVSKE STABILNOSTI** ..... 147

**11.1 Uvod** ..... 147

11.1.1 Preliminarna razmatranja ..... 147

11.1.2 Ravnotežno stanje i njegove osnovne osobine ..... 148

11.1.3 Osobine stabilnosti linearnih sistema sa kašnjenjem ..... 149

11.1.4 Uslovi stabilnosti linearnih sistema sa kašnjenjem ..... 149

**11.2 Osnovni rezultati** ..... 152

**Literatura** ..... 197

**VII STABILNOST U SMISLU LJAPUNOVA  
VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA  
SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNENJEM:**

<b>Prilaz sa pozicija primene LMI .....</b>	<b>201</b>
<b>12. METODE ZA ISPITIVANJE LJAPUNOVSKJE STABILNOSTI .....</b>	<b>201</b>
<b>12.1 Modeli sistema         sa čistim vremenskim kašnjenjem .....</b>	<b>201</b>
<b>12.2 Koncept rešenja i metoda sukcesivne integracije .....</b>	<b>203</b>
<b>12.3 Linearni vremenski stacionarni         sistemi i karakteristična jednačina .....</b>	<b>204</b>
<b>12.4 Opšti sistemi sa čistim vremenskim         kašnjenjem i direktni metod Ljapunova .....</b>	<b>206</b>
<b>12.5 LMI pristup ispitivanju stabilnosti         sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem .....</b>	<b>209</b>
12.5.1 Uslovi nezavisni od kašnjenja .....	210
12.5.2 Uslovi zavisni od kašnjenja .....	212
12.5.3 Eksponecijalne granice i analiza $\mathcal{L}_2$ – pojačanja .....	217
Literatura .....	220

**VIII STABILNOST  
VREMENSKI KONTINUALNIH  
SISTEMA SA KAŠNENJEM NA  
KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU:**

<b>Klasičan prilaz .....</b>	<b>223</b>
<b>13. FUNDAMENTALNA RAZMATRANJA .....</b>	<b>223</b>
<b>13.1 Neka opšta pitanja primene         koncepta stabilnosti na konačnom         vremenskom intervalu na ovu klasu sistema .....</b>	<b>223</b>
<b>13.2 Klasa razmatranih sistema         i neophodna tumačenja .....</b>	<b>225</b>
<b>13.3 Definicije stabilnosti .....</b>	<b>228</b>
<b>13.4 Teoreme stabilnosti .....</b>	<b>230</b>
Literatura .....	258

## **IX STABILNOST**

### **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU:**

**Prilaz sa pozicija primene LMI** ..... 263

**14. ANALIZA STABILNOSTI  
NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU** ..... 263

14.1 Uvod ..... 263

14.2 Definicije stabilnosti ..... 264

14.3 Teoreme stabilnosti ..... 265

**Literatura** ..... 266

## *STABILNOST VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM*

## **X STABILNOST U SMISLU LJAPUNOVA VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM:**

**Klasičan prilaz** ..... 267

**15. METODE ZA ISPITIVANJE  
LJAPUNOVSKJE STABILNOSTI** ..... 267

15.1 Uvod ..... 267

15.1.1 Preliminarna razmatranja ..... 267

15.1.2 Ravnotežno stanje i njegove osnovne osobine ..... 268

15.1.3 Osobine stabilnosti linearnih sistema sa kašnjenjem ..... 269

15.1.4 Uslovi stabilnosti linearnih sistema sa kašnjenjem ..... 269

15.2 Rekapitulacija nekih osnovnih  
rezultata na polju proučavanja  
stabilnosti vremenski diskretnih  
sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem ..... 270

**Literatura** ..... 279

<b>XI STABILNOST U SMISLU LJAPUNOVA VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM: NOVI REZULTATI – Kriterijumi koji ne uzimaju u obzir iznos čisto vremenskog kašnjenja .....</b>	<b>283</b>
<b>16. ASIMPTOTSKA STABILNOST VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM .....</b>	<b>283</b>
<b>16.1. Uvodna razmatranja .....</b>	<b>283</b>
<b>16.2 Oznake i preliminarna razmatranja .....</b>	<b>284</b>
<b>16.3 Glavni rezultati .....</b>	<b>285</b>
Literatura .....	306
<b>17. STABILNOST SISTEMA: <math>x(k+1) = A_0 x(k) + A_1 x(k-1)</math> U SMISLU LJAPUNOVA: Novi rezultati .....</b>	<b>309</b>
<b>17.1 Uvodna i preliminarna razmatranja .....</b>	<b>309</b>
<b>17.2 Prethodni rezultati .....</b>	<b>310</b>
<b>17.3 Glavni rezultati .....</b>	<b>311</b>
Literatura .....	317
<b>18. STABILNOST LINEARNIH DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM: Prilaz Ljapunov–Krasovski .....</b>	<b>321</b>
<b>18.1 Uvodna razmatranja .....</b>	<b>321</b>
<b>18.2 Preliminarna razmatranja .....</b>	<b>322</b>
<b>18.3 Glavni rezultati .....</b>	<b>322</b>
Literatura .....	328
<b>XII STABILNOST U SMISLU LJAPUNOVA VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM: NOVI REZULTATI – Kriterijumi koji uzimaju u obzir iznos čisto vremenskog kašnjenja .....</b>	<b>331</b>

<b>POTREBNI I DOVOLJNI USLOVI ASIMPTOTSKE STABILNOSTI ZAVISNI OD IZNOSA ČISTO VREMENSKOG KAŠNJENJA VREMENSKI DISKRETNIH SISTEMA .....</b>	<b>331</b>
<b>19.1 Uvodna razmatranja .....</b>	<b>331</b>
<b>19.2 Glavni rezultati .....</b>	<b>332</b>
19.2.1 Vremenski kontinualni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem .....	332
19.2.2 Vremenski diskretni sistemi sa čistim vremenskim kašnjenjem .....	335
<b>Prilaz .....</b>	<b>347</b>

## **I STABILNOST**

### **VREMENSKI DISKRETNIH**

### **SISTEMA SA KAŠNJENJEM NA**

### **KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU:**

<b>Prilaz sa pozicija primene LMI .....</b>	<b>349</b>
---------------------------------------------	------------

### **NELJAPUNOVSKA STABILNOST**

### **LINEARNIH VREMENSKI DISKRETNIH**

### **SISTEMA SA ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM:**

<b>LMI prilaz .....</b>	<b>349</b>
-------------------------	------------

<b>20.1 Uvod .....</b>	<b>349</b>
------------------------	------------

<b>20.2 Glavni rezultati .....</b>	<b>351</b>
------------------------------------	------------

<b>Prilaz .....</b>	<b>357</b>
---------------------	------------



#### **XIV SINTEZA**

##### **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNENJEM**

**Klasičan prilaz** ..... 359

##### **21. SINTEZA ZATVORENIH**

###### **SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA SA KAŠNENJEM PROMENOM SAMO VREDNOSTI FAKTORA POJAČANJA NJIHOVIH OTVORENIH KOLA** ..... 359

Literatura ..... 360

##### **22. STRUKTURNA SINTEZA**

###### **ZATVORENIH SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA SA KAŠNENJEM** ..... 361

22.1 Preliminarna razmatranja ..... 361

22.2 Metode za sintezu zatvorenih  
sistema automatskog upravljanja sa kašnjenjem ..... 366

22.2.1 Uvod ..... 366

22.2.2 Smitova metoda ..... 367

22.2.3 Metoda Koppela i Aikena ..... 373

Literatura ..... 375

#### **XV SINTEZA**

##### **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNENJEM**

**Metode podešavanja polova** ..... 377

##### **23. PRELIMINARNA RAZMATRANJA VEZANA ZA PROBLEM PODEŠAVANJA POLOVA SISTEMA SA KAŠNENJEM** ..... 377

23.1 Uvod ..... 377

23.2 Pregled nekih do sada  
postignutih rezultata na polju izučavanja  
problematike podešavanja polova linearnih  
sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem ..... 378

23.3 Metode podešavanja polova  
kod sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem ..... 379

23.3.1 Metoda konačnog podešavanja polova za sisteme sa čistim vremenskim kašnjenjem u stanju .....	379
23.3.2 Metoda konačnog podešavanja polova za sisteme sa višestrukim celobrojnim umnošcima čistog vremenskog kašnjenjem u stanju .....	385
23.3.3 Metoda podešavanja konačnog broja polova za višestruko prenosne sisteme sa kašnjenjem u frekventnom domenu .....	395
23.3.4 Metoda podešavanja konačnog broja polova i stabilizacija sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem u stanju i upravljanju .....	400
<b>Literatura</b> .....	408

## **XVI SINTEZA**

### **VREMENSKI KONTINUALNIH SISTEMA SA KAŠNJENJEM**

#### **NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU**

<b>Prilaz sa pozicija primene LMI</b> .....	411
---------------------------------------------	-----

## **24. POSTUPAK STABILIZACIJE**

<b>NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU</b> .....	411
-----------------------------------------------	-----

<b>24.1 Uvodna razmatranja</b> .....	411
--------------------------------------	-----

<b>24.2 Definicije stabilnosti</b> .....	412
------------------------------------------	-----

<b>Literatura</b> .....	419
-------------------------	-----

<b>25. POSTUPAK STABILIZACIJE NA KONAČNOM VREMENSKOM INTERVALU</b> .....	421
25.1 Uvodna razmatranja .....	421
25.2 Formulacija problema i preliminarna razmatranja .....	422
25.3 Glavni rezultati .....	422
25.3.1 Transformacija modela .....	422
25.3.2 Analiza stabilnosti u konačnom vremenu i uslovi stabilnosti .....	423
25.3.3. Projektovanje regulatora .....	433
Literatura .....	436

## **XVIII PRIMENA**

### **SIMBOLIČKIH ALATA**

### **ZA REŠAVANJE VREMENSKI**

### **KONTINUALNIH SISTEMA SA**

### **ČISTIM VREMENSKIM KAŠNJENJEM** .....

<b>26. PRAKTIČNI PRISTUP KROZ SCHEMATIC SOLVER I WOLFRAM JEZIK</b> .....	437
26.1 Uvod .....	437
26.2 Konceptualni prikaz numeričkog i simboličkog izračunavanja .....	439
26.3 Primer crtanja šeme kontinualnog sistema za upravljanje .....	441
26.4 Primer rešavanja kontinualnog sistema za upravljanje .....	443
26.5 Primer analize u vremenskom domenu kontinualnog sistema .....	444
26.6 Primer upoređivanja različitih implementacija .....	445
26.7 Primer realizacije sistema iz poznatog odziva u vremenskom domenu .....	447
26.8 Primer automatizovanog crtanja sistema .....	448
26.9 Primer rešavanja diskretnih sistema .....	450
26.10 Primer dokazivanja osobina sistema .....	452
26.11 Razvoj originalnog algoritma .....	453
26.12 Primeri primene simboličkih algoritma .....	455
Literatura .....	467

**DODACI** ..... 469

**DATAK A – Oznake** ..... 469