

SADRŽAJ

1. Osnovni pojmovi i podjela sustava automatskog upravljanja	1
1.1. Osnovni pojmovi i definicije	1
1.2. Simbolički prikaz elemenata i sustava automatskog upravljanja	7
1.3. Podjela sustava	8
1.3.1. Linearni i nelinearni sustavi	8
1.3.2. Stacionarni i nestacionarni sustavi	10
1.3.3. Kontinuirani i diskretni sustavi	10
<i>Pitanja za provjeru znanja</i>	14
2. Statičke i dinamičke karakteristike elemenata sustava automatskog upravljanja	17
2.1. Matematički opis i karakteristike linearnih kontinuiranih elemenata	17
2.2. Linearizacija nelinearnih karakteristika	18
2.3. Impulsna prijelazna funkcija i prijelazna funkcija	20
2.4. Prijenosna funkcija i frekvencijska karakteristika	27
2.5. Opis sustava varijablama stanja	32
2.5.1. Standardni oblik opisa varijablama stanja	35
2.5.2. Normalni (ortogonalni) oblik opisa sustava	37
2.5.3. Kanonski oblik opisa sustava	38
<i>Pitanja za provjeru znanja</i>	40
3. Modeliranje elemenata sustava automatskog upravljanja	43
3.1. Vrste modela	43
3.2. Primjena matematičkog modela	44
3.3. Osnovni principi modeliranja	45
3.3.1. Ravnoteža mase	45
3.3.2. Ravnoteža momenta	46
3.3.3. Ravnoteža energije	46
3.4. Standardni oblici matematičkog modela	46
3.5. Grafički prikaz matematičkog modela	47
3.6. Matematički model električkih sustava	50
3.7. Matematički model mehaničkih sustava	52
3.8. Matematički model elektromehaničkih sustava	55
3.8.1. Dinamički model stroja	56
3.8.2. Statička karakteristika stroja	57
3.8.3. Prijenosne funkcije stroja	59
3.8.4. Prijenosne funkcije stroja i radnog mehanizma	64
<i>Pitanja za provjeru znanja</i>	65
4. Prijenosne funkcije i frekvencijske karakteristike elemenata	67
4.1. Elementi s usporenjem prvog reda	67
4.1.1. Elementi s proporcionalnim djelovanjem i usporenjem prvog reda	67
4.1.2. Elementi s derivacijskim djelovanjem i usporenjem prvog reda	74

4.1.3. Elementi s proporcionalno-derivacijskim djelovanjem i usporenjem prvog reda	79
4.1.4. Elementi s integralnim djelovanjem	87
4.1.5. Elementi s integralnim djelovanjem i usporenjem prvog reda	91
4.2. Elementi s usporenjem drugog reda	96
4.2.1. Korijeni realni i različiti ($\zeta > 1$)	97
4.2.2. Korijeni realni i jednaki ($\zeta = 1$)	102
4.2.3. Korijeni konjugirano kompleksni ($\zeta < 1$)	104
4.3. Elementi s usporenjem višeg reda	111
4.4. Elementi s mrtvim vremenom	116
4.5. Regulatori sa standardnim ponašanjem	118
<i>Zadaci za provjeru znanja</i>	125
5. Stabilnost sustava automatskog upravljanja	129
5.1. Određivanje stabilnosti sustava Routh–Hurwitzovim metodama	132
5.2. Određivanje stabilnosti sustava frekvencijskim metodama	134
<i>Zadaci za provjeru znanja</i>	140
6. Određivanje kvalitete upravljanja kontinuiranih sustava	143
6.1. Pokazatelji kvalitete upravljanja sustavima	146
6.2. Metode određivanja pokazatelja kvalitete prijelazne pojave	147
6.3. Pogreška sustava u stacionarnom stanju	150
6.3.1. Statička pogreška u odnosu na upravljačku veličinu	151
6.3.2. Statička pogreška u odnosu na poremećajnu veličinu	154
6.3.3. Kinetička pogreška	157
6.3.4. Dinamička pogreška	159
6.4. Ovisnost nadvišenja zatvorenog sustava drugog reda o faznom osiguranju otvorenog sustava	161
6.5. Određivanje ovisnosti nadvišenja odziva zatvorenog sustava o faznom osiguranju primjenom Bodéova prikaza frekvencijskih karakteristika otvorenog sustava	165
6.5.1. Sustavi s PI regulatorom i procesom drugog reda	166
6.5.2. Sustavi s PI regulatorom i procesom trećeg reda	173
<i>Pitanja i zadaci za provjeru znanja</i>	179
7. Sinteza kontinuiranih sustava primjenom Bodéova prikaza frekvencijskih karakteristika	183
7.1. Opće preporuke za sintezu sustava primjenom Bodéova prikaza frekvencijskih karakteristika otvorenog sustava	185
7.2. Određivanje frekvencijske karakteristike u području niskih frekvencija	185
7.2.1. Zadan iznos statičkih pogrešaka	186
7.2.2. Zadan iznos kinetičke pogreške	187
7.2.3. Zadan iznos dinamičke pogreške	188
7.3. Sinteza parametara PI regulatora prema zadanim nadvišenjima odziva zatvorenog sustava primjenom Bodéova prikaza frekvencijskih karakteristika otvorenog sustava	189
7.3.1. Kompenzacija najveće vremenske konstante	190
7.3.2. Simetrične frekvencijske karakteristike	194

7.4.	Korekcija frekvencijske karakteristike	198
7.4.1.	Korekcija frekvencijske karakteristike u području niskih frekvencija . .	199
7.4.2.	Korekcija frekvencijske karakteristike u području srednjih frekvencija .	203
7.4.3.	Korekcija frekvencijske karakteristike u području niskih i srednjih frekvencija	206
7.5.	Kaskadni sustavi regulacije	208
7.6.	Primjena Bodéova prikaza frekvencijskih karakteristika otvorenog sustava za sintezu parametara PI regulatora realnih sustava	209
7.6.1.	Sintesa parametara PI regulatora elektromehaničkog sustava	210
7.6.2.	Sintesa parametara PI regulatora toplinskog procesa	220
	<i>Zadaci za provjeru znanja</i>	228
8.	Određivanje parametara regulatora Ziegler–Nicholsovim metodama	233
8.1.	Ziegler–Nicholsove metode	233
8.1.1.	Metoda prijelazne funkcije	234
8.1.2.	Metoda granice (ruba) stabilnosti	236
8.2.	Primjena Ziegler–Nicholsovih metoda za određivanje parametara PI regulatora realnih procesa	236
8.2.1.	Određivanje parametara PI regulatora elektromehaničkog sustava . . .	237
8.2.2.	Određivanje parametara PI regulatora toplinskog procesa	242
9.	Prilozi	247
9.1.	Laplaceova transformacija i njezina primjena na izračunavanje odziva linearnih kontinuiranih sustava automatskog upravljanja	247
9.1.1.	Laplaceova transformacija i njezina svojstva	248
9.1.2.	Inverzna Laplaceova transformacija	250
9.1.3.	Primjeri izračunavanja odziva primjenom inverzne Laplaceove transformacije	252
9.2.	MATLAB i njegova primjena na izračunavanje odziva i frekvencijskih karakteristika linearnih kontinuiranih sustava automatskog upravljanja . . .	262
9.2.1.	Rad s osnovnom ljudskom MATLAB-a	263
9.2.2.	Rad s <i>Control System Toolbox</i>	265
9.2.3.	Rad sa SIMULINKOM	270
	Rješenja zadataka	277
	Popis oznaka	314
	Literatura	320
	Kazalo pojmova	323