

Obsah

	Předmluva	9
1.	Úvod	11
1.1.	Základní pojmy	12
2.	Základy teorie dynamických systémů	17
2.1.	Systém a jeho základní vlastnosti	17
2.1.1.	Abstraktní systémy	19
2.1.2.	Stav systému	20
2.1.3.	Ekvivalence systémů	24
2.2.	Popis dynamických systémů ve stavovém prostoru	25
2.2.1.	Vektorově maticový model systému	25
2.2.2.	Přepis obyčejné diferenciální a diferenční rovnice na stavové rovnice	32
2.2.3.	Převod stavových rovnic na diferenciální a diferenční rovnice	40
2.3.	Vlastnosti systémů	43
2.3.1.	Dosažitelnost, řiditelnost a stabilizovatelnost	43
2.3.2.	Pozorovatelnost, rekonstruovatelnost a detekovatelnost	49
2.3.3.	Identifikovatelnost	53
2.3.4.	Kanonický rozklad	55
	Literatura	57
3.	Lineární spojité systémy	59
3.1.	Analýza vlastností řízených lineárních spojitých systémů	60
3.1.1.	Popis dynamických vlastností systému	60
3.1.2.	Vnější popisy spojitého lineárního systému	61
3.1.3.	Vzájemná souvislost vnějších popisů systému	80
3.1.4.	Vnitřní popis lineárního spojitého systému a jeho souvislost s vnějším popisem	87
3.1.5.	Vazby mezi systémy	94
3.1.6.	Citlivostní analýza systému	106
3.2.	Určení dynamických vlastností systémů	108
3.2.1.	Metody identifikace	108
3.2.2.	Metody linearizace	109
3.2.3.	Matematicko-fyzikální analýza vlastností objektu	112
3.2.4.	Aproximace přechodových charakteristik	122
3.2.5.	Vyhodnocení obecných signálů metodou postupné integrace	128
3.2.6.	Aproximace frekvenčních charakteristik	130

3.3.	Lineární regulátory	134
3.3.1.	Rozdělení regulátorů	135
3.3.2.	Členy regulátorů	136
3.3.3.	Ústřední člen regulátoru	137
3.3.4.	Interakce konstant regulátoru	141
3.4.	Analýza regulačního obvodu	145
3.4.1.	Přesnost regulace	146
3.4.2.	Analýza regulačního obvodu pomocí frekvenčních charakteristik	148
3.4.3.	Analýza regulačního obvodu pomocí nul a pólů přenosu	153
3.4.4.	Časový průběh veličin v regulačním obvodu	165
3.4.5.	Citlivostní analýza regulačního obvodu	173
3.5.	Stabilita spojitých lineárních systémů	177
3.5.1.	Fyzikální význam a definice stability systému	177
3.5.2.	Ljapunovova věta o stabilitě a její aplikace na lineární systémy	181
3.5.3.	Nutné a postačující podmínky stability lineárních systémů	184
3.5.4.	Kritéria stability lineárních systémů	188
3.5.5.	Nyquistovo kritérium stability	195
3.5.6.	Míra stability systému	202
3.5.7.	Stabilita regulačního obvodu	207
3.6.	Syntéza regulačního obvodu	209
3.6.1.	Podklady pro syntézu	209
3.6.2.	Ukazatele kvality a přesnosti regulace	212
3.6.3.	Metody syntézy regulačních obvodů	217
3.6.4.	Frekvenční metody syntézy	219
3.6.5.	Empirické metody syntézy	228
3.6.6.	Kvadratická regulační plocha a obecná kvadratická regulační plocha	230
3.6.7.	Optimální modul a symetrické optimum	242
3.6.8.	Porovnání metod syntézy	253
3.6.9.	Vliv zpětné vazby od stavu systému na dynamické vlastnosti systému	256
3.7.	Rozvětvené a mnohorozměrové regulační obvody	261
3.7.1.	Rozvětvené regulační obvody	261
3.7.2.	Mnohorozměrové regulační obvody	267
3.8.	Spojité mnohorozměrové systémy	270
3.8.1.	Přepis soustavy lineárních diferenciálních rovnic na stavové rovnice	270
3.8.2.	Charakteristický polynom	274
3.8.3.	Kanonické tvary stavových rovnic mnohorozměrových systémů	275
3.8.4.	Transformace na kanonický tvar	277
3.8.5.	Stavový popis – matice přenosů	280
3.8.6.	Autonomnost a invariančnost	282
	Literatura	284
4.	Nelineární systémy se spojitou lineární částí	287
4.1.	Problém řešení nelineárních dynamických systémů	288
4.2.	Popis dynamického chování nelineárních systémů ve stavovém prostoru	289
4.2.1.	Stavová rovina jako zvláštní případ stavového prostoru	290
4.2.2.	Rovnovážný stav nelineárních systémů	295
4.3.	Frekvenční metody vyšetřování nelineárních systémů	305
4.3.1.	Metoda ekvivalentních přenosů	305
4.3.2.	Stabilita autooscilačních kmitů v nelineárních systémech	311
4.3.3.	Nelineární systémy s větším počtem nelinearit	314

4.3.4.	Nelineární systémy s nesymetrickými vlastními kmity	316
4.3.5.	Nelineární systémy s dvěma vstupními signály	317
4.4.	Obecná teorie stability A. M. Ljapunova v nelineárních dynamických systémech	318
4.4.1.	Ljapunovovy funkce a jejich generování	319
4.4.2.	Stabilita nelineárních dynamických systémů s proměnnými parametry	351
4.5.	Absolutní stabilita nelineárních dynamických systémů	354
4.6.	Nelineární dynamické systémy s náhodnými stacionárními signály	359
4.6.1.	Statistická linearizace nelineárních členů	359
4.6.2.	Statistická linearizace nelineárních systémů se zpětnou vazbou	361
4.7.	Syntéza nelineárních systémů a některé obecnější souvislosti	363
4.7.1.	Návrh reléového regulátoru	364
4.7.2.	Některé obecnější souvislosti	366
	Literatura	368
5.	Diskrétní systémy lineární a nelineární	371
5.1.	Úvod	371
5.1.1.	Popis diskrétního regulačního obvodu	371
5.1.2.	Tvarovací člen nultého řádu	377
5.1.3.	Tvarovací členy vyššího než nultého řádu	379
5.1.4.	Volba frekvence vzorkování	382
5.1.5.	Lineární impulsové systémy	383
5.2.	Popis dynamických vlastností lineárních diskrétních systémů	386
5.2.1.	Diferenční rovnice a její řešení	386
5.2.2.	Diskrétní impulsová charakteristika a váhová matice	388
5.2.3.	Z-přenos číslíkového korekčního členu	389
5.2.4.	Způsob programování číslíkových korekčních členů	390
5.2.5.	Z-přenos spojité části regulačního obvodu	392
5.2.6.	Řešení diferenční rovnice pomocí Z-transformace	398
5.2.7.	Algebra z-přenosů	400
5.2.8.	z-přenos obvodu	401
5.2.9.	Diskrétní stavové rovnice a jejich řešení	405
5.2.10.	Souvislost řešení diskrétních stavových rovnic se Z-transformací	407
5.2.11.	Rozklad z-přenosu na částečné zlomky – Jordanova forma	408
5.2.12.	Podmínky fyzikální realizovatelnosti	411
	Stabilita	413
5.3.1.	Základní definice	413
5.3.2.	Routhův – Schurův algoritmus	420
5.3.3.	Nutné a postačující podmínky stability	422
5.4.	Podmínky nulové ustálené regulační odchylky	430
5.5.	Změna charakteristického polynomu	431
5.6.	Konečný počet kroků regulace	432
5.7.	Determinování charakteristického polynomu stavového modelu systému	436
5.7.1.	Využití normální formy fíditelnosti	437
5.7.2.	Postup s obecným tvarem matice dynamiky	438
5.8.	Řízení v konečném čase ve stavovém prostoru	439
5.9.	Řízení optimální podle kvadratických kritérií	446
5.9.1.	Úvod	446
5.9.2.	Přehled symboliky polynomů	446
5.9.3.	Syntéza	448
5.10.	Zvláštní druhy vzorkování	454

5.10.1.	Asynchronní vzorkování	455
5.10.2.	Konečná doba vzorkování	457
5.11.	Nelineární diskretní systémy	458
5.11.1.	Úvod	458
5.11.2.	Metoda Z-transformace pro nelineární diskretní systémy	459
5.11.3.	Metoda diskretní fázové roviny	462
5.11.4.	Metoda ekvivalentních přenosů pro nelineární diskretní systémy	470
5.11.5.	Kritérium absolutní stability	475
5.11.6.	Modifikace přímé Ljapunovovy metody stability pro nelineární diskretní systémy	479
5.11.7.	Diskretní systémy se šířkovou modulací	485
	Literatura	490
	Dodatky	492
Dodatek A	Kontrola lineární závislosti vektorů	492
Dodatek B	Číselné řešení přeurčené soustavy lineárních algebraických rovnic	493
Dodatek C	Řešení Riccatiho maticové rovnice	497
	C1 Spojitá verze	497
	C2 Diskretní verze	501
Dodatek D	Řešení polynomické diofantické rovnice	505
Dodatek E	Spektrální faktorizace	508
Dodatek F	Řešení Wienerovy – Kolmogorovy rovnice	512
	F1 Vstupní signál bílý šum	513
	F2 Určení parametrů diferenční rovnice při vstupním signálu tvaru obdélníkového impulsu	514
	F3 Určení parametrů diferenční rovnice při obecném, avšak nenáhodném vstupním signálu	515
	F4 Určení impulsové charakteristiky při náhodném vstupu typu barevného šumu	515
	F5 Určení parametrů diferenční rovnice při náhodném vstupu typu barevného šumu	516
	F6 Závěr	517
	Literatura k dodatům	517
	Rejstřík	519