

# Obsah

1.	<i>Deduktivně formulované dynamické systémy</i> (P. Zítek)	9
1.1	Základní pojmy formulace systémové úlohy	9
1.1.1	Objekt a systém — matematický model	9
1.1.2	Struktura systému a její záznam	11
1.1.3	Zpětná vazba	13
1.1.4	Identifikace systému	13
1.1.5	Simulace systému, počítačový model	15
1.2	Relace a stav dynamického systému	16
1.2.1	Systém a čas	16
1.2.2	Statická a dynamická relace	17
1.2.3	Relace integrace a zpoždění	17
1.2.4	Linearita relací systému	20
1.2.5	Vektorová lineární statická relace	21
1.2.6	Některé zákony dynamiky ve fyzice	22
1.2.7	Stav dynamického systému	24
1.3	Struktura a odezva spojitého dynamického systému	27
1.3.1	Blokové schéma struktury stavové formulace	27
1.3.2	Odezva systému — metoda postupných intervalů	29
1.3.3	Stavová trajektorie systému	33
1.3.4	Technické řešení stavové rovnice; existence	33
1.3.5	Lineární systém — dekompozice a superpozice	37
1.3.6	Příklad aplikace — model směšovacího reaktoru	40
1.4	Diskrétní formulace dynamického systému	44
1.4.1	Relace a struktura diskrétního systému	45
1.4.2	Diskrétní realizace relace zpoždění $D$	45
1.4.3	Algoritmus rekurentního výpočtu diskrétní změny stavu	47
1.4.4	Příčinkové funkce a diskrétní formulace lineárního systému	50
1.5	Řiditelnost změny stavu systému	53
1.6	Rovnovážný stav systému	56
1.6.1	Singulární body a jejich typy	58
1.6.2	Astatický systém, nevlastní singulární bod	60
1.6.3	Singulární bod s mezním cyklem	62
1.6.4	Klasifikace rovnováhy systému	63
1.6.5	Statická charakteristika systému	64
1.6.6	Statická citlivost a invariantnost	65
1.7	Stabilita rovnovážného stavu systému	67
1.7.1	Charakteristická rovnice lineárního systému	68
1.7.2	Michajlovova—Leonhardova metoda	71
1.7.3	Konformní zobrazení $M(\lambda)$ a vlastní kmity	73
1.7.4	Stabilita nelineárního systému v linearizaci	75
1.7.5	Stabilita chyb simulace	78
1.8	Přerušení platnosti relací, typické nelinearity	79
1.8.1	Typické nelinearity	80
1.8.2	Omezení integrace	83
1.9	Měřítkové vztahy a podobnost systémů	83
1.9.1	Vyrovnaní koeficientů stavové rovnice	84
1.9.2	Poměrný čas a dynamické přizpůsobení	86
1.9.3	Matematická podobnost systémů	90

2.	<i>Induktivně identifikované dynamické systémy (F. Zitek)</i>	91
2.1	Základní pojmy induktivní identifikace systému	91
2.1.1	Podmínky identifikace experimentem	92
2.1.2	Rozdělení charakteristik relace V/V	93
2.2	Spojité deterministické vyjádření relace V/V	94
2.2.1	Váhové a přechodové funkce systému	94
2.2.2	Funkce přenosu spojité relace V/V	100
2.2.3	Výpočet parametrů integrací váhové funkce	103
2.3	Diskrétní deterministické vyjádření relace V/V	106
2.3.1	Teorém vzorkování	106
2.3.2	Vyjádření relace V/V diferenční rovnicí	107
2.3.3	Určení koeficientů diferenční rovnice. Minimální realizace	108
2.3.4	Diskrétní přenos	111
2.4	Náhodný proces a stochastické charakteristiky relace V/V	113
2.4.1	Stacionární a ergodický proces	113
2.4.2	Korelační funkce náhodného procesu	115
2.4.3	Vzájemná korelační funkce relace V/V	116
2.5	Identifikace parametrů z dat zkeslených náhodným procesem	118
2.6	Volba vektoru stavu a zpoždění	120
2.6.1	Metoda postupné integrace	120
2.6.2	Snižování řádu derivace	125
2.6.3	Rozklad přenosu pomocí kořenových činitelů	128
2.7	Volba stavových proměnných diskretní formulace	130
2.7.1	Snižování řádu diferenci SŘD-d	130
2.7.2	Metoda lineárních kombinací vstupu a výstupu, MPI-d	132
2.8	Citlivostní funkce systému	133
2.8.1	Citlivostní systém	135
2.8.2	Vzájemné vztahy mezi citlivostními funkcemi	138
3.	<i>Aproximace systémů se spojitě rozloženými parametry (P. Zitek)</i>	140
3.1	Pojem soustředěných a spojitě rozložených parametrů	140
3.2	Popis kontinua parciální diferenciální rovnicí	142
3.2.1	Počáteční a okrajové podmínky	144
3.3	Diskrétní nahrazení polohové proměnné	146
3.3.1	Diskrétní aproximace derivací	147
3.3.2	Rozklad parciální diferenciální rovnice na stavovou formulaci	148
3.4	Fyzikální interpretace diskretního nahrazení $l$	152
3.4.1	Pojem kompartmentu a jeho použití	154
3.4.2	Zpoždění $D$ jako důsledek diskretního nahrazení $l$	155
3.4.3	Příklad aplikace	156
3.5	Metoda přímek CSDT	160
4.	<i>Počítačový model (V. Novák)</i>	162
4.1	Paralelní a sériový princip počítačového modelu	162
4.2	Elektronický analogový počítač	164
4.2.1	Definice, obecná lineární operační jednotka	164
4.2.2	Integrátor	166
4.2.3	Sumátor a invertor	170
4.2.4	Přehled lineárních operačních jednotek analogového počítače	170
4.2.5	Koeficientový potenciometr	171
4.2.6	Nelineární operační jednotky analogového počítače	174
4.2.7	Hybridní operační prvky a jednotky analogového počítače	177
4.2.8	Logické a číslicové jednotky	177
4.3	Základy programování pro analogový počítač	179
4.3.1	Programové schéma, vývojový diagram	179
4.3.2	Metoda snižování řádu derivace	180

4.3.3	Metoda postupné integrace . . . . .	187
4.3.4	Zobrazení závisle proměnné veličiny. Normalizace . . . . .	190
4.3.5	Dynamické přizpůsobení . . . . .	191
4.3.6	Počítačový model dopravního zpoždění . . . . .	195
4.3.7	Repetiční a iterační výpočty . . . . .	197
4.3.8	Generování funkcí. Implicitní výpočet . . . . .	202
4.3.9	Realizace a ladění analogového počítačového modelu . . . . .	208
4.4	Číslicový počítač a sériové pracující model . . . . .	208
4.4.1	Blokové schéma číslicového počítače, algoritmus, vývojový diagram a program . . . . .	208
4.4.2	Sériové pracující model . . . . .	212
4.5	Stručný přehled metod numerického řešení diferenciálních rovnic . . . . .	213
4.5.1	Úvod . . . . .	213
4.5.2	Jednokrokové metody . . . . .	215
4.5.3	Víceprokové metody . . . . .	221
4.5.4	Změna integračního intervalu . . . . .	227
4.5.5	Porovnání jedнокrokových a víceprokových metod . . . . .	228
4.5.6	Řešení stavových rovnic . . . . .	228
4.6	Simulační jazyky . . . . .	231
4.7	Hybridní výpočetní systém a sériové paralelní model . . . . .	237
4.7.1	Blokové schéma hybridního výpočetního systému . . . . .	237
4.7.2	Přehled programového vybavení . . . . .	241
4.7.3	Kontrola počítačích sítí v hybridním systému . . . . .	242
4.7.4	Knihovna hybridních podprogramů . . . . .	242
4.8	Vývoj počítačových modelů . . . . .	246
5.	<i>Optimalizace parametrů</i> (V. Novák) . . . . .	251
5.1	Optimální řízení a optimalizace parametrů dynamického systému . . . . .	251
5.1.1	Problém optimality . . . . .	251
5.1.2	Kritérium optimality. Optimalizace řízení . . . . .	252
5.1.3	Optimalizace parametrů . . . . .	252
5.1.4	Příklady využití optimalizačních metod . . . . .	253
5.2	Přehled praktických metod optimalizace parametrů . . . . .	253
5.2.1	Volba kritéria optimality . . . . .	253
5.2.2	Definice množiny přípustných realizací vektoru parametrů . . . . .	254
5.2.3	Statická a dynamická optimalizace parametrů . . . . .	255
5.2.4	Podmínky existence extrémů kritériální funkce $Q$ na otevřené množině přípustných realizací . . . . .	256
5.2.5	Podmínky existence extrémů na hranici $H_a$ množiny přípustných realizací $\mathcal{A}_a$ . . . . .	258
5.3	Nepřímé (analytické) metody optimalizace parametrů . . . . .	259
5.4	Přímé (experimentální) metody dynamické optimalizace parametrů s deterministickým charakterem . . . . .	259
5.4.1	Obecné vlastnosti . . . . .	259
5.4.2	Jednparametrické optimalizační metody . . . . .	261
5.4.3	Diskrétní srovnávací metody jednparametrické optimalizace . . . . .	262
5.4.4	Princip minimaxu . . . . .	265
5.4.5	Metoda postupného dichotomního vyhledávání . . . . .	266
5.4.6	Fibonacciova metoda . . . . .	266
5.4.7	Metoda zlatého řezu . . . . .	268
5.4.8	Aplikace jednparametrických vyhledávacích strategií v diskretním případě . . . . .	269
5.4.9	Vzájemné porovnání konvergence vyhledávacích metod jednparametrické optimalizace . . . . .	270
5.4.10	Obecná charakteristika víceparametrické optimalizace . . . . .	271
5.4.11	Zahájení a ukončení víceparametrického optimalizačního procesu . . . . .	273
5.4.12	Otevřený optimalizační proces . . . . .	275
5.4.13	Mapovací metoda („Brute—Force“) . . . . .	276
5.4.14	Metoda cyklické záměny parametrů . . . . .	277
5.4.15	Princip diskretní gradientní metody . . . . .	278
5.4.16	Výpočet gradientu . . . . .	280
5.4.17	Konvergenční konstanta diskretní gradientní metody . . . . .	284
5.4.18	Modifikace gradientní metody . . . . .	287

5.4.19	Kvazistatická gradientní metoda . . . . .	292
5.4.20	Hranice uzavřené množiny přípustných realizací vektoru parametrů $\mathcal{M}_a$ . . . . .	296
5.5	Metody náhodné optimalizace parametrů . . . . .	297
5.5.1	Obecné vlastnosti . . . . .	297
5.5.2	Prostá náhodná optimalizace . . . . .	298
5.5.3	Náhodná optimalizace s pamětí úspěšného směru . . . . .	302
Literatura	. . . . .	304
Rejstřík	. . . . .	306