

AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ

- 1. SYSTÉMOVÝ ÚVOD
PRO TEORII
AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ 25**
- 2. TEORIE LINEÁRNÍ
REGULACE 47**
- 3. TEORIE NELINEÁRNÍ
REGULACE 345**
- 4. DISKRÉTNÍ
SYSTÉMY ŘÍZENÍ 403**
- 5. POPIS SYSTÉMU
VE STAVOVÉM PROSTORU 533**
- 6. DOPLŇKY 623**

OBSAH

	ZÁKLADNÍ OZNAČENÍ A SYMBOLY	13
	O KNIZE	24
1	SYSTÉMOVÝ ÚVOD PRO TEORII AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ	26
1.1	VYMEZENÍ POJMU SYSTÉM	26
1.2	DEFINICE SYSTÉMU	28
1.3	CHOVÁNÍ SYSTÉMU	29
1.4	STRUKTURA SYSTÉMU	34
1.5	ZMĚNY CHOVÁNÍ SYSTÉMŮ	36
1.6	TŘÍDĚNÍ SYSTÉMŮ	36
1.7	KYBERNETICKÝ SYSTÉM	38
1.8	MODELOVÁNÍ, IDENTIFIKACE A SIMULACE	41
2	TEORIE LINEÁRNÍ REGULACE	48
2.1	ANALÝZA	48
2.1.1	Linearizace	48
2.1.1.1	Linearizace tečnou rovinou	49
2.1.1.2	Linearizace metodou minimálních kvadratických odchylek	54
2.1.2	Laplaceova transformace	56
2.1.2.1	Definiční vztahy	56
2.1.2.2	Základní vlastnosti Laplaceovy transformace	60
2.1.2.3	Heavisideův rozvoj	61
2.1.2.4	Způsob použití Laplaceovy transformace	64
2.1.3	Popis statických a dynamických vlastností systémů	70
2.1.3.1	Popis systému lineární diferenciální rovnicí	72
2.1.3.2	Přenos systému	73
2.1.3.3	Přechodová funkce a přechodová charakteristika systému	77
2.1.3.4	Impulzová funkce a impulzová charakteristika systému	78
2.1.3.5	Kmitočtový přenos	81
2.1.3.6	Amplitudo-fázová kmitočtová charakteristika v komplexní rovině	84

TEORIE NELINEÁRNÍ REGULACE

3.1	ÚVOD	346
3.2	TYPY NELINEARIT	348
3.3	PŘEHLED METOD ŘEŠENÍ NELINEÁRNÍCH REGULAČNÍCH OBVODŮ	351
3.4	METODA STAVOVÉ ROVINY (PROSTORU)	353
3.5	STABILITA NELINEÁRNÍCH REGULAČNÍCH OBVODŮ	380

DISKRÉTNÍ SYSTÉMY ŘÍZENÍ

4.1	POPIS DISKRÉTNÍHO REGULAČNÍHO OBVODU	404
4.2	VZORKOVÁNÍ	410
4.3	TVAROVÁNÍ VZORKOVANÝCH SIGNÁLŮ	415
4.4	Z TRANSFORMACE	419
4.5	LINEÁRNÍ DIFERENČNÍ ROVNICE A JEJICH ŘEŠENÍ ...	440
4.6	DISKRÉTNÍ LINEÁRNÍ DYNAMICKÉ SYSTÉMY	445
4.7	BLOKOVÁ ALGEBRA V DISKRÉTNÍCH OBVODECH ..	453
4.8	STABILITA DISKRÉTNÍCH SYSTÉMŮ	462
4.9	ALGORITMY ŘÍZENÍ	469

POPIS SYSTÉMU VE STAVOVÉM PROSTORU

- 5.1 STAVOVÝ MODEL SYSTÉMU ... 534
- 5.2 URČENÍ STAVOVÉHO MODELU JEDNOROZMĚROVÉHO SYSTÉMU Z DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE, RESP. Z PŘENOSU NEBO Z ROVNICE DIFERENČNÍ 538
- 5.3 MNOHOROZMĚROVÉ SYSTÉMY 547
- 5.4 URČENÍ PŘENOSOVÉ MATICE SYSTÉMU ZE STAVOVÉHO MODELU 561
- 5.5 ŘEŠENÍ ROVNIC STAVOVÉHO MODELU 567
- 5.6 ŘEŠENÍ STABILITY SYSTÉMŮ 572
- 5.7 STAVOVÉ REGULÁTORY 574
- 5.8 NĚKTERÉ VLASTNOSTI SYSTÉMŮ 580
- 5.9 ŘÍZENÍ NELINEÁRNÍHO PODSYSTÉMU METODOU AGREGACE STAVOVÝCH PROMĚNNÝCH 591

DOPLŇKY

- 6.1 DEFINIČNÍ VZTAHY A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI LAPLACEOVY A Z TRANSFORMACE 624
- 6.2 ZÁKLADNÍ SLOVNÍK LAPLACEOVY A Z TRANSFORMACE 626
- 6.3 ZÁKLADNÍ SLOVNÍK MODIFIKOVANÉ Z TRANSFORMACE 629
- 6.4 POTŘEBNÉ POZNATKY Z Maticového počtu 630

2.1.3.7	Kmitočtové charakteristiky v logaritmických souřadnicích	85
2.1.3.8	Vnitřní popis dynamických vlastností systémů	94
2.1.3.9	Poloha pólů a nul přenosu	96
2.1.4	Typové dynamické členy regulačních obvodů	97
2.1.4.1	Základní dynamické členy	98
2.1.4.2	Fyzikální realizovatelnost členů regulačních obvodů	101
2.1.4.3	Dynamické členy s minimální fází	102
2.1.5	Bloková algebra	104
2.1.6	Regulované soustavy	112
2.1.6.1	Proporcionální regulované soustavy	113
2.1.6.2	Integrační regulované soustavy	115
2.1.6.3	Regulované soustavy s neminimální fází	119
2.1.6.4	Regulované soustavy s dopravním zpožděním	120
2.1.6.5	Jednoduché metody identifikace regulovaných soustav	128
2.1.6.6	Úprava přenosů regulovaných soustav	138
2.1.7	Regulátory	144
2.1.7.1	Dynamické vlastnosti spojitých regulátorů	146
2.1.7.2	Stavitelné parametry regulátorů	151
2.1.7.3	Význam zpětné vazby u spojitých regulátorů	154
2.1.7.4	Charakteristika činnosti spojitých regulátorů	155
2.1.7.5	Interakce konstant regulátorů	156
2.1.7.6	Nespojitě regulátory	158
2.1.8	Regulační obvod	164
2.1.9	Stabilita regulačního obvodu	169
2.1.10	Kritéria stability	173
2.1.10.1	Algebraická kritéria stability	173
2.1.10.2	Kmitočtová kritéria stability	179
2.1.11	Oblast stability regulačních obvodů	204
2.1.11.1	Oblast stability jednoho nastavitelného parametru	204
2.1.11.2	Oblast stability v rovině dvou nastavitelných parametrů	207
2.1.12	Přesnost regulace	210
2.1.13	Citlivostní analýza struktury řízení	215
2.1.13.1	Otevřená struktura – systém ovládání	215
2.1.13.2	Uzavřená struktura – systém regulace	216

2.2	SYNTÉZA	218
2.2.1	Charakteristika syntézy	218
2.2.2	Volba struktury regulátoru k dané regulované soustavě ...	221
2.2.3	Jakost regulačního pochodu	222
2.2.3.1	Posouzení jakosti regulačního pochodu ze stupně stability ...	222
2.2.3.2	Metoda kritického zesílení regulátoru (metoda Ziegler-Nicholsova)	229
2.2.3.3	Seřízení regulátoru na základě znalosti přechodové charakteristiky regulované soustavy	233
2.2.3.4	Seřízení regulátoru podle funkcí standardního tvaru	236
2.2.3.5	Kritérium jakosti regulace podle funkcionálu odchylky (integrální kritéria)	244
2.2.3.6	Seřízení regulátoru podle optimálního modulu	260
2.2.3.7	Kmitočtové metody syntézy	265
2.2.3.8	Seřizování analogových regulátorů metodou požadovaného modelu (metodou inverze dynamiky)	275
2.2.4	Rozvětvené jednorozměrové regulační obvody	281
2.2.4.1	Regulační obvod s pomocnou regulovanou veličinou	283
2.2.4.2	Regulační obvod s přiřazením poruchové veličiny	286
2.2.4.3	Regulační obvod s pomocnou akční veličinou	290
2.2.4.4	Regulační obvod s modelem regulované soustavy	293
2.2.4.5	Sdružené rozvětvené jednorozměrové regulační obvody	295
2.2.4.6	Shrnutí	296
2.2.5	Servomechanizmy	297
2.2.5.1	Úvod	297
2.2.5.2	Typy servomechanizmů	301
2.2.5.3	Vlastnosti servomechanizmů	301
2.2.5.4	Korekce servomechanizmů	310
2.2.5.5	Shrnutí	319
2.2.6	Mnohorozměrové regulační obvody	320
2.2.6.1	Popis mnohorozměrových regulovaných soustav	322
2.2.6.2	Autonomnost a invariantnost	326
2.2.6.3	Stabilita mnohorozměrových regulačních obvodů	328
2.2.6.4	Dvourozměrový regulační obvod; popis, syntéza	329
2.2.6.5	Syntéza vazebních a korekčních členů mnohorozměrových obvodů	334
2.2.6.6	Náhrada vícerozměrového regulačního obvodu jednorozměrovými rozvětvenými regulačními obvody	339

3	TEORIE NELINEÁRNÍ REGULACE	346
3.1	ÚVOD	346
3.2	TYPY NELINEARIT	348
3.3	PŘEHLED METOD ŘEŠENÍ NELINEÁRNÍCH REGULAČNÍCH OBVODŮ	351
3.4	METODA STAVOVÉ ROVINY (PROSTORU)	353
3.4.1	Matematický model	353
3.4.2	Odvození diferenciální rovnice stavové trajektorie	355
3.4.3	Souvislost stavové trajektorie systému s průběhem výstupní veličiny $y(t)$	357
3.4.4	Grafické konstrukce stavové trajektorie	358
3.4.4.1	Metoda izoklín	358
3.4.4.2	Metoda použitím pomocných křivek $x_1 = -g(x_2)$ a $x_2 = f(x_1)$	364
3.4.5	Stavový prostor	367
3.4.6	Vyjádření času ve stavové rovině	368
3.4.7	Ustálené stavy nelineárních systémů	372
3.4.8	Základní tvary stavových trajektorií pro různé typy singulárních bodů	376
3.5	STABILITA NELINEÁRNÍCH REGULAČNÍCH OBVODŮ ...	380
3.5.1	Základní pojmy	380
3.5.2	Metoda ekvivalentního přenosu	384
3.5.3	Popovovo kritérium stability	396
4	DISKRÉTNÍ SYSTÉMY ŘÍZENÍ	404
4.1	POPIS DISKRÉTNÍHO REGULAČNÍHO OBVODU	404
4.2	VZORKOVÁNÍ	410
4.3	TVAROVÁNÍ VZORKOVANÝCH SIGNÁLŮ	415
4.4	Z TRANSFORMACE	419
4.4.1	Definiční vztahy a základní vlastnosti	419
4.4.2	Příklady výpočtu přímé a zpětné Z transformace	422

4.4.2.1	Přímá Z transformace	422
4.4.2.2	Zpětná Z transformace	427
4.4.3	Modifikovaná Z transformace – Z_c	438
4.5	LINEÁRNÍ DIFERENČNÍ ROVNICE A JEJICH ŘEŠENÍ	440
4.6	DISKRÉTNÍ LINEÁRNÍ DYNAMICKÉ SYSTÉMY	445
4.6.1	Diferenční rovnice systému	446
4.6.2	Diskrétní přenos (Z-přenos)	446
4.6.3	Diskrétní impulzní funkce a charakteristika	448
4.6.4	Diskrétní přechodová funkce a charakteristika	449
4.6.5	Souvislost mezi diskretními přechodovými a impulzními funkcemi	449
4.6.6	Podmínky fyzikální realizovatelnosti	452
4.7	BLOKOVÁ ALGEBRA V DISKRÉTNÍCH OBVODECH	453
4.7.1	Příklady ilustrující zapojení bloků diskretních obvodů	454
4.7.2	Z-přenos spojitě pracující části diskretního regulačního obvodu	459
4.7.3	Výpočet Z-přenosu řízení diskretního regulačního obvodu	461
4.8	STABILITA DISKRÉTNÍCH SYSTÉMŮ	462
4.9	ALGORITMY ŘÍZENÍ	469
4.9.1	Regulátory s pevně danou strukturou	469
4.9.1.1	Číslicové PID \Rightarrow PSD regulátory	470
4.9.1.2	Potlačení šumu v signálech diskretního regulačního obvodu	484
4.9.1.3	Doplňující funkce praktických realizací regulátorů	488
4.9.1.4	Výpočtové postupy při analýze a syntéze diskretních regulačních obvodů s číslicovým regulátorem	491
4.9.1.5	Seřizování číslicových regulátorů z kritických hodnot regulátoru a z průběhu přechodových charakteristik regulované soustavy	500
4.9.1.6	Seřizování číslicových regulátorů metodou požadovaného modelu (inverze dynamiky)	506
4.9.2	Obecný lineární regulátor	512

4.9.3	Algebraické metody řízení	518
4.9.3.1	Vybrané operace s polynomy	519
4.9.3.1.1	<i>Dělení polynomů</i>	<i>519</i>
4.9.3.1.2	<i>Faktorizace polynomu</i>	<i>521</i>
4.9.3.2	Diofantická rovnice a její řešení	521
4.9.3.2.1	<i>Řešení diofantické rovnice na základě největšího společného dělitele dvou polynomů</i>	<i>522</i>
4.9.3.2.2	<i>Řešení diofantické rovnice metodou neurčitých koeficientů</i>	<i>523</i>
4.9.3.2.3	<i>Speciální řešení x, y minimalizující stupeň polynomu y</i>	<i>525</i>
4.9.3.3	Zpětnovazební obvod a jeho stabilita	526
4.9.3.4	Stabilní časově optimální řízení	528
5	POPIS SYSTÉMU VE STAVOVÉM PROSTORU	534
5.1	STAVOVÝ MODEL SYSTÉMU	534
5.2	URČENÍ STAVOVÉHO MODELU JEDNOROZMĚROVÉHO SYSTÉMU Z DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE, RESP. Z PŘENOSU NEBO Z ROVNICE DIFERENČNÍ	538
5.2.1	Diferenciální rovnice neobsahuje derivace vstupní funkce	539
5.2.2	Diferenciální rovnice obsahuje derivace vstupní funkce	544
5.3	MNOHOROZMĚROVÉ SYSTÉMY	547
5.3.1	Soustava diferenciálních rovnic spojitého lineárního mnohorozměrového dynamického systému	548
5.3.2	Určení stavového modelu ze soustavy diferenciálních rovnic spojitého lineárního dynamického systému	550
5.4	URČENÍ PŘENOSOVÉ MATICE SYSTÉMU ZE STAVOVÉHO MODELU	561
5.4.1	Pro mnohorozměrový systém	561
5.4.2	Pro jednorozměrový systém	564
5.5	ŘEŠENÍ ROVNIC STAVOVÉHO MODELU	567
5.5.1	Řešení autonomních (volných) systémů	567

5.5.2	Řešení neautonomních systémů	571
5.6	ŘEŠENÍ STABILITY SYSTÉMŮ	572
5.7	STAVOVÉ REGULÁTORY	574
5.8	NĚKTERÉ VLASTNOSTI SYSTÉMŮ	580
5.8.1	Dosažitelnost a říditelnost	580
5.8.2	Pozorovatelnost a rekonstruovatelnost	581
5.8.3	Kanonický rozklad	583
5.8.4	Vzájemná spojení stavových modelů dílčích systémů ..	587
5.8.4.1	Paralelní zapojení	588
5.8.4.2	Sériové zapojení	589
5.8.4.3	Antiparalelní zapojení	590
5.9	ŘÍZENÍ NELINEÁRNÍHO PODSYSTÉMU METODOU AGREGACE STAVOVÝCH PROMĚNNÝCH	591
5.9.1	Modely standardních nelineárních podsystemů	592
5.9.2	Návrh nerobustního řízení	600
5.9.3	Návrh robustního řízení	610
6	DOPLŇKY	623
6.1	DEFINIČNÍ VZTAHY A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI LAPLACEOVY A Z TRANSFORMACE	624
6.2	ZÁKLADNÍ SLOVNÍK LAPLACEOVY A Z TRANSFORMACE	626
6.3	ZÁKLADNÍ SLOVNÍK MODIFIKOVANÉ ZE TRANSFORMACE	629
6.4	POTŘEBNÉ POZNATKY Z MATICOVÉHO POČTU	630
	DOSLOV	641
	LITERATURA	643
	REJSTŘÍK	649

SYSTÉMOVÝ ÚVOD PRO TEORII AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

1.1	VYMEZENÍ POJMU SYSTÉM	26
1.2	DEFINICE SYSTÉMU	28
1.3	CHOVÁNÍ SYSTÉMU	29
1.4	STRUKTURA SYSTÉMU	34
1.5	ZMĚNY CHOVÁNÍ SYSTÉMŮ	36
1.6	TŘÍDĚNÍ SYSTÉMŮ	36
1.7	KYBERNETICKÝ SYSTÉM	38
1.8	MODELOVÁNÍ, IDENTIFIKACE A SIMULACE	41

TEORIE LINEÁRNÍ REGULACE

2.1 ANALÝZA	48
2.1.1 LINEARIZACE	48
2.1.2 LAPLACEOVA TRANSFORMACE	56
2.1.3 POPIS STATICKÝCH A DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ SYSTÉMŮ	70
2.1.4 TYPOVÉ DYNAMICKÉ ČLENY REGULAČNÍCH OBVODŮ	97
2.1.5 BLOKOVÁ ALGEBRA	104
2.1.6 REGULOVANÉ SOUSTAVY	112
2.1.7 REGULÁTORY	144
2.1.8 REGULAČNÍ OBVOD	164
2.1.9 STABILITA REGULAČNÍHO OBVODU	169
2.1.10 KRITÉRIA STABILITY	173
2.1.11 OBLAST STABILITY REGULAČNÍCH OBVODŮ	204
2.1.12 PŘESNOST REGULACE	210
2.1.13 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA STRUKTURY ŘÍZENÍ	215
2.2 SYNTÉZA	218
2.2.1 CHARAKTERISTIKA SYNTÉZY	218
2.2.2 VOLBA STRUKTURY REGULÁTORU K DANÉ REGULOVANÉ SOUSTAVĚ	221
2.2.3 JAKOST REGULAČNÍHO POCHODU	222
2.2.4 ROZVĚTVENÉ JEDNOROZMĚROVÉ REGULAČNÍ OBVODY	281
2.2.5 SERVOMECHANIZMY	297
2.2.6 MNOHOROZMĚROVÉ REGULAČNÍ OBVODY ...	320