

## OBSAH

SEZNAM FREKVENTOVANÝCH SYMBOLŮ .....	7
PŘEDMLUVA .....	8
1 ÚVOD.....	10
2 ANALÝZA SYSTÉMŮ S NESTRUKTUROVANOU DYNAMICKOU NEURČITOSTÍ .....	12
2.1 Základy zpětnovazebního řízení .....	12
2.2 Vnitřní stabilita nominálního systému.....	14
2.3 Neurčitost řízeného systému.....	17
2.4 Robustní stabilita .....	18
2.5 Robustní kvalita regulace .....	20
3 TECHNIKA NAVRHOVÁNÍ ROBUSTNÍCH REGULÁTORŮ POMOCÍ LOOPSHAPINGU ...	24
3.1 Systémy s nulami v pravé polorovině.....	26
3.2 Systémy s póly v pravé polorovině.....	27
3.3 Zahnutí nestabilních nul a pólů do popisu neurčitosti.....	28
4 ALGEBRAICKÁ TEORIE ŘÍZENÍ .....	30
4.1 Okruhy a tělesa .....	30
4.2 Diofantické rovnice .....	30
4.3 Popis lineárních systémů v $R_{ps}$ .....	31
4.4 Dělitelnost v okruhu $R_{ps}$ .....	32
4.5 Syntéza řízení v okruhu $R_{ps}$ .....	32
4.5.1 <i>Struktura obvodu</i> .....	32
4.5.2 <i>Folmulace úlohy</i> .....	33
4.5.3 <i>Podmínky robustní stability v <math>R_{ps}</math></i> .....	34
5 STABILIZACE ŘÍDICÍHO OBVODU VE STAVOVÉM POPISU .....	36
5.1 Zvláštní případy.....	38
5.1.1 <i>Full information</i> .....	39
5.1.2 <i>Disturbance feedforward</i> .....	40
5.1.3 <i>Full control</i> .....	42
5.1.4 <i>Output estimation</i> .....	43
5.2 Obecný zpětnovazební obvod.....	44
5.3 Struktura regulátoru a princip separace .....	46
5.4 Zobrazení v uzavřeném obvodu .....	47
5.5 Lineární zlomková transformace a stabilita.....	48
6 $H_2$ OPTIMÁLNÍ REGULÁTOR.....	51
6.1 Klasický LQR problém.....	51

6.2	Standardní syntéza v $H_2$ .....	56
6.3	Zmírnění některých předpokladů.....	63
7	ŘÍZENÍ V $H_\infty$ .....	65
7.1	Úvod.....	65
7.2	Standardní syntéza v $H_\infty$ .....	66
7.2.1	<i>Hankelovy a Hankel-Toeplitzovy operátory</i> .....	68
7.2.2	<i>Full information</i> .....	74
7.2.3	<i>Full Control</i> .....	78
7.2.4	<i>Disturbance Feedforward</i> .....	79
7.2.5	<i>Output estimation</i> .....	81
7.2.6	<i>Důkaz věty 7.1</i> .....	82
7.3	Zmírnění některých předpokladů.....	85
7.4	Syntéza v $H_\infty$ s využitím LMI.....	86
7.4.1	<i>Vyjádření všech <math>H_\infty</math> zpětnovazebních regulátorů</i> .....	90
7.4.2	<i>Vztah LMI řízení ke standardní syntéze v <math>H_\infty</math> (kapitola 7.2)</i> .....	95
7.5	Limitní případy.....	99
8	SMÍŠENÁ A DYNAMICKÁ STRUKTUROVANÁ NEURČITOSTÍ.....	100
8.1	$\mu$ -analýza.....	100
8.1.1	<i>Základní pojmy</i> .....	100
8.1.2	<i>Lineární zlomková transformace (LFT)</i> .....	105
8.1.3	<i>Dobrá určenost matice a kvalita regulace pro konstantní LFT</i> .....	106
8.1.4	<i>Frekvenční oblast v <math>\mu</math>-analýze</i> .....	107
8.1.4.1	<i>Robustní stabilita v <math>\mu</math></i> .....	107
8.1.4.2	<i>Robustní kvalita regulace v <math>\mu</math></i> .....	109
8.2	$\mu$ -syntéza.....	111
8.2.1	<i>D-K iterace</i> .....	111
8.2.2	<i><math>\mu</math>-K iterace</i> .....	112
8.3	Algebraický přístup.....	114
8.3.1	<i>Metoda přiřazení pólů</i> .....	115
8.3.2	<i>Optimalizace polohy pólů s využitím <math>\mu</math>-funkce</i> .....	115
9	PARAMETRICKÁ NEURČITOST.....	117
9.1	Úvod.....	117
9.2	Základní směry řešení.....	118
9.2.1	<i>Charitonovské problémy</i> .....	119
9.2.2	<i>Numerické postupy</i> .....	123
9.3	Charitonovův teorém.....	124

9.4	Věta o stabilitě na hranách kvádrů neurčitostí (Edge Theorem) .....	127
9.5	Zobecněný Charitonovův teorém .....	129
9.5.1	Úvod .....	130
9.5.2	Formulace problému a způsob zápisu .....	131
9.5.3	Zobecněný Charitonovův teorém .....	135
9.5.4	Interpretace pomocí množiny obrazů .....	143
9.6	Věta o zobrazení (Mapping Theorem) .....	144
10	OPTIMALIZAČNÍ METODY .....	149
10.1	Klasifikace úloh a metod .....	149
10.2	Klasické metody optimalizace .....	150
10.2.1	Gradientní metody .....	150
10.2.2	Newtonova metoda .....	152
10.2.3	Metoda pružných polyedrů (Nelder-Meadova) .....	152
10.3	Evoluční algoritmy .....	157
10.3.1	Definice jedince .....	157
10.3.2	Genetické algoritmy .....	158
10.3.3	Diferenciální evoluce .....	159
10.3.4	SOMA (Self-Organizing Migration Algorithm) .....	162
10.3.5	Diferenciální migrace .....	165
10.3.6	Experimenty na testovací funkci .....	168
11	PŘÍKLADY APLIKACÍ .....	171
11.1	Simulační experimenty .....	171
11.1.1	Návrh regulátoru pro systém s nulou v pravé polorovině .....	171
11.1.2	Návrh regulátoru pro systém s nestabilním pólem .....	179
11.1.3	Systém s neurčitým dopravním zpožděním .....	185
11.1.4	Systémy s časově proměnnými parametry .....	196
11.1.5	Řízení pohybů letadla HIMAT .....	204
11.1.5.1	Popis HIMAT a cíle řízení .....	204
11.1.5.2	Struktura uzavřeného zpětnovazebního obvodu .....	205
11.1.5.3	Neurčitý model HIMAT .....	206
11.1.5.4	Kvalita řízení uzavřeného regulačního obvodu .....	207
11.1.5.5	Syntéza regulátoru .....	208
11.2	Řízení teplovzdušného obvodu .....	214
11.2.1	Řízení teploty .....	215
11.2.2	Řízení rychlosti proudění vzduchu .....	223
	DODATKY .....	231
A	Matematické základy .....	231

A.1	<i>Algebraické struktury</i> .....	231
A.1.1	Okruhy a tělesa .....	231
A.1.2	Lineární vektorové prostory .....	232
A.1.3	Metrické, normované a lineární prostory se skalárním součinem .....	233
A.2	<i>Prostory funkcí</i> .....	236
A.2.1	Úvod .....	236
A.2.2	Banachovy a Hilbertovy prostory .....	236
A.2.3	Operátory a signálové prostory .....	237
A.2.3.1	Časová oblast .....	237
A.2.3.2	Frekvenční oblast .....	238
A.2.4	Isomorfismus .....	239
A.2.5	Indukované normy .....	240
A.2.6	Některé důležité indukované normy .....	243
A.2.6.1	Zobrazení $L^\infty \rightarrow L^\infty$ .....	243
A.2.6.2	Zobrazení $L^2 \rightarrow L^2$ .....	243
A.2.6.3	Norma $H_2$ .....	244
A.3	<i>Singulární čísla</i> .....	245
B	<i>Systémové výpočty</i> .....	248
B.1	<i>Sériové zapojení</i> .....	248
B.2	<i>Záměna proměnných</i> .....	249
B.3	<i>Stavová zpětná vazba</i> .....	249
B.4	<i>Odhad stavů</i> .....	249
B.5	<i>Transponovaný systém</i> .....	249
B.6	<i>Konjugovaný systém</i> .....	250
B.7	<i>Součet (paralelní zapojení)</i> .....	250
B.8	<i>Zpětná vazba na výstupu</i> .....	250
B.9	<i>Inverze</i> .....	251
B.10	<i>Lineární zlomková transformace</i> .....	252
C	<i>Riccatiho rovnice</i> .....	257
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	262
	SEZNAM TABULEK .....	266
	REJSTŘÍK .....	267
	LITERATURA .....	269