

OBSAH

Předmluva	5
Důležitá označení a pojmy	11
1. Úvod do problematiky optimálního řízení	13
1.1. Variační počet a jeho aplikace	14
1.1.1. Základní pojmy a vztahy	14
1.1.2. Extrém s vedlejší podmínkou	15
1.1.3. Aplikace na problémy regulační techniky	17
1.2. Optimalizace lineárních objektů podle kvadratického kritéria	19
1.2.1. Základní pojmy a vztahy	19
1.2.2. Regulator stavu, výstupu a odchylky	21
1.2.3. Základní rovnice optimálního regulátoru stavu	23
1.2.4. Struktura optimálního regulátoru stavu	24
1.2.5. Optimální regulátor výstupu a optimální regulátor odchylky	29
1.2.6. Rozbor Riccatiho rovnice	31
1.3. Volba kritériální funkce	33
1.4. Zhodnocení různých metod výpočtu optimálního řízení	38
2. Postup při návrhu regulátoru a při popisu řízeného objektu	39
2.1. Postup při návrhu a realizaci optimálního systému automatického řízení	39
2.2. Identifikace řízených objektů fyzikálně matematickou analýzou	47
2.2.1. Fyzikálně matematická analýza	47
2.2.2. Vliv nelinearit a metody linearizace	60
2.3. Identifikace řízených soustav podle informací získaných experimentálním vyšetřením	68
2.3.1. Metody experimentálního vyšetření	68
2.3.2. Měření a určování jednotlivých koeficientů matematického modelu	69
2.3.3. Vyšetřování soustav na základě přímého měření vstupního a výstupního signálu	74
a) Měření přechodových charakteristik	74
b) Měření frekvenčních charakteristik	77
c) Experimentální vyšetření statistickými metodami	80
2.3.4. Zpracování výsledků získaných experimentálním vyšetřením	84
a) Zpracování přechodové charakteristiky	84
b) Zpracování frekvenčních charakteristik	88
c) Zpracování statistických charakteristik výstupních a vstupních proměnných	88
3. Výpočet optimálního jednosložkového vektoru řízení (řídícího signálu)	91
3.1. Výpočet optimálního vektoru řízení analytickými metodami	91
3.1.1. Metoda výpočtu parametrů regulátoru vycházející ze standardních tvarů	91
3.1.2. Metoda výpočtu parametrů regulátoru vycházející z metody izometrických transformací	105
3.2. Výpočet parametrů optimálního regulátoru na hybridním počítači při kvadratickém kritériu výstupní veličiny	115
4. Návrh suboptimálního regulátoru	122
4.1. Parametry regulátoru typu $u = -Dx$ podle rovnice (38) jako funkce poměrného váhového koeficientu q	123

4.1.1.	Formulace problému	123
4.1.2.	Stanovení analytické funkce $\mathbf{D} = f(q)$	123
4.1.3.	Výpočet funkce $\mathbf{D} = f(q)$ na počítači	127
4.2.	Výšetřování samobuzených kmitů a stanovení intervalu pro volbu váhového koeficientu q	128
4.2.1.	Frekvenční charakteristika lineární části $F_1(j\omega)$	129
4.2.2.	Určení oblasti stability systému automatického řízení	131
4.3.	Návrh suboptimálního regulátoru dané struktury	135
4.3.1.	Formulace problému	135
4.3.2.	Regulátor s konstantními parametry	136
4.3.3.	Regulátor s jedním proměnným parametrem	137
	a) Volba proměnného parametru regulátoru	138
	b) Stanovení funkční závislosti proměnného parametru regula- toru	140
4.4.	Ustálené odchytky systému s regulátorem typu $\mathbf{u} = -\mathbf{D}\mathbf{x}$ podle rovnice (38)	142
4.4.1.	Ustálená odchytka řízení	142
	a) Přenos otevřené smyčky systému automatického řízení	144
	b) Ustálená odchytka řízení	145
	c) Zmenšení ustálené odchytky řízení	147
4.4.2.	Ustálená odchytka poruchy	149
	a) Přenos poruchy	150
	b) Ustálená odchytka poruchy	153
	c) Zmenšení ustálené odchytky poruchy	153
5.	Dosažení požadované přesnosti optimálních systémů automatického řízení	156
5.1.	Rozbor přesnosti a požadavků na volbu zpětných vazeb	156
5.2.	Dosažení požadované přesnosti kombinovaným způsobem řízení	158
5.2.1.	Možnosti využití teorie invariantnosti	158
5.2.2.	Kompenzace vlivu poruch u systémů automatického řízení opti- málních podle kvadratického kritéria	162
5.2.3.	Dosažení požadovaného stupně astatismu optimálních systémů automatického řízení	165
5.3.	Úprava struktury optimálního systému automatického řízení pro dosažení astatismu prvního řádu	173
5.4.	Způsob nepřímého měření poruchové veličiny	176
6.	Filtrace a rekonstrukce stavových proměnných	178
6.1.	Filtrace signálů stavových proměnných	178
6.2.	Luenbergerův rekonstruktor stavu	182
6.3.	Redukovaný Luenbergerův rekonstruktor stavu	184
7.	Doporučení pro realizaci optimálních systémů auto- matického řízení	189
7.1.	Výběr členů optimálního systému	189
7.1.1.	Výběr akčních členů	189
7.1.2.	Energetický výpočet akčních členů	191
7.1.3.	Požadavky na zesilovače	193
7.1.4.	Požadavky na čidla a měřicí členy	197
7.2.	Realizace suboptimálního regulátoru systému automatického řízení	199

8.	Příklady průmyslových systémů automatického řízení	201
8.1.	Suboptimální regulátor pro pohon posuvu obráběcího stroje	201
8.1.1.	Popis řízeného objektu	201
8.1.2.	Specifikace pracovních režimů systému automatického řízení	
	a) požadavky na kvalitu regulace	205
	a) Požadavky na regulátor stavu	206
	b) Požadavky na regulátor odchylky	206
8.1.3.	Suboptimální regulátor stavu	207
	a) Základní tvar regulátoru stavu	207
	b) Požadavky na jednotlivé složky matice \mathbf{D} z hlediska minimální ustálené odchylky $ \Delta x_{4; t \rightarrow \infty} $	209
	c) Návrh regulátoru stavu	209
	d) Algoritmus pro určení funkce $\bar{J}_1 = f(\Delta x_4)$	216
	e) Realizace suboptimálního regulátoru stavu	219
	f) Kompenzace vlivu momentové poruchy	220
	g) Měření pohonu posuvu obráběcího stroje řízeného suboptimálním regulátorem stavu	225
	h) Porovnání automatického systému řízeného suboptimálním regulátorem stavu s původním polohovým servomechanismem	225
8.1.4.	Suboptimální regulátor odchylky	227
	a) Ustálená odchylka řízení	227
	b) Návrh korekčního členu F_4	229
	c) Návrh korekčního členu F_3	231
	d) Korekční člen F_1	235
	e) Korekční člen F_2	235
	f) Měření automatického systému řízeného suboptimálním regulátorem odchylky	235
	g) Porovnání automatického systému řízeného suboptimálním regulátorem odchylky s původním servomechanismem	240
8.2.	Suboptimální regulátor pro elektrohydraulický servomechanismus stavění válců	240
8.2.1.	Popis řízeného objektu	240
	a) Přenos elektrohydraulického převodníku	242
	b) Přenos hydraulického motoru	244
	c) Lineární model řízeného objektu	244
8.2.2.	Specifikace pracovních režimů a požadavky na kvalitu regulace	247
8.2.3.	Návrh suboptimálního regulátoru stavu	248
	a) Kompenzace vlivu necitlivosti řídicího šoupátka motoru	248
	b) Základní tvar regulátoru stavu	249
	c) Měření matematického modelu systému automatického řízení hydraulického stavění válců	251
8.2.4.	Redukovaný Luenbergerův rekonstruktor stavu	253
	a) Návrh redukovaného Luenbergerova rekonstruktoru	253
	b) Ověření rekonstruktoru	258
	c) Poznámky k realizaci rekonstruktoru	259
8.2.5.	Celkové blokové schéma suboptimálního systému automatického řízení	262
8.3.	Suboptimální regulátor otáček motoru Schrage a motoru Winter-Eichberg	262
8.3.1.	Sestavení základních rovnic řízeného objektu	263
8.3.2.	Návrh regulátoru stavu	266

8.3.3.	Dosažení požadované přesnosti	270
8.3.4.	Realizace regulátoru	273
8.3.5.	Experimentální vyšetření na funkčním vzorku	277
8.4.	Příklad výpočtu parametrů optimálního regulátoru otáček, vycházejícího z metody izometrických transformací	278
	Dodatek I. Pravidla maticového počtu	285
	Dodatek II. Řiditelnost a pozorovatelnost systému automatického řízení	290
	Dodatek III. Poznámky k použitým programům	291
	Literatura	295
	Rejstřík	298