

OBSAH

I	Analýza systému v časové oblasti.....	9
1	Popis lineárních systémů.....	10
1.1	Základní pojmy	10
1.2	Soustava 1. řádu, soustavy s reálnými póly	14
1.3	Soustava 2. řádu s komplexně sdruženými póly	19
1.4	Systémy s dopravním zpožděním	25
1.5	Model dynamického systému s poruchovou veličinou	27
1.6	Popis členů a prvků v regulační technice.....	28
1.7	Vnitřní popis regulovaného systému s poruchami	29
1.7.1	Stavová reprezentace – lineární stavový popis	29
1.7.2	Určení obrazového přenosu ze stavového popisu	30
1.7.3	Stavová dosažitelnost (řiditelnost), pozorovatelnost.....	32
2	Bloková algebra	34
2.1	Signální rovnice	35
2.2	Metoda postupných úprav.....	38
2.3	Masonův vzorec.....	42
3	Geometrické místo kořenů	46
3.1	Zobrazování komplexních čísel	46
3.2	Konstrukce geometrického místa kořenů.....	48
3.3	Základní vlastnosti geometrického místa kořenů	51
4	Identifikace	54
4.1	Základní modely uzavřeného obvodu	55
4.2	Identifikační proces	58
4.2.1	Identifikovaný systém	59
4.2.2	Výstupní signál	60
4.2.3	Vstupní signál	61
4.2.4	Struktura identifikace.....	63
4.3	Struktura modelu	65
4.3.1	Obrazový přenos	65
4.3.2	Speciální struktury obrazových přenosů	65
4.3.3	Kritérium shody modelu a reálné soustavy	66
4.3.4	Optimalizační metoda	67
4.3.5	Posun výstupu modelu do pracovního bodu	68
4.4	Proces identifikace pomocí Matlabu.....	69
4.5	Základní nástroje verifikace modelu.....	72
4.6	Dekompozice a technika SVD rozkladu	72
4.6.1	Kalmanova stavová dekompozice.....	72
4.6.2	Minimální realizace	74
4.6.3	SVD faktorizace.....	76
4.7	Redukce řádu modelu	78
4.7.1	Redukce řádu obrazového přenosu	78
4.7.2	Časová dekompozice	79
4.7.3	Nalezení a eliminaci módů, které jsou špatně říditelné nebo dosažitelné.....	79
4.7.4	Normování vstupních a výstupních signálů	84
5	Vícerozměrové systémy (MIMO).....	86
5.1	Úvod do vícerozměrových systémů	86
5.2	Matematický popis MIMO systému	89
5.2.1	Popis pomocí diferenciální rovnice.....	89

5.2.2	Určení přenosové matice MIMO systému z diferenciálních rovnic	90
5.2.3	Dynamické charakteristiky MIMO systémů	92
5.2.4	Ustálené stavy	94
5.2.5	Vztah mezi přenosovou maticí a stavovým popisem	95
5.3	Bloková algebra vícerozměrových soustav	101
II	Analýza ve frekvenční oblasti	107
1	Odezva na harmonický signál	108
2	Frekvenční charakteristika v komplexní rovině – Nyquist plot	109
3	Logaritmická amplitudová a fázová charakteristika – Bode plot	113
3.1	Základní vztahy pro konstrukci charakteristiky	113
3.1.1	Člen zesílení	114
3.1.2	Člen odpovídající násobným pólům nebo nulám v počátku	114
3.1.3	Člen odpovídající násobným reálným pólům nebo nulám	116
3.1.4	Člen odpovídající komplexně sdruženým pólům a nulám	121
3.2	LAF vvybraných přenosů	122
3.2.1	Parametry asymptot LAF regulátoru PD	122
3.2.2	Parametry asymptot LAF regulátoru PI	125
3.2.3	Parametry asymptot LAF regulátoru PID	127
3.2.4	Parametry asymptot LAF filtrů	130
3.3	Bodeho charakteristika soustav s dopravním zpožděním	132
4	Stabilita ve frekvenční oblasti	136
4.1	Nyquistovo kritérium stability	136
4.1.1	Věty o stabilitě otevřeného a uzavřeného obvodu	137
4.1.2	Cauchyho princip argumentu	137
4.1.3	Podmínky stability	138
4.1.4	Skutečný počet oběhů kritického bodu - póly na imaginární ose	141
4.1.5	Skutečný počet oběhů kritického bodu - nulový násobný pól	142
4.2	Praktická aplikace Nyquistova kritéria	143
4.3	Relativní stabilita, fázová a amplitudová bezpečnost	147
5	Citlivost a neurčitost	149
5.1	Citlivostní funkce	149
5.2	Citlivost zpětné vazby	150
5.3	Normy H_2 , H_∞	154
5.4	Multiplikativní neurčitost	156
5.5	Aditivní neurčitost	162
5.6	Robustní stabilita zpětnovazebního systému s neurčitostí	162
5.6.1	Základní obvod a vztahy	162
5.6.2	Aplikace Nyquistova kritéria stability na systém s multiplikativní neurčitostí	163
III	Syntéza v časové oblasti	167
1	Základy zpětnovazebních obvodů	168
1.1	Základní struktury zpětnovazebních obvodů	168
1.1.1	Zpětnovazební obvod s jedním stupněm volnosti - jednoduchý regulační obvod	169
1.1.2	Zpětnovazební obvod se dvěma stupni volnosti	171
1.2	PID regulátor	172
1.2.1	Obrazový přenos PID regulátoru	172
1.2.2	Beznárazové přepínání a nastavování PID regulátoru	175
1.2.3	Ustálená hodnota regulační odchylky	175
1.2.4	Kvalita regulace v praktických aplikacích	179
2	Syntéza regulátoru typu PID	182

2.1	Integrální kritéria jakosti regulace	182
2.2	Ruční seřízení regulátoru PID.....	184
2.3	Inženýrské metody seřízení regulátorů	186
2.4	Seřízení parametrů regulátoru jako numerická optimalizační úloha	188
2.5	Analýtické seřízení regulátoru podle kvadratické regulační plochy.....	195
2.6	Syntéza regulátoru podle geometrického místa kořenů	202
2.6.1	Analýza regulátoru pro GMK	202
2.6.2	Charakteristiky v časové oblasti	203
2.6.3	Obecná pravidla pro volbu nul regulátoru PID	204
3	Rozvětvené obvody.....	205
3.1	Kompenzace měřené poruchy pomocí dopředné vazby	205
3.1.1	Automatické ovládání teploty topné vody na výstupu parního ohříváku realizované dopředným regulátorem	209
3.1.2	Automatická regulace teploty topné vody na výstupu parního ohříváku realizovaná dopředným a zpětnovazebním regulátorem	212
3.1.3	Regulace hladiny v parním kotli s dopřednou vazbou	213
3.2	Další možnosti zlepšování vlastností regulačních obvodů	214
3.2.1	Rozvětvené regulační obvody s pomocnou regulovanou veličinou.....	214
3.3	Rozvětvené regulační obvody s pomocnou akční veličinou.....	218
3.4	Kaskádní regulace.....	220
3.4.1	Kaskádní regulace ohřevu topné vody	223
3.4.2	Kaskádní regulace hladiny vody v bubnovém kotli.....	224
3.4.3	Regulace teploty páry za přehřívákem.....	225
3.4.4	Regulace teploty v budovách	225
3.4.5	Regulace teploty v bioreaktoru	226
3.4.6	Regulace servopohonu.....	227
3.5	Regulátory s vnitřním modelem	228
3.5.1	Struktura otevřeného regulačního obvodu a návrh dopředného regulátoru	228
3.5.2	Metoda prosté faktorizace.....	230
3.5.3	Metoda faktorizace s využitím reflexního polynomu	230
3.5.4	Struktura s paralelním modelem a zavedení zpětné vazby	231
IV	Syntéza ve frekvenční oblasti	235
1	Zásady a kritéria syntézy ve frekvenční oblasti	236
1.1	Seřízení dle Ackermana	238
1.1.1	Syntéza regulačního obvodu s PD regulátorem	238
1.1.2	Syntéza regulačního obvodu s PI regulátorem.....	240
1.1.3	Syntéza regulačního obvodu s PID regulátorem.....	242
1.2	Frekvenční seřízení regulátoru přímým výpočtem	245
1.2.1	Přímé frekvenční nastavení PD regulátoru	245
1.2.2	Přímé frekvenční nastavení PI regulátoru.....	248
1.2.3	Přímé frekvenční nastavení PID regulátoru.....	250
1.3	Analýza možností kompenzace periodických poruchových veličin.....	251
2	Robustní řízení.....	259
2.1	Struktura zobecněného modelu uzavřeného obvodu	259
2.2	Popis dynamiky zobecněného modelu uzavřeného obvodu	259
2.3	Model uzavřeného regulačního obvodu s penalizačními funkcemi.....	261
2.4	Vliv regulátoru na dynamiku soustavy se zobecněným modelem.....	264
2.5	Formulace H_2 optimálního řízení.....	265
2.6	Formulace H_∞ optimálního řízení	269
2.7	Vliv dynamické neurčitosti na dynamiku soustavy	272
2.8	Robustní řízení pro nestructurované neurčitosti.....	273

2.8.1	Kritérium kvality řízení s multiplikatívní neurčitostí	273
2.8.2	Metoda minimalizace H_∞ normy smíšené citlivosti	275
2.8.3	Signálový přístup k H_∞ optimalizace pro nestrukturované neurčitosti	276
2.8.4	Volba parametrů filtru $W_1(s) = W_P(s), W_2(s)$	277
2.8.5	Demonstrace návrhu robustního regulátoru	282
Literatura	291

I

ANALÝZA SYSTÉMU

V ČASOVÉ OBLASTI

