

OBSAH

KAPITOLA 1 REGULAČNÍ OBVOD

– základní představy o účelu, funkci a nástrojích7

1.1 Vývoj přístupů k návrhu a technické realizaci regulace.....	7
1.1.1. Přejít od regulace jako integrální součásti konstrukce daného zařízení k realizaci pomocí obvodu	7
1.1.2. Důsledky oddělené přístrojové realizace členů regulačního obvodu	8
1.1.3. Řízení, regulace a ovládání	10
1.2 Uspořádání a princip funkce regulačního obvodu, názvosloví.....	12
1.2.1. Regulační obvod	12
1.2.2. Strukturální pohled na syntézu regulačního obvodu	16
1.3 Číslíkový a analogový regulační obvod – rozdíly v typech signálů a jejich interpretaci.....	18
1.3.1. Schéma číslíkového regulačního obvodu	18
1.3.2. Signály a jejich transformace v číslíkové části	20
Matematická interpretace	22
Technická interpretace.....	23
1.4 Přehled matematických prostředků lineárního popisu regulačního obvodu a jeho částí.....	25
1.4.1. Různé podoby formulací systémů pro spojité části obvodu.....	25
Vnější popis relacemi vstup – výstup	25
Obrazové vyjádření, přenos.....	27
Charakteristiky systému (neparametrické modely)	28
Axiomatické a neaxiomatické modely	29
Vnitřní (stavový) popis.....	30
1.4.2. Přejít k formulacím v diskrétním čase	31
Přesná a přibližná diskretizace	31
Přesná diskretizace přenosu soustav	33
Přesná diskretizace stavového modelu	35
Přibližné metody diskretizace	37
1.4.3. Přenosové aproximace regulovaných soustav pro syntézu obvodu z naměřených přechodových charakteristik	38
Nekmitavé proporcionální regulované soustavy	40
Strejcova metoda identifikace přenosu s násobnou časovou konstantou	42
Kmitavé proporcionální regulované soustavy ($0 < \xi_0 < 1$).....	43
Integrační regulované soustavy.....	48
Přibližná grafická metoda konstrukce exponenciálního průběhu	50
Přímá úprava přenosů	53

KAPITOLA 2	STANDARDNÍ P-I-D REGULÁTORY a některé jejich charakterické rysy při regulaci	55
2.1	Cíl regulace.....	55
2.1.1	Základní typy regulátorů	57
2.1.2	Bezrozměrné normované vyjádření	58
2.2	Základní regulační funkce.....	61
2.2.1	Proporcionální regulace	63
2.2.2	Integrační regulace.....	65
2.2.3	Derivační regulace	69
2.2.4	Spojení základních regulačních funkcí P-I-D Paralelní a sériové spojení základních regulačních funkcí	72
	Základní složky při spojení do PID regulace	75
2.2.5	Regulátory se dvěma stupni volnosti	76
	PID regulátor se dvěma stupni volnosti.....	77
	Dva stupně volnosti u regulátorů typu PI nebo PD	79
	Vnitřní filtrace šumu	80
2.3	Vytváření diskretních náhrad spojitých PID regulátorů.....	84
2.3.1	Odvození polohového a přírůstkového číslicového PID algoritmu diskretní náhradou spojitých operací (<i>Pozn.</i>)	84
2.3.2	Shodnost a rozdílnost číslicové a analogové regulace	88
2.3.3	Podmínky pro zachování PID charakteru přechodové odezvy tříčlenného algoritmu	90
2.3.4	Regulátory se dvěma stupni volnosti a filtrace	92
KAPITOLA 3	DOPLŇKY PID FUNKCE požadované od regulátorů při použití v praxi.....	87
3.1	Beznárazové přepínání	87
3.1.1	Analogové provedení	88
3.1.2	Číslicová realizace beznárazového přepínání	91
3.2	Antiwind-up.....	93
3.2.1	Zjištění absence antiwind-up opatření u regulátorů a možné důsledky	93
3.2.2	Opatření pro odstranění wind-up efektu	96
3.3	Další typické požadavky praxe na číslicové verze PID regulátorů.....	100
3.3.1	Důvody pro zavádění modifikací číslicových PID algoritmů	100
3.3.2	Potlačení důsledků skokových změn žádané hodnoty	101
3.3.3	Potlačení šumu v diskretních realizacích derivačního členu	102
3.3.4	Aliasing	105
KAPITOLA 4	SEŘIZOVÁNÍ P-I-D REGULÁTORŮ	107
4.1	Hodnocení jakosti regulace.....	107
4.1.1	Integrální kritéria jakosti regulace	109

4.1.2. Frekvenční ukazatele kvality regulačního obvodu	113
4.2 Rozdíly v seřizování spojitých a diskrétních PID regulátorů	116
4.3 Globální metody seřizování	117
4.3.1. Metoda relativního tlumení	117
Michajlovova křivka $M(j\omega)$	119
Přibližné určení dominantního kořene	120
Zobecněná Michajlovova křivka	121
4.3.2. Metoda bezpečnosti ve fázi	126
Frekvenční charakteristika otevřeného obvodu a Nyquistovo kritérium	126
Nyquistova křivka a bezpečnost ve fázi	127
4.3.3. Metoda kompenzačního seřizení	131
4.3.4. Metoda optimálního modulu	136
Standardní tvar přenosu řízení	141
Standardní tvar přenosu řízení (kompenzační seřizení v metodě optimálního modulu)	144
Postup při seřizování metodou optimálního modulu	146
4.3.5. Metoda požadovaného modelu	150
Postup při seřizování regulátorů metodou požadovaného modelu:	155
4.3.6. Metoda násobného dominantního pólu	157
Postup při seřizování metodou násobného dominantního pólu:	160
4.4 Experimentální a empirické metody seřizování	162
4.4.1. Zieglerovy-Nicholsovy experimentální metody	162
Metoda přechodové charakteristiky	162
Postup při seřizování metodou přechodové charakteristiky:	163
Metoda kritických parametrů	165
Postup při seřizování metodou kritických parametrů:	166
Metoda čtvrtinového tlumení	169
Postup při seřizování metodou čtvrtinového tlumení:	169
4.4.2. Modifikace Zieglerových-Nicholsových metod pro číslicové regulátory	170
Postup při seřizování modifikovanými metodami přechodové charakteristiky a kritických parametrů:	172
4.4.3. Jiné experimentální a empirické metody seřizování	174
Metoda seřizení regulátorů podle Chiena, Hronese a Reswicka	174
Postup při seřizování metodou Chiena, Hronese a Reswicka:	174
Postup při seřizování podle <i>tab. 4-14</i> a <i>tab. 4-15</i> :	178
4.4.4. Metoda seřizení regulátorů metodou „pokus-omyl“	180
Postup při seřizování regulačního obvodu metodou „pokus-omyl“:	180
4.4.5. Metoda relé	181
KAPITOLA 5 REGULÁTORY S OPTIMALIZOVANOU STRUKTUROU	183
5.1 Diskrétní kompenzační regulace	184
5.1.1. Princip kompenzace dynamiky soustavy v otevřeném obvodu $\backslash b b$	184
Realizovatelnost přenosu G_R	185
5.1.2. Návrh kompenzačního regulátoru uplatněním principu realizovatelnosti	186
5.1.3. Neminimálnifázovost diskrétního přenosu soustavy a její důsledky na stabilitu obvodu	190
Heuristické odstranění nestability způsobované neminimálnifázovostí přenosu sousta-	

vy.....	193
Podmínková rovnice stability.....	195
5.1.4. Návrh regulátoru na principu přidělení pólů přenosům obvodu.....	199
Používané struktury obvodu pro návrh s přidělením pólů.....	199
Volba určujícího polynomu.....	202
Určení stupňů polynomů v diofantické rovnici a řešení metodou neurčitých koeficientů.....	207
5.1.5. Algebraická teorie.....	208
Příklady návrhu regulace v konečném počtu kroků.....	211
KAPITOLA 6 STAVOVÉ REGULÁTORY.....	213
6.1 Úvod.....	213
6.2 Získání stavového popisu.....	214
6.2.1. Model kaskády dvou nádrží.....	215
Sestavení bilančních rovnic.....	215
Linearizace.....	216
Statické charakteristiky.....	217
Lineární stavový model kaskády nádrží.....	217
Převod stavového modelu na matici přenosů.....	218
6.2.2. Základní kanonické struktury a jejich souvislost s vnějším popisem.....	222
6.2.3. Transformace souřadnic a změna struktur.....	227
Operátor transformace.....	227
Vlastní vektory, vlastní čísla, módy.....	227
6.2.4. Podobnostní transformace.....	229
6.3 Proporcionální zpětná vazba od stavových proměnných.....	231
6.3.1. Syntéza stavové zpětné vazby využívající Frobeniův kanonický tvar.....	232
Nekmitavý setrvačný systém druhého řádu.....	233
Korekce statického zesílení.....	233
Syntéza pro obecný tvar prostřednictvím Frobeniova tvaru.....	234
6.3.2. Stavově realizovaný návrh regulace v konečném počtu kroků.....	236
KAPITOLA 7 REGULÁTORY V ROZVĚTVENÝCH OBVODECH REGULACE JEDNÉ VELIČINY.....	241
7.1 Obvod s pomocnou regulovanou veličinou.....	241
Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu s pomocnou regulovanou veličinou:.....	243
7.2 Obvod poměrové regulace.....	246
Postup při seřízení rozvětveného obvodu poměrové regulace:.....	248
7.3 Obvod s pomocnou akční veličinou.....	250
Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu s pomocnou akční veličinou:.....	251
7.4 Obvod s měřením poruchové veličiny.....	254
Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu s měřenou poruchovou veličinou:.....	255
7.5 Obvod s vnitřním modelem.....	257
Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu s vnitřním modelem.....	260
7.6 Obvod se Smithovým prediktorem.....	262

Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu se Smithovým prediktorem:	263
PID	264
PID	264
Postup při seřízení rozvětveného regulačního obvodu s modifikovaným Smithovým prediktorem	265

KAPITOLA 8 REGULÁTORY V OBVODECH REGULACE VÍCE VELIČIN S OVLIVNĚNÍM267

8.1 Souběžná regulace více veličin na jednom objektu	267
8.1.1. Regulační obvod s více vzájemně se ovlivňujícími veličinami	267
8.1.2. Systémy s více vstupy a výstupy	269
Popis přenosovými funkcemi	269
Kanonické (přenosové) struktury systémů s více vstupy a výstupy	271
8.2 Autonomnost regulačních obvodů při souběžné regulaci více veličin	274
8.2.1. Problém vzájemného ovlivnění obvodů při současné regulaci více veličin na jednom objektu	274
8.2.2. Blokové schéma regulačního obvodu s více regulovanými veličinami	277
Podmínky autonomie	278
8.2.3. Autonomní regulace dvou veličin	281
8.2.4. Využití nadbytečných akčních veličin k autonomnímu řízení dalších veličin	286

REJSTRÁK.....295

LITERATURA CITOVANÁ.....309

Knžní publikace	309
Skripta – učební texty	312
Články v časopisech	314
Příspěvky na kongresech, konferencích, seminářích	314
Disertační a diplomové práce	316

LITERATURA DOPORUČENÁ317

Knžní publikace	317
Skripta – učební texty	318
Články v časopisech	319
Příspěvky na kongresech, konferencích, seminářích	319
Disertační a diplomové práce	316

POZNÁMKY K POUŽÍVÁNÍ JEDNOTEK A SYMBOLŮ.....323

OBSAH329