

Obsah

Slovo recenzenta	11
Úvod	13
1 Nutné minimální znalosti pro vysvětlení vektorové regulace	15
1.1 Elektrické stroje	15
1.1.1 Veličiny ovlivňující velikost elektrického stroje	15
1.1.2 Vlastnosti stejnosměrného stroje s cizím buzením	15
1.1.3 Počet magnetických toků ve stroji	15
1.1.4 Momentová charakteristika AS při kmitočtové regulaci	15
1.1.5 Chování AS při napájení z proudového a napětového střídače	16
1.1.6 Chování AS vůči vyšším časovým harmonickým v napájecím napětí ...	16
1.1.7 Vliv změny skluzu na práci AS	16
1.1.8 Matematický $I_1 - n$ model AS	16
1.2 Pohony	16
1.2.1 Co je regulovaný pohon, které veličiny se dají regulovat	16
1.2.2 Fyzikální význam výstupního signálu regulátoru otáček v pohonu s AS	16
1.2.3 Maximální proud AS	17
1.2.4 Energetická bilance pohonu	17
1.3 Výkonová elektronika	17
1.3.1 Vlastnosti vypínatelných součástek	17
1.3.2 Schéma napětového střídače	17
1.3.3 Řízení napětového střídače	17
1.3.4 Výstupní napětí střídače při OŘ a PWM	18
1.4 Regulace	18
1.4.1 Číslcový PSD algoritmus	18
1.4.2 Blokové schéma regulovaného pohonu se ss strojem s cizím buzením	18
1.4.3 Blokové schéma regulovaného pohonu s asynchronním strojem	18
1.4.4 Princip skalárního řízení	18
2 Základní zákonitosti kmitočtové regulace AS	19
2.1 Kmitočtová regulace rychlosti asynchronních strojů	19
2.2 Vlastnosti asynchronního stroje při kmitočtové regulaci	19
2.3 Optimalizace práce pohonu	20
2.4 Skalární řízení	21
2.4.1 Oblast odbuzení	21
2.4.2 Stupeň odbuzení	22
2.4.3 Zadání f, U	22
2.4.4 Zavedení zpětné vazby	23
2.4.5 Kmitočtově proudové řízení	23
2.4.6 Kmitočtově napětové řízení	24
2.4.7 Další způsoby skalárního řízení	24

2.5	Realizace skalárního řízení	25
2.5.1	Trakční pohon s kmitočtově proudovým řízením	25
3	Moderní regulovaný pohon	27
3.1	Regulátor moderního pohonu	27
3.1.1	Blokové schéma	27
3.1.2	Ovládání pohonu	29
3.1.3	Nastavované parametry	29
3.1.4	Signály pro styk s okolím	30
3.1.5	Výstražná a chybová hlášení	30
3.1.6	Podpůrné programové prostředky pro vývoj, diagnostiku a servis	31
3.2	Vlastnosti moderních pohonů	31
3.2.1	Vývoj mikroprocesorových systémů	31
3.3	Aplikace výkonové elektroniky	31
3.3.1	Vývoj nových aplikací	31
3.3.2	Práce s finálními výrobky	32
4	Regulátory moderních pohonů	34
4.1	Technické prostředky pro realizaci moderních pohonů	34
4.2	Použité HW prostředky	34
4.2.1	Kategorie mikroprocesorové techniky	35
4.3	Realizace regulátorů	36
4.3.1	HW řešení	36
4.3.2	Programové řešení regulačních algoritmů	39
5	Matematický základ vektorové regulace	41
5.1	Základní rovnice AS	41
5.2	Definice prostorového vektoru	42
5.3	Transformace souřadnic	44
5.4	Energetická bilance	46
5.5	Náhradní schéma	47
5.6	Matematické modely AS	48
5.6.1	MODEL $I_1 - n$	48
5.6.2	MODEL $U_1 - I_1$	50
5.7	Normalizace veličin	51
5.7.1	Volba normalizace proudu a magnetického toku	51
5.7.2	Převedení rovnic do poměrných jednotek	52
6	Modulace v polovodičových měničích	53
6.1	Typy modulací	53
6.1.1	Proudová obdélníková modulace	53
6.1.2	Obdélníkové řízení	54
6.1.3	Pulzně šířková modulace	54
6.2	Kritéria hodnocení modulací	55
6.2.1	Spínací podmínky	55
6.2.2	Provozní podmínky	56
6.2.3	Optimalizace modulací	56
6.3	Dělení modulací pro střídače	57
6.3.1	Dopředná schémata (Feedforward Schemes)	57
6.3.2	Zpětnovazební schémata (Feedback PWM-Control)	57

6.4	Rozbor nejdůležitějších typů modulací	58
6.4.1	Obdélníkové řízení (six-step modulation)	58
6.4.2	Asynchronní pulzně šířková modulace	60
6.4.3	Synchronizovaná modulace	63
6.5	Realizace modulačních algoritmů	65
6.5.1	Asynchronní modulace	65
6.5.2	Synchronizované modulace	68
6.6	Ukázky praktických výsledků	69
6.6.1	Asynchronní dopředná suboscilační PWM	69
6.6.2	Synchronní modulace	70
7	Vektorová regulace	73
7.1	Základní schéma vektorové regulace	73
7.2	Možné typy vektorové regulace	74
7.2.1	Hledisko matematického modelu	74
7.2.2	Výběr regulovaných veličin	75
7.2.3	Výstupní veličiny regulátorů, typ modulátoru	75
7.3	Vektorová regulace proudového typu	76
7.4	Vektorová regulace napětového typu	76
7.5	Další systémy vektorové regulace	78
7.5.1	Vektorová regulace podle Schumachera	78
7.5.2	Vektorové řízení podle Warneckeého	78
7.5.3	Vektorové řízení podle Flügela	79
7.5.4	Vektorové řízení podle Wenningera	79
7.6	Přirozená regulace (Natural Field Orientation)	80
7.7	Regulace odbuzováním	82
7.8	Realizace regulačních algoritmů	82
7.8.1	Vektorová regulace proudového typu	82
7.8.2	Vektorová regulace napětového typu	86
7.9	Ukázky praktických výsledků	86
8	Přímá regulace	93
8.1	Základní úvahy	93
8.2	Přímá regulace podle Depenbrocka	95
8.2.1	Pracovní oblast	96
8.2.2	Trojhladinový střídač	96
8.2.3	Nepřímá regulace (ISR)	97
8.2.4	Oblast odbuzování	99
8.3	Přímá regulace podle Takahashiho	100
8.4	Výsledky měření na pokusném pohonu	102
	Závěr	110
	Příloha A Elektrické pohony	111
A.1	Obecně	111
A.2	Typy pohonů	111
A.2.1	Hlavní skupiny pohonů	112
A.3	Mechanika pohonu	113
A.3.1	Moment hnací	113

A.3.2	Moment zatěžovací	113
A.3.3	Zatěžovací diagramy	114
A.3.4	Moment dynamický	119
A.4	Pohybová rovnice pohonu	119
A.4.1	Obecný tvar	119
A.4.2	Redukce momentů	119
A.4.3	Stabilita pohonu	120
A.4.4	Pracovní režimy pohonů	121
A.5	Energetika elektrického pohonu	121
A.5.1	Účinnost	121
A.5.2	Ztráty	122
A.6	Dimenzování elektrických pohonů	123
A.6.1	Volba typu pohonu	123
A.6.2	Určení štítkového výkonu	124
A.6.3	Tepelné chování pohonu	124
A.6.4	Metody ekvivalentních parametrů	125
A.6.5	Vliv pracovního prostředí	128

Příloha B Akční členy 129

B.1	Úvod	129
B.2	Základní principy	129
B.3	Stejnosměrné stroje	131
B.3.1	Princip funkce stejnosměrných strojů	132
B.3.2	Vlastnosti stejnosměrných strojů	133
B.3.3	Provedení stejnosměrných strojů	136
B.3.4	Matematický popis stejnosměrných strojů	139
B.4	Asynchronní stroje	143
B.4.1	Princip funkce asynchronních strojů	143
B.4.2	Vlastnosti asynchronních strojů	144
B.4.3	Provedení asynchronních strojů	149
B.4.4	Matematický popis asynchronních strojů	151

Příloha C Výkonová elektronika 152

C.1	Historie	152
C.2	Typy součástek a měničů	153
C.3	Přehled nejdůležitějších výkonových polovodičových součástek	154
C.3.1	Výkonová dioda	154
C.3.2	Výkonový bipolární tranzistor	155
C.3.3	Výkonový unipolární tranzistor	155
C.3.4	Výkonový tyristor	156
C.3.5	GTO tyristor	157
C.3.6	IGCT	158
C.3.7	IGBT	158
C.4	Ztráty a chlazení výkonových polovodičových součástek	159
C.5	Usměrňovače	161
C.5.1	Jednopolzní tyristorový usměrňovač	162
C.5.2	Dvoupulzní uzlový usměrňovač	164
C.5.3	Jednofázový můstkový usměrňovač	164
C.5.4	Trojfázové uzlové zapojení	170

C.5.5	Trojfázové můstkové zapojení	171
C.5.6	Nepříznivé vlivy tyristorových usměrňovačů	172
C.5.7	Přenosy tyristorových usměrňovačů	174
C.6	Pulzní měniče	174
C.6.1	Pulzní měnič pro motorický chod	175
C.6.2	f-z diagram	179
C.6.3	Řízení pulzního měniče	179
C.6.4	Pulzní měnič pro brzdny režim	179
C.6.5	Vícefázové pulzní měniče	181
C.6.6	Čtyřkvadrantový pulzní měnič	182
C.6.7	Přenosy pulzních měničů	183
C.7	Střídače	183
C.7.1	Jednofázový střídač	184
C.7.2	Trojfázový střídač	186
C.7.3	Vícehladinové střídače	187
C.7.4	Pulzně šířková modulace	188
C.7.5	Přenosy střídačů	189
C.8	Měníče kmitočtu	189
C.8.1	Přímé měniče kmitočtu	189
C.8.2	Nepřímé měniče kmitočtu	189
C.9	Kompatibilní usměrňovače	190

Příloha D Teorie regulace **191**

D.1	Základní pojmy	191
D.2	Analýza regulačních soustav	194
D.3	Přenosy bloků užívaných v elektrických pohonech	197
D.4	Statické chování soustav	203
D.5	Dynamické chování soustav	206
D.6	Teorie regulátorů	208
D.6.1	Nastavování a optimalizace regulačních pohonů	210

Příloha E HW řešení regulátorů **215**

E.1	Historie	215
E.2	Základní pojmy	216
E.3	Signály	216
E.3.1	Analogové signály	216
E.3.2	Číslicové signály	217
E.4	Komunikace	217
E.4.1	Kódování signálů	217
E.4.2	Modulace	219
E.4.3	Zabezpečení přenosu	219
E.5	Analogová technika	219
E.5.1	Operační zesilovače	220
E.6	Číslicová technika	221
E.6.1	Kombinační a sekvenční logické obvody	221
E.6.2	Paměti	222
E.7	Čidla	223
E.8	Analogově číslicové převodníky	224
E.9	Mikropočítačová technika	225

E.9.1	Základní struktura počítače	225
E.9.2	Základní typy počítačů	226
E.9.3	Přerušovací systém	227
E.9.4	Časovací systém	227
E.9.5	Příklad mikrokontroléru	228
Příloha F Programové vybavení		230
F.1	Číselné soustavy	230
F.1.1	Desítková soustava	230
F.1.2	Binární soustava	230
F.1.3	Další soustavy	230
F.2	Aritmetické operace v binární soustavě	231
F.2.1	Pevná řádová čárka	231
F.2.2	Celočíselný zlomkový formát (fractional notation)	231
F.2.3	Pohyblivá řádová čárka	232
F.2.4	Překročení číselného rozsahu	232
F.3	Instrukční soubor	233
F.4	Způsoby adresování	233
F.5	Základní pravidla programování	234
F.5.1	Strukturování programu	234
F.5.2	Vývoj programového vybavení	234
F.6	Podpůrné programové vybavení	236
F.7	Uživatelské programové vybavení	237
F.7.1	Číslicová realizace regulátoru PID	237
Použité symboly a zkratky		238
	Použité symboly	238
	Použité indexy	241
	Použité zkratky	242
Seznam literatury		244
Rejstřík		247
Test		255
1.1	Elektrické stroje	255
1.2	Elektrické pohony	256
1.3	Výkonová elektronika	257
1.4	Regulace	258
1.5	Technické prostředky regulátorů	259
1.6	Programové vybavení	260
Poděkování autora		261