

O B S A H

ČAST I

Předmluva

| | |
|---|----|
| 1. <u>Popis regulačních obvodů pracujících spojitě a diskrétně klasickými metodami</u> | 9 |
| 1.1 Lineární obvody pracující spojitě | 10 |
| 1.1.1 Popis diferenciální rovnici | 10 |
| 1.1.2 Popis v Laplaceově transformaci | 10 |
| 1.1.3 Impulsová funkce, impulsová charakteristika | 11 |
| 1.1.4 Přechodová funkce, přechodová charakteristika | 11 |
| 1.1.5 Frekvenční přenos, frekvenční charakteristika | 11 |
| 1.2 Nelineární obvody pracující spojitě | 13 |
| 1.2.1 Rovnice, popisující nelineární blok | 13 |
| 1.2.2 Fázová rovina | 13 |
| 1.2.3 Ekvivalentní přenos | 15 |
| 1.3 Lineární diskrétní regulační obvody | 16 |
| 1.3.1 Matematický popis diskrétních funkcí | 16 |
| 1.3.2 Matematický popis bloků diskrétních regulačních obvodů | 21 |
| 1.3.2.1 Bloky s diskrétním vstupem a výstupem | 21 |
| 1.3.2.2 Spojitě pracující část regulačního obvodu | 22 |
| L i t e r a t u r a | 27 |
| 2. <u>Popis regulačních obvodů stavovými proměnnými</u> | 28 |
| 2.1 Vymezení základních pojmů | 28 |
| 2.2 Přepis obyčejné diferenciální a diferenční rovnice na stavové rovnice | 31 |
| 2.3 Převod stavových rovnic na diferenciální a diferenční rovnice | 38 |
| 2.4 Základní vlastnosti systémů | 40 |
| L i t e r a t u r a | 42 |
| 3. <u>Vybrané partie z teorie lineárních a nelineárních regulačních obvodů</u> | 43 |
| 3.1 Základní pojmy a vztahy lineárních regulačních obvodů | 43 |
| 3.2 Přesnost regulačních obvodů | 47 |
| 3.3 Inženýrské metody syntézy lineárních regulačních obvodů | 50 |
| 3.3.1 Úvod | 50 |
| 3.3.2 Metoda logaritmických frekvenčních charakteristik | 50 |
| 3.3.2.1 Odvození Nyquistova kritéria stability | 50 |
| 3.3.2.2 Regulační obvody s minimální fází | 52 |
| 3.3.2.3 Regulační obvody s neminimální fází | 52 |
| 3.3.2.4 Frekvenční charakteristika uzavřeného obvodu | 53 |
| 3.3.2.5 Hodnocení dynamických vlastností uzavřeného obvodu dle frekvenční charakteristiky otevřené smyčky | 53 |
| 3.3.2.6 Syntéza regulačních obvodů metodou logaritmických frekvenčních charakteristik | 50 |
| 3.3.2.7 Zajištění uspokojivé odezvy na poruchu | 59 |
| 3.3.2.8 Zajištění uspokojivé odezvy s časově závislým čidlem | 61 |
| 3.3.2.9 Zajištění uspokojivé odezvy při nenulových počátečních podmínkách | 61 |
| 3.3.2.10 Zhodnocení metody logaritmických frekvenčních charakteristik | 62 |
| 3.3.3 Metoda geometrického místa kořenů charakteristické rovnice | 62 |
| 3.3.3.1 Princip metody | 62 |
| 3.3.3.2 Doporučený postup návrhu parametrů regulátoru | 64 |

| | | |
|----------------------------|--|-----|
| 3.3.3.3 | Zhodnocení metody 6 MK | 66 |
| 3.3.4 | Metoda optimálního modulu | 67 |
| 3.3.4.1 | Princip metody | 67 |
| 3.3.4.2 | Obecná metoda syntézy pro systémy n-tého řádu | 67 |
| 3.3.4.3 | Metoda optimálního modulu aplikovaná pouze na modul charakteristické rovnice systému | 68 |
| 3.3.4.4 | Optimalizační kritéria optimálního modulu a symetrického optima, používaná v elektrických pohonech | 69 |
| 3.3.4.5 | Zhodnocení metod optimálního modulu, symetrického optima | 73 |
| 3.3.5 | Zásady návrhu servomechanizmů | 73 |
| 3.4 | Nelineární regulace | 75 |
| 3.4.1 | Charakteristické vlastnosti nelineární regulace | 75 |
| 3.4.2 | Řešení nelineárních regulačních obvodů | 75 |
| 3.4.3 | Linearizace matematického modelu | 76 |
| 3.4.4 | Metoda harmonické rovnováhy | 80 |
| L i t e r a t u r a | | |
| 4. | <u>Návrh řídicích algoritmů diskrétních regulačních obvodů</u> | 81 |
| 4.1 | Syntéza diskrétních regulačních obvodů metodami spojitě pracujících obvodů | 81 |
| 4.1.1 | Diskrétní regulační obvod | 81 |
| 4.1.2 | Ekvivalentní spojitý obvod | 83 |
| 4.1.3 | Číslicové ekvivalenty analogových regulátorů | 83 |
| 4.1.3.1 | Složkový tvar algoritmu PS regulátoru | 85 |
| 4.1.3.2 | Rekurentní tvar algoritmu PS regulátoru | 86 |
| 4.1.3.3 | Složkový tvar algoritmu PSD regulátoru | 87 |
| 4.1.3.4 | Rekurentní tvar algoritmu PSD regulátoru | 87 |
| 4.1.3.5 | Problematika omezení výstupního signálu | 90 |
| 4.1.3.6 | Srovnání složkového a rekurentního algoritmu | 91 |
| 4.2 | Matematický popis diskrétních regulačních obvodů | 91 |
| 4.2.1 | Ekvivalentní obvody se vzorkováním signálů | 92 |
| 4.2.2 | Regulátory | 93 |
| 4.2.3 | Přenos řízení | 94 |
| 4.2.4 | Přenos poruchy | 96 |
| 4.2.5 | Stabilita | 96 |
| 4.3 | Vybrané metody syntézy diskrétních regulačních obvodů | 96 |
| 4.3.1 | Metoda transformovaných frekvenčních charakteristik | 101 |
| 4.3.2 | Metoda optimálního modulu | 103 |
| 4.3.3 | Princip metody konečného počtu kroků přechodového jevu | 107 |
| 4.3.4 | Princip modelního řízení | 113 |
| 4.4 | Problematika kvantování signálů | 114 |
| 4.5 | Problematika volby periody vzorkování | 114 |
| 4.5.1 | Vliv periody vzorkování na zkreslení frekvenčního spektra signálů | 116 |
| 4.5.2 | Určení mezního kmitočtu | 118 |
| 4.5.3 | Vliv periody vzorkování na stabilitu soustavy | 120 |
| 4.6 | Filtrace rušivých signálů | 120 |
| 4.6.1 | Frekvenční charakteristiky diskrétních regulačních obvodů | 121 |
| 4.6.2 | Analogové filtry | 121 |
| 4.6.3 | Číslicové filtry | 122 |
| L i t e r a t u r a | | |

| | |
|---|-----|
| 5. <u>Struktury regulačních obvodů</u> | 123 |
| 5.1 Úvod | 123 |
| 5.2 Struktury s omezením veličin | 123 |
| 5.3 Struktury s výběrem regulované veličiny | 126 |
| 5.4 Struktury s kaskádním řazením regulátorů | 126 |
| 5.5 Struktury s použitím korekčních členů | 127 |
| 5.6 Struktury kombinovaného způsobu řízení | 128 |
| 5.7 Struktury kompendního způsobu řízení | 128 |
| 5.8 Struktura obvodu s přímou vazbou od řídicí veličiny | 129 |
| 5.9 Struktura obvodu optimálního podle kvadratického kritéria | 129 |
| 5.10 Struktura obvodu časově optimálního | 130 |
| 5.11 Struktura obvodu s proměnným tlumením | 131 |
| 5.12 Struktura s generováním stavových veličin dle hrubé identifikace regulované soustavy | 132 |
| 5.13 Výběr vhodné struktury | 135 |
| <u>L i t e r a t u r a</u> | 136 |
| 6. <u>Vybrané partie z teorie optimálního řízení</u> | 137 |
| 6.1 Vymezení úlohy optimálního řízení | 137 |
| 6.2 Optimalizace lineárních objektů podle kvadratického kritéria | 138 |
| 6.3 Časově optimální řízení lineárních objektů | 148 |
| 6.4 Vliv omezení u ss motoru a jeho potřebný výkon | 160 |
| 6.5 Deterministický rekonstruktor stavu | 165 |
| 6.6 Problematika realizace optimálních obvodů | 168 |
| 6.7 Příklad řešení obvodu optimálního podle kvadratického kritéria | 173 |
| 6.7.1 Výběr akčního členu a sestavení matematického modelu řízení soustavy | 173 |
| 6.7.2 Návrh regulátoru | 174 |
| 6.7.3 Vyšetření vlivu nelinearit | 180 |
| 6.7.4 Diskuze otázky přesnosti optimálního regulačního obvodu v ustáleném stavu | 181 |
| 6.7.5 Řešení úlohy dosažení astaticismu I. řádu vzhledem k poruše i řízení | 189 |
| 6.7.6 Realizace regulátoru | 190 |
| 6.8 Příklad výpočtu rekonstruktoru stavu | 192 |
| <u>L i t e r a t u r a</u> | 198 |
| 7. <u>Úvod do teorie adaptivního řízení</u> | 199 |
| 7.1 Principy činnosti adaptivních systémů | 199 |
| 7.2 Kritéria ztrát a metody jejich minimalizace | 203 |
| 7.2.1 Kritéria ztrát | 203 |
| 7.2.2 Gradientní metody | 204 |
| 7.2.3 Citlivostní funkce | 205 |
| 7.2.4 Metoda náhodného hledání | 206 |
| 7.3 Adaptivní identifikace | 208 |

| | |
|---|-----|
| 7.3.1 Adaptivní identifikace s paralelním modelem | 209 |
| 7.3.2 Adaptivní identifikace se seriově paralelním modelem | 210 |
| 7.4 Adaptivní řízení | 211 |
| 7.4.1 Adaptivní řízení s modelem | 213 |
| 7.4.2 Duální řízení | 215 |
| 7.4.3 Adaptivní řízení s číselnou informací o požadovaném chování | 217 |
| 7.4.4 Řízení systémů, je-li cíl řízení zadán nerovnostmi | 219 |
| 7.5 Metody syntézy adaptivních obvodů | 220 |

L i t e r a t u r a

ČÁST II

| | |
|--|-----|
| 8. Přehled regulačních obvodů pohonů se stejnosměrnými motory | 221 |
| 8.1 Výkonové obvody stejnosměrných pohonů | 222 |
| 8.2 Regulace proudu | 226 |
| 8.3 Regulace rychlosti | 226 |
| 8.3.1 Regulace rychlosti s proudovým omezením | 226 |
| 8.3.2 Regulace rychlosti s podřazenou smyčkou proudu | 228 |
| 8.3.3 Regulace rychlosti s reverzačním momentem buzení | 229 |
| 8.3.4 Regulace rychlosti se "závislým buzením" | 231 |
| 8.4 Regulace polohy | 231 |
| 8.4.1 Průběžná regulace polohy | 231 |
| 8.4.2 Cílová regulace polohy | 234 |
| 8.5 Regulace momentu | 234 |
| 8.6 Regulace výkonu | 235 |

L i t e r a t u r a

| | |
|---|-----|
| 9. <u>Inženýrské metody syntézy stejnosměrných pohonů</u> | 237 |
| 9.1 Náhradní přenos tyristorového usměrňovače | 237 |
| 9.2 Přenos motoru s konstantním buzením, napájeného usměrňovačem při nepřerušovaném proudu | 237 |
| 9.3 Přenos motoru s konstantním buzením, napájeného usměrňovačem při přerušovaném proudu | 239 |
| 9.4 Lineárizovaný přenos motoru s proměnným buzením | 240 |
| 9.5 Návrh parametrů proudové smyčky | 244 |
| 9.6 Návrh parametrů rychlostní smyčky | 244 |
| 9.6.1 Konstantní buzení motoru | 248 |
| 9.6.2 Proměnné buzení motoru | 248 |
| 9.7 Návrh parametrů nadřazených regulačních smyček a regulačních obvodů se zvláštními požadavky | 249 |

L i t e r a t u r a

| | |
|---|-----|
| 10. <u>Matematický popis střídavých motorů a napájecích zdrojů</u> | 252 |
| 10.1 Úvod | 252 |
| 10.2 Transformace "prostorový vektor" | 252 |
| 10.2.1 Definiční vztahy | 252 |
| 10.2.2 Výkonově neinvariantní transformace | 252 |
| 10.2.3 Výkonově invariantní transformace | 253 |
| 10.2.4 Převádění prostorových vektorů do vzájemně se otáčejících souřadných systémů | 254 |
| 10.3 Matematický popis asynchronních motorů | 256 |
| 10.3.1 Transformace výrazů pro spřažené magnetické toky | 256 |
| 10.3.2 Napěťové rovnice asynchronního motoru | 258 |
| 10.3.3 Moment motoru | 260 |
| 10.4 Matematický popis synchronních motorů | 262 |
| 10.4.1 Transformace výrazů pro spřažené magnetické toky | 262 |
| 10.4.2 Napěťové rovnice synchronního motoru | 263 |
| 10.4.4 Moment motoru | 263 |
| 10.5 Matematický popis střídače se stejnosměrným obvodem | 264 |
| 10.5.1 Asynchronní motor, proudový střídač | 264 |
| 10.5.2 Asynchronní motor, napěťový střídač | 267 |
| 10.5.3 Synchronní motor | 270 |
| 10.6 Příklady použité odvozené teorie | 274 |
| L i t e r a t u r a | 278 |
| | |
| 11. <u>Přehled regulačních obvodů pohonů se střídavými motory</u> | 279 |
| 11.1 Asynchronní motor nakrátko | 279 |
| 11.1.1 Teoretický úvod | 279 |
| 11.1.2 Výkonové obvody pohonu s asynchronním motorem nakrátko | 281 |
| 11.1.3 Struktury regulačních obvodů s nepřímou regulací magnetického toku | 282 |
| 11.1.4 Struktury s vektorově orientovaným řízením | 286 |
| 11.1.4.1 Princip | 286 |
| 11.1.4.2 Vektorově orientované řízení v souřadném systému statoru | 287 |
| 11.1.4.3 Vektorově orientované řízení v souřadném systému magnetického toku | 289 |
| 11.1.5 Zhodnocení způsobu řízení | 290 |
| 11.2 Asynchronní motor s vinutým rotorem | 291 |
| 11.2.1 Polovodičové kaskády | 291 |
| 11.2.1.1 Teoretický úvod | 291 |
| 11.2.1.2 Podsyncronní polovodičová kaskáda | 293 |
| 11.2.1.3 Nadsynchronní polovodičová kaskáda | 294 |
| 11.2.2 Polovodičová regulace odporu rotoru a napětí statoru | 295 |
| 11.3 Synchronní motor | 296 |
| 11.3.1 Teoretický úvod | 296 |
| 11.3.2 Výkonový obvod ventilového motoru | 298 |
| 11.3.3 Regulační obvody ventilových motorů | 299 |
| L i t e r a t u r a | 300 |

| | |
|--|-----|
| 12. <u>Negativní působení tyristorových měničů na činnost vlastních regulačních obvodů</u> | 301 |
| 12.1 Vliv zvlněného proudu na činnost proudového regulátoru | 301 |
| 12.2 Vliv "neúplné řiditelnosti" měniče na vznik proudových špiček | 302 |
| <u>L i t e r a t u r a</u> | 304 |
| 13. <u>Číslicově řízené pohony</u> | 305 |
| 13.1 Koncepce číslicově řízených pohonů | 305 |
| 13.2 Číslicově řízené pohony s regulátory realizovanými mikropočítači | 311 |
| 13.2.1 Regulátory realizované z mikropočítačových stavebnic | 311 |
| 13.2.2 Regulátory realizované z jednočipových mikropočítačů | 317 |
| 13.3 Číslicově řízené pohony s regulátory realizovanými z diskř.součástí | 335 |
| 13.3.1 Systémy s fázovým závěsem | 338 |
| 13.3.2 Systémy s mezipřevodem na kmitočet | 341 |
| <u>L i t e r a t u r a</u> | 344 |
| 14. <u>Přehled samobuzených kmitů, vyskytujících se v elektrických pohonech</u> | 345 |
| 14.1 Úvod | 345 |
| 14.2 Subharmonické kmitý v obvodech s tyristorovými měniči | 345 |
| 14.2.1 Kmitý způsobené diskřétní činností měniče | 345 |
| 14.2.2 Kmitý způsobené neúplnou řiditelností měniče | 346 |
| 14.3 Kmitý způsobené pulzací momentu | 347 |
| 14.4 Kmitý způsobené nelinearitami | 350 |
| 14.4.1 Jednosměrná vodivost výkonového obvodu | 350 |
| 14.4.2 Nelinearita releového typu, určující polaritu momentu | 351 |
| 14.4.2.1 Ss reverzační pohony bez okruhových proudů | 351 |
| 14.4.2.2 Střídavé pohony | 351 |
| 14.4.3 Nelinearita "absolutní hodnota" zapojená před regulátor proudu | 354 |
| <u>L i t e r a t u r a</u> | 354 |
| <u>D o d a t e k :</u> | 355 |
| 1. Některé typy matic | 356 |
| 2. Pravidla maticového počtu | 362 |
| 3. Program regulátor rychlosti | 365 |
| 4. Program regulátor polohy | |