

OBSAH

Zoznam použitých symbolov	13
Zoznam indexov	23
Predhovor	25
1 Úvodné kapitoly	27
1.1 Historický úvod	27
1.2 Druhy pohonov z hľadiska zdroja mechanickej energie	29
1.3 Elementy elektrických pohonov	31
1.4 Základná stavba elektrického pohonu.	34
1.4.1 Moment motora	35
1.4.2 Záťažný moment	39
1.4.2.1 Záťažný moment závislý od uhlovej frekvencie	39
1.4.2.2 Záťažný moment závislý od uhla natočenia	42
1.4.2.3 Záťažný moment závislý od dráhy	43
1.4.2.4 Záťažný moment závislý od času	44
1.4.3 Dynamický moment.	45
2 Mechanika elektrického pohonu.	46
2.1 Elementy mechanickej časti elektrického pohonu	46
2.2 Základné pohybové rovnice	47
2.3 Prepočet momentov na hriadeľ motora bez zohľadnenia strát v mechanizme	52
2.3.1 Systém s konštantným pomerom rýchlosti všetkých elementov	52
2.3.2 Systémy s premenlivým pomerom rýchlosti pracovného mechanizmu a uhlovej rýchlosti motora	57
2.3.3 Systémy s trecími členmi	61
2.4 Prepočet momentov na hriadeľ motora so zohľadnením strát v prevodových mechanizmoch	64
2.4.1 Približná metóda	64
2.5 Stabilita neregulovaného pohonného systému	65
2.6 Určenie momentu zotrvačnosti.	69
2.6.1 Určenie momentu zotrvačnosti výpočtom	69
2.6.2 Experimentálne určenie momentu zotrvačnosti	74
2.7 Pracovné režimy pohonov.	76
2.8 Ukážky použitia pohybových rovníc v mechanických dejoch pohonu.	78

2.8.1	Základné pohybové rovnice pri $M = \text{konšt}$ a $M_p = \text{konšt}$	78
2.8.2	Momenty M a M_p sú variabilné ($M \neq \text{konšt}$, $M_p \neq \text{konšt}$)	81
2.8.2.1	Určenie času rozbehu pohonu	82
2.8.2.2	Záťažný moment $M_p = f(\alpha)$	83
2.8.2.3	Záťažná sila závislá od dráhy $F_p = f(s)$	84
2.8.2.4	Hnacia sila závislá od dráhy $F = f(s)$	85
2.8.2.5	Moment motora s derivačným charakterom, konštantný záťažný moment ($M_p = \text{konšt}$) príp. premenlivý ($M_p \neq \text{konšt}$) v závislosti od polohy ($M_p = f(\alpha)$)	85
2.8.3	Pracovné diagramy	87
2.8.3.1	Reakčný záťažný moment M_p	88
2.8.3.2	Aktívny (potenciálny) záťažný moment M_p	89
2.8.3.3	Pracovný diagram ťažného zariadenia	89
2.8.3.4	Momentové pomery pri ťažnom stroji	92
2.8.4	Rozbor niektorých prevádzkových pomerov pomocou pohybových rovníc	95
2.8.4.1	Reverzačný pohon s opakujúcim sa pracovným cyklom	95
2.8.4.2	Ukážka optimalizácie mechanických rotačných dejov	99
2.8.4.3	Optimálne prevody pre prevádzkové požiadavky uvedené v časti 2.8.4.2	100
2.8.4.4	Optimalizácia mechanických translačných dejov	103
2.8.4.5	Rozbor mechanických javov pri harmonicky kmitajúcom zaťažení M_p	104
2.8.5	Reverzácia (obrátenie) chodu	106
2.8.6	Pohony s pružnými členmi	109
2.8.7	Viacmotorové pohony s väzbou cez materiál	117
2.8.8	Všeobecný tvar pohybovej rovnice	121
2.8.8.1	Rozbor pohybovej rovnice	121
2.8.8.2	Pohonný motor, stavové rovnice, bloková schéma	123
2.8.8.3	Záťažný moment regulačného systému	126

3 Dimenzovanie pohonného motora vzhľadom na oteplenie, preťažiteľnosť a moment 127

3.1	Otepľovanie a ochladzovanie homogénneho telesa pri časovo nepremenlivých stratách	128
3.1.1	Všeobecné úvahy pre homogénne teleso	128
3.1.2	Otepľovacie charakteristiky pri rôznych zaťaženiach	130
3.2	Druhy zaťaženia	131
3.2.1	Trvalé zaťaženie (S1)	133
3.2.2	Krátkodobý chod (S2)	133
3.2.3	Porušovaný chod (S3)	134
3.2.4	Prerušovaný chod s rozbehom (S4)	135
3.2.5	Prerušovaný chod s rozbehom a elektrickým brzdením (S5)	135
3.2.6	Prerušované zaťaženie (S6)	135
3.2.7	Prerušované zaťaženie s rozbehom a elektrickým brzdením (S7)	136
3.2.8	Prerušované zaťaženie so zmenou rýchlosti (S8)	136
3.3	Výkon motora pri premenlivom zaťažení	137
3.3.1	Návrh na stredné straty	137
3.3.2	Návrh ekvivalentného prúdu, momentu a výkonu	138
3.3.3	Zaťažovateľ a jeho použitie pri voľbe motora	145

3.4	Oteplenie stroja v nestacionárnej prevádzke	146
3.4.1	Jednosmerný motor s cudzím buđením.	146
3.4.2	Trojfázový asynchrónny motor	148
3.4.3	Použitie zákona strát	149
3.4.3.1	Rozbeh bez záťažného momentu ($M_p = 0$)	149
3.4.3.2	Brzdenie pri $M_p = 0$	150
3.4.3.3	Reverzácia (obrátenie) chodu pri $M_p = 0$	150
3.4.3.4	Zhrnutie poznatkov o zákone strát.	150
3.4.4	Spôsoby zmenšenia tepelného namáhania motorov	151
3.5	Pohony so zotrvačnikom	151
3.5.1	Nárazové zaťaženie (voľba zotrvačníka)	152
3.5.2	Periodicky kolísajúce zaťaženie	154
4	Jednosmerné pohonné motory a ich prevádzkové vlastnosti	157
4.1	Jednosmerné motory	158
4.1.1	Všeobecné poznatky, zapojenia a funkcia.	158
4.2	Stacionárna prevádzka	162
4.2.1	Magnetizačná charakteristika	162
4.2.2	Napätie naprázdno	163
4.2.3	Obvod kotvy a rovnice v ustálenom stave	164
4.2.4	Posun a točivý moment	165
4.3	Jednosmerný motor s cudzím buđením ako lineárny menič energie.	166
4.3.1	Prevádzkové charakteristiky motora s cudzím buđením.	166
4.3.2	Zavedenie pomerných veličín	168
4.3.3	Spôsoby riadenia jednosmerného motora a motora s cudzím buđením	170
4.3.3.1	Spúšťanie jednosmerného derivačného motora s cudzím buđením	170
4.3.4	Riadenie uhlovej rýchlosti	174
4.3.4.1	Riadenie uhlovej rýchlosti zmenou napätia kotvy.	174
4.3.4.2	Riadenie uhlovej rýchlosti zmenou magnetického toku Φ	179
4.3.4.3	Riadenie uhlovej rýchlosti zmenou odporu obvodu kotvy	180
4.3.4.4	Riadenie uhlovej rýchlosti impulzovým napätím	181
4.3.5	Zastavovanie a brzdenie jednosmerného derivačného motora a motora s cudzím buđením.	184
4.3.5.1	Brzdenie do siete (rekuperáciou).	184
4.3.5.2	Brzdenie derivačného motora a motora s cudzím buđením do rezistora	185
4.3.5.3	Brzdenie derivačného motora a motora s cudzím buđením protiprúdom.	187
4.3.5.4	Brzdenie jednosmerného derivačného motora a motora s cudzím buđením pri napájaní z impulzového jednosmerného meniča rekuperáciou	189
4.3.6	Reverzácia (obrátenie) chodu jednosmerného derivačného motora a motora s cudzím buđením	191
4.4	Jednosmerný sériový motor	191
4.4.1	Prevádzkové charakteristiky jednosmerného sériového motora	191
4.4.2	Riadenie jednosmerného sériového motora	195
4.4.2.1	Spúšťanie	195
4.4.2.2	Riadenie uhlovej rýchlosti	198

	4.4.2.3 Zastavenie a brzdenie jednosmerného sériového motora	203
	4.4.2.4 Reverzácia chodu jednosmerného sériového motora	207
4.5	Jednosmerný compoundný motor	208
4.5.1	Všeobecne	208
4.5.2	Riadenie	212
	4.5.2.1 Brzdenie do rezistora	212
	4.5.2.2 Brzdenie do siete	213
	4.5.2.3 Reverzácia chodu	213
4.6	Jednosmerný motor v dynamickom stave	214
4.6.1	Všeobecné diferenciálne rovnice jednosmerného motora	214
4.6.2	Rovnice motora s cudzím budením	217
	4.6.2.1 Zavedenie pomerných veličín	217
	4.6.2.2 Všeobecné riešenie Laplaceovou transformáciou	219
	4.6.2.3 Korene funkcie $Z(s)$	220
	4.6.2.4 Vplyv začiatočných hodnôt na celkové riešenie diferenciálnych rovníc	222
	4.6.2.5 Vplyv poruchových veličín na celkové výsledky pri riešení diferenciálnych rovníc	224
4.6.3	Riadenie otáčok jednosmerného motora v chode naprázdno zmenou napätia kotvy.	225
	4.6.3.1 Všeobecné zohľadnenie začiatočných hodnôt	226
	4.6.3.2 Energetické úvahy	226
	4.6.3.3 Napájanie motora napätím s rôznymi časovými funkciami.	227
4.6.4	Prechodové deje v budiacom obvode.	232
	4.6.4.1 Normovanie rovníc	233
	4.6.4.2 Riešenie budiaceho procesu pri vyjadrení magnetizačnej charakteristiky približnou rovnicou	234
	4.6.4.3 Budiaci proces pri motore s cudzím budením	235
	4.6.4.4 Vplyv zmeny prúdu i_F v budiacom obvode na priebeh prúdu i_A a otáčok v	236
5	Stavba regulovaných sústav v technike elektrických pohonov — všeobecne	239
5.1	Lineárne časové prenosové členy	239
5.1.1	Proporcionálny prenosový člen (P)	241
5.1.2	Integračný prenosový člen (I).	242
5.1.3	Zotrvačný prenosový člen 1. rádu ($P-T_1$)	244
	5.1.3.1 Obvod kotvy jednosmerného stroja	246
	5.1.3.2 Budiaci obvod	247
5.1.4	Zotrvačný prenosový člen 2. rádu	247
	5.1.4.1 Všeobecná teória	247
	5.1.4.2 Zotrvačný člen 2. rádu ako dva zotrvačné členy 1. rádu	252
	5.1.4.3 Frekvenčné charakteristiky	255
	5.1.4.4 Frekvenčné charakteristiky zotrvačného člena 2. rádu vytvoreného sériovým spojením dvoch zotrvačných členov 1. rádu	256
	5.1.4.5 Jednosmerný motor s cudzím budením pri konštantnom magnetickom toku Φ ako zotrvačný člen 2. rádu.	257
5.1.5	Derivačný prenosový člen $PD-T_1$	260
5.1.6	Derivačný prenosový člen so zotrvačnosťou 1. rádu ($D-T_1$)	263

5.1.7	Prenosový člen s dopravným oneskorením	266
5.2	Nelineárne prenosové členy	267
5.3	Väzba prenosových členov	269
5.4	Základné väzby prenosových členov	271
5.4.1	Sériové spojenie prenosových členov	271
5.4.2	Paralelné spojenie dvoch prenosových členov	272
5.4.3	Priama spätná väzba z výstupu na vstup (<i>obr. 5.38c</i>).	273
5.4.4	Spätná väzba z výstupu na vstup cez ďalší paralelný prenosový člen (<i>obr. 5.38d</i>).	274
5.4.5	Príklady	275
5.5	Úpravy blokových schém	281
5.5.1	Rozvetvovanie kanálov	281
5.5.2	Pretváranie súčtových schém	281
5.5.3	Násobenie a delenie v blokových schémach	283
5.6	Regulačný obvod	284
5.6.1	Otvorený regulačný obvod	285
5.6.2	Uzatvorený regulačný obvod závislý od riadiacej veličiny	286
5.6.3	Uzatvorený regulačný obvod závislý od poruchovej veličiny	288
5.6.4	Uzatvorený regulačný obvod pri súčasnom pôsobení riadiacej veličiny a poruchovej veličiny	289
5.6.5	Príklady	290
6	Jednosmerný motor s cudzím buđením ako člen regulovanej sústavy.	292
6.1	Základné rovnice	292
6.2	Dynamické stavy jednosmerného motora s cudzím buđením pri konštantnom magnetickom toku	297
6.2.1	Priebeh otáčok bez prúdového obmedzenia	297
6.2.2	Priebeh prúdu kotvy i_A bez prúdového obmedzenia	299
6.2.3	Otáčky motora s cudzím buđením pri obmedzení prúdu kotvy v dynamickom stave	300
6.2.4	Dynamické správanie sa regulačného obvodu pre otáčky s podradenou reguláciou prúdu pri konštantnom toku	303
6.2.5	Dynamické správanie sa prúdu kotvy pri predpísaných otáčkach	305
6.3	Dynamické stavy pri brzdení	306
6.3.1	Brzdenie do rezistora	306
6.3.2	Brzdenie rekuperáciou	308
6.4	Dynamické správanie sa stroja pri zmenách magnetického toku	309
6.4.1	Frekvenčný prenos pre zmeny otáčok pri zmenách magnetického toku	310
6.4.2	Frekvenčný prenos pre zmeny prúdu pri zmenách magnetického toku	312
6.5	Rozbor zmien magnetického toku pri jednosmernom motore s cudzím buđením	312
6.6	Základné rovnice jednosmerného motora s cudzím buđením napájaného z Leonardovho meniča, ak berieme do úvahy dynamické vlastnosti meniča	315
6.7	Základné rovnice pevne spojených jednosmerných strojov	318
6.8	Dynamické správanie sa motora pri pružnom spojení s poháňaným zariadením	321
6.9	Správanie sa pohonného motora pri periodicky premenlivom zaťažení	323
6.10	Štrukturálne schémy rôznych druhov jednosmerných strojov	325

7 Pohonné indukčné motory	328
7.1 Stavba a pôsobenie trojfázových indukčných motorov	328
7.2 Stacionárna prevádzka	329
7.2.1 Základné rovnice a náhradná schéma	329
7.2.1.1 Napäťové rovnice	331
7.2.1.2 Rozdelenie výkonu	334
7.2.1.3 Prúdové a momentové rovnice.	336
7.2.1.4 Rozdielnosti medzi trojfázovým krúžkovým motorom a motorom nakrátko.	342
7.2.2 Prevádzkové vlastnosti indukčného motora pri symetrickom napájaní zo siete premenlivého napätia a premenlivej frekvencie	345
7.2.2.1 Predpoklady a spôsoby prevádzky	345
7.2.3 Trojfázový indukčný motor v jednofázovej prevádzke	355
7.2.4 Riadenie trojfázových indukčných motorov.	361
7.2.4.1 Spúšťanie motorov	361
7.2.4.2 Regulácia otáčok asynchrónnych motorov.	384
7.2.4.3 Zastavovanie a brzdenie indukčných motorov	396
7.2.4.4 Zhodný chod dvoch indukčných (asynchrónnych) pohonných motorov (elektrická os)	413
7.2.4.5 Reverzácia (obrátenie chodu)	425
7.3 Jednofázový indukčný (asynchrónny) motor	425
7.3.1 Stavba a pôsobenie	425
7.3.2 Riadenie jednofázových indukčných motorov	428
7.3.2.1 Spúšťanie jednofázových motorov	428
7.3.2.2 Regulácia otáčok	433
7.3.2.3 Zastavovanie	433
7.3.2.4 Reverzácia	433
7.3.3 Motorček s tienenými pólmi	433
7.4 Asynchrónny motor v nestacionárnej prevádzke	435
7.4.1 Priestorové vektory a lineárna transformácia rovníc	436
7.4.2 Dynamický matematický model asynchrónneho motora	440
7.4.3 Vzťahy medzi prúdmi a magnetickými tokmi, použitie	442
7.4.4 Riešenie nestacionárnych dejov asynchrónneho motora.	445
7.4.4.1 Riešenie v súradnicovej sústave (α, β)	445
7.4.4.2 Riešenie v súradnicovej sústave (x, y)	447
7.4.4.3 Skúmanie dynamických vlastností asynchrónneho motora	448
8 Trojfázový synchronný motor	451
8.1 Stavba a pôsobenie	451
8.2 Stacionárny stav. Základné rovnice	453
8.2.1 Motor s hladkým rotorom	453
8.2.1.1 Vznik polí. Reakcia kotvy	453
8.2.1.2 Napäťové rovnice, náhradná schéma a fázorové diagramy	454
8.2.1.3 Prevádzkové vlastnosti a krivky V synchronného motora	458
8.2.1.4 Príkon, výkon a otáčky.	461
8.2.1.5 Moment synchronného motora s hladkým rotorom.	463
8.2.2 Synchronný motor s vyjadrenými pólmi	468

8.2.2.1	Rozdiely proti motoru s hladkým rotorom	468
8.2.2.2	Napätové rovnice a fázorový diagram	469
8.2.2.3	Moment motora s vyjadrenými pólmami	473
8.2.3	Preťažiteľnosť	476
8.2.3.1	Statická preťažiteľnosť	476
8.2.3.2	Dynamická preťažiteľnosť	479
8.2.4	Účinnosť	481
8.2.5	Výhody a nevýhody synchronného motora	482
8.2.6	Použitie synchronného motora	483
8.3	Riadenie synchronného motora	484
8.3.1	Spúšťanie	484
8.3.1.1	Spúšťanie s vlastným asynchronným rozbehom.	485
8.3.1.2	Spúšťanie rozbehovým motorom.	491
8.3.1.3	Frekvenčný rozbeh	493
8.3.1.4	Porovnanie spúšťacích metód podľa použitia	497
8.3.1.5	Synchronizácia	498
8.3.2	Regulácia otáčok	501
8.3.3	Zastavovanie a brzdenie	503
8.3.4	Reverzácia	505
8.4	Nestacionárna prevádzka trojfázového synchronného motora.	505
8.4.1	Transformačné rovnice synchronného motora.	505
8.4.2	Matematický model synchronného motora	507
8.4.3	Riešenie prechodových dejov synchronného motora	511
9	Ovládanie elektrických pohonov	516
9.1	Základné pojmy pri ovládaní	516
9.1.1	Úvod	516
9.1.2	Rozdelenie ovládacích obvodov logického riadenia elektrických pohonov	517
9.1.3	Prístrojové vystrojenie ovládacích obvodov s pevnou štruktúrou.	519
9.1.3.1	Kontaktové spínacie prístroje	520
9.1.3.2	Bezkontaktné logické členy	522
9.1.4	Zásady pre kreslenie schém ovládacích obvodov.	527
9.2	Spínacia algebra.	528
9.2.1	Základné pojmy, logické funkcie a pravidlá Boolovej algebry	528
9.2.2	Vyjadrenie a minimalizácia logického výrazu	531
9.2.2.1	Pravdivostná tabuľka a logická funkcia	531
9.2.2.2	Karnaughova mapa	534
9.2.2.3	Minimalizácia logických funkcií	535
9.3	Kombinačné logické obvody ovládania elektrických pohonov	537
9.3.1	Analýza kombinačných obvodov	537
9.3.2	Syntéza kombinačných obvodov	540
9.4	Sekvenčné logické ovládacie obvody elektrických pohonov	542
9.4.1	Rozdelenie sekvenčných obvodov	542
9.4.2	Zápis činnosti sekvenčných obvodov.	545
9.4.3	Preklápacie obvody	547
9.4.4	Analýza sekvenčných logických obvodov	551
9.4.5	Syntéza sekvenčných obvodov	553
9.5	Niektoré štandardné schémy ovládania elektrických pohonov	556

9.5.1	Ovládanie asynchrónnych motorov	557
9.5.2	Ovládanie jednosmerných a synchronných motorov	562
10	Regulácia elektrických pohonov.	563
10.1	Regulačný obvod	563
10.2	Štrukturálne schémy	565
10.2.1	Štrukturálne schémy s jednosmerným motorom	565
10.2.2	Štrukturálne schémy so striedavými motormi	572
10.3	Voľba typu regulátora	577
10.4	Určenie parametrov regulátora	580
10.4.1	Algebraické kritériá	580
10.4.2	Logaritmické frekvenčné charakteristiky	588
10.5	Realizácia spojitého regulátora	593
10.6	Príklady regulácie elektrických pohonov.	598
10.6.1	Regulácia rýchlosti systému riadený usmerňovač — jednosmerný motor	598
10.6.2	Regulácia rýchlosti systému jednosmerný generátor — jednosmerný motor	602
10.6.3	Pružné spojenie jednosmerného motora s pracovným mechanizmom	603
LITERATÚRA.		607
REGISTER		612