

# OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	9
PREDSLOV .....	13
<b>3 PRINCÍP ČINNOSTI STRIEDAVÝCH TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJOV .....</b>	<b>15</b>
3.1 Analytické riešenie točivého magnetického poľa .....	15
3.1.1 Magnetické napätie jednej sústredenej cievky.....	16
3.1.2 Magnetické napätie trojfázového rozloženého vinutia .....	18
3.1.3 Magnetické napätie priestorových harmonických zložiek.....	21
3.1.4 Určenie magnetizačného prúdu striedavých strojov s trojfázovým vinutím .....	23
3.1.5 Reaktancia točivých striedavých elektrických strojov na viacfázový prúd.....	25
3.1.5.1 Magnetizačná reaktancia .....	26
3.1.5.2 Rozptylová reaktancia.....	27
3.2 Grafická analýza vzniku točivého magnetického poľa a zmeny smeru jeho otáčania.....	29
3.3 Vinutia striedavých strojov .....	36
3.3.1 Základné pojmy .....	36
3.3.2 Návrh striedavého vinutia.....	38
3.3.2.1 Príklad 1 .....	39
3.3.2.2 Príklad 2 .....	42
3.3.2.3 Príklad 3 .....	44
3.3.2.4 Príklad 4 .....	45
3.3.3 Koeficient rozloženia vinutia.....	47
3.3.4 Koeficient kroku .....	49
3.3.5 Koeficient vinutia .....	50
3.3.6 Indukované napätie vo vinutí striedavých točivých strojov.....	50
3.3.7 Indukované napätie pri neharmonickom magnetickom poli.....	52
3.3.8 Základné druhy vinutia .....	57

3.3.9	Priebeh magnetického napätia vo vzduchovej medzere 3-fázového rozloženého vinutia s rovnakým počtom vodičov v drážke, s konečným počtom drážok po obvode stroja.....	58
4	<b>ASYNCHRÓNNE STROJE</b> .....	63
4.1	Konštrukčné usporiadanie, princíp činnosti a základné pojmy.....	63
4.2	Princíp rotorového sklzu .....	65
4.3	Hlavné oblasti momentovej charakteristiky indukčného stroja .....	67
4.4	Frekvencia indukovaného napätia a prúdu rotora .....	68
4.5	Náhradná schéma indukčného motora .....	69
4.5.1	Transformátorový model náhradnej schémy indukčného motora.....	69
4.5.2	Úprava rotorového obvodu s frekvenciou $f_r$ na obvod s frekvenciou $f_s$ .....	71
4.5.2.1	Indukované napätie .....	72
4.5.2.2	Rozptylová reaktancia.....	72
4.5.2.3	Prúd v rotorovom vinutí .....	72
4.5.3	Prepočet rotorových veličín na statorové napätie .....	74
4.5.3.1	Prepočet napätia .....	74
4.5.3.2	Prepočet prúdov .....	75
4.5.3.3	Prepočet odporov .....	76
4.5.3.4	Prepočet reaktancie .....	77
4.5.3.5	Prepočet impedancie .....	77
4.5.4	Úplná náhradná schéma indukčného motora .....	77
4.6	Tok výkonov a strát indukčného motora.....	82
4.6.1	Straty v železe, straty mechanické, straty rotačné .....	83
4.7	Elektromagnetický moment indukčného motora .....	85
4.7.1	Maximálna hodnota elektromagnetického momentu.....	86
4.7.2	Určenie tvaru momentovej charakteristiky, Klossov vzťah.....	89
4.7.3	Stabilita chodu indukčného motora .....	91
4.7.4	Mechanický výkon na hriadeli.....	92
4.8	Prevádzkové stavy indukčného stroja .....	93
4.8.1	Indukčný regulátor.....	93

---

4.8.2	Motorický režim .....	96
4.8.2.1	Stav nakrátko .....	96
4.8.2.2	Stav naprázdno .....	97
4.8.2.3	Stav pri zaťažení.....	98
4.8.3	Generátorický režim prevádzky .....	99
4.8.4	Oblasť prevádzky brzdy .....	99
4.8.5	Rotačný menič frekvencie .....	99
4.9	Zmena tvaru momentovej charakteristiky .....	99
4.9.1	Žiadaný tvar momentovej charakteristiky .....	100
4.9.2	Zmena tvaru momentovej charakteristiky so zmenou rotorového odporu .....	101
4.9.2.1	Indukčný motor s vinutou kotvou .....	101
4.9.2.2	Indukčný motor s kliečkou nakrátko .....	102
4.9.3	Kliečková kotva a jej možnosti dosiahnuť ideálnu charakteristiku... 104	
4.9.3.1	Triedy kliečkových kotiev podľa NEMA .....	104
4.9.3.2	Analýza vlastností jednotlivých druhov kliečkových kotiev podľa NEMA aj podľa slovenskej terminológie .....	106
4.9.3.3	Tvary charakteristík IM s kliečkou nakrátko podľa STN .....	110
4.9.4	Parametre kliečkovej kotvy .....	112
4.10	Prevádzkové vlastnosti indukčných motorov .....	114
4.10.1	Rozbeh indukčných motorov .....	115
4.10.1.1	Priame pripojenie na sieť .....	115
4.10.1.2	Zníženie záberového prúdu .....	115
4.10.2	Zmena rýchlosti indukčných motorov .....	119
4.10.2.1	Zmena rýchlosti otáčania synchronnou rýchlosťou .....	120
4.10.2.2	Zmena rýchlosti zmenou sklzu.....	126
4.10.3	Brzdzenie indukčných motorov .....	127
4.10.3.1	Brzdzenie protiprúdom .....	127
4.10.3.2	Brzdzenie generátorickým chodom pri frekvenčnej regulácii rýchlosti 128	
4.10.3.3	Brzdzenie jednosmerným prúdom .....	129
4.10.3.4	Brzdzenie jednofázovým prúdom .....	129
4.11	Reverzácia indukčných motorov .....	129

4.12	Kruhový diagram indukčného stroja .....	129
4.13	Indukčný generátor.....	132
4.13.1	Indukčný generátor na tvrdej sieti .....	132
4.13.2	Indukčný generátor v ostrovnej prevádzke (pracujúci samostatne)..	133
4.13.2.1	Charakteristika naprázdno.....	134
4.13.2.2	Vonkajšia charakteristika .....	135
4.13.2.3	Zmena frekvencie indukčného generátora v závislosti od záťaže..	136
4.13.3	Použitie indukčného generátora.....	138
4.14	Jednofázové indukčné motory.....	138
4.14.1	Teória dvojitého točivého poľa.....	138
4.14.2	Rozbeh jednofázových indukčných motorov.....	140
4.14.2.1	Motory s odporovou pomocnou fázou .....	140
4.14.2.2	Motory s kondenzátorom v pomocnej fáze .....	142
4.14.2.3	Motory s tienenými pólmi.....	144
4.14.3	Porovnanie jednofázových motorov .....	144
4.14.4	Zmena rýchlosti jednofázových motorov .....	145
4.14.5	Úplná náhradná schéma jednofázových motorov .....	145
4.14.6	Trojfázový indukčný motor na jednofázovej sieti .....	148
4.15	Parazitné momenty asynchrónneho motora .....	148
4.15.1	Vplyv vyšších priestorových harmonických na moment indukčného motora a na činnosť striedavých strojov .....	148
4.15.1.1	Zlomkové vinutie (fractional slot winding) .....	151
4.15.1.2	Zošikmenie vodičov (skewed rotor conductors).....	151
4.15.2	Vplyv priestorových harmonických zložiek na moment indukčného motora.....	153
4.15.2.1	Asynchrónne parazitné momenty.....	154
4.15.2.2	Synchrónne parazitné momenty .....	154
4.15.3	Magnetický hluk klieťkových motorov .....	155
4.15.4	Výber vhodného počtu drážok indukčného motora .....	156
4.16	Prevádzka indukčného motora s neharmonickým napätím z polovodičových meničov .....	158

4.16.1	Analýza vlastností indukčného motora pri neharmonickom napájaní .....	162
<b>5</b>	<b>SYNCHRÓNNE STROJE .....</b>	<b>165</b>
5.1	Základné pojmy a konštrukcia .....	165
5.1.1	Generátor v stave naprázdno.....	166
5.1.2	Generátor pri zaťažení .....	166
5.1.3	Konštrukčné usporiadanie rotorov synchronných strojov .....	167
5.1.3.1	Rotor s vyjadrenými pólmi.....	167
5.1.3.2	Konštrukcia hladkého valcového rotora.....	168
5.1.4	Nové trendy v konštrukcii budiacich obvodov .....	169
5.1.5	Interakcia dvoch točivých magnetických polí (magnetických napätí) synchronného stroja .....	169
5.1.6	Prepočet statorových veličín na rotorové (a naopak).....	170
5.2	Teória synchronného stroja s hladkým rotorom.....	171
5.2.1	Náhradná schéma synchronného stroja s hladkým rotorom .....	171
5.2.1.1	Matematický model synchronného stroja .....	174
5.2.2	Fázorový diagram synchronného stroja s hladkým rotorom na tvrdej sieti.....	175
5.2.2.1	Skratový pomer a jeho ekonomický význam .....	178
5.2.2.2	Fázorový diagram synchronného generátora s induktívnym charakterom záťaže .....	179
5.2.2.3	Moment synchronného stroja s hladkým rotorom .....	180
5.2.2.4	Synchronizačný moment synchronného stroja.....	185
5.2.2.5	Stabilita chodu a kývanie synchronného stroja.....	186
5.3	Prevádzkové stavy synchronného generátora .....	188
5.3.1	Synchronný generátor v stave naprázdno .....	189
5.3.2	Synchronný generátor v stave nakrátko .....	190
5.3.3	Vnútorý fázový posun.....	193
5.3.3.1	Vnútorý fázový posun $\psi = -\pi/2$ .....	194
5.3.3.2	Vnútorý fázový posun $\psi = 0$ .....	194
5.3.3.3	Vnútorý fázový posun je $\psi = +\pi/2$ .....	194
5.3.4	Indukčná charakteristika synchronného stroja.....	195

5.4	Spôsoby prevádzky synchronných strojov .....	196
5.4.1	Samostatne pracujúci synchronný generátor (ostrovná prevádzka)..	197
5.4.2	Paralelný chod dvoch a viacerých synchronných generátorov .....	198
5.4.3	Práca synchronného stroja na tvrdej sieti, fázovanie .....	198
5.4.3.1	Prebudený synchronný stroj .....	201
5.4.3.2	Podbudený synchronný stroj .....	201
5.4.4	Regulácia činného a jalového výkonu na tvrdej sieti.....	202
5.4.4.1	Regulácia činného a jalového výkonu pri konštantnom budení.....	202
5.4.4.2	Práca s konštantným výkonom, t. j. $I_a \cos \varphi = \text{konšt.}$ .....	203
5.4.4.3	V-krivky synchronného stroja.....	205
5.4.4.4	Prevádzka synchronného generátora na tvrdej sieti .....	206
5.4.4.5	Práca s konštantným účinníkom, t. j. $\cos \varphi = \text{konšt.}$ .....	208
5.4.4.6	Regulačné charakteristiky synchronného stroja $I_b = f(I_a)$ pri $\cos \varphi = \text{konšt.}$ .....	210
5.5	Teória synchronného stroja s vyjadrenými pólmi .....	210
5.6	Synchronný motor .....	216
5.7	Kompenzácia účinníka .....	219
5.8	Prechodové deje, náhle skraty na synchronnom generátore .....	221
5.9	Tvar magnetického poľa vo vzduchovej medzere synchronného stroja .....	225
5.9.1	Hladký rotor .....	226
5.9.1.1	Tvar budiaceho magnetického poľa hladkého rotora.....	226
5.9.1.2	Tvar magnetického poľa reakcie kotvy .....	230
5.9.2	Rotor s vyjadrenými pólmi .....	230
5.9.2.1	Tvar budiaceho magnetického poľa .....	231
5.9.2.2	Tvar magnetického poľa reakcie kotvy .....	233
5.10	Zoznam použitej literatúry .....	239