

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń	7
Przedmowa	11
1. WPROWADZENIE	13
2. ELEMENTY UKŁADU NAPĘDOWEGO	17
2.1. Część mechaniczna napędu	17
2.1.1. Równania ruchu	17
2.1.2. Sprowadzanie ruchu maszyny roboczej do prędkości wału silnika	24
2.1.3. Charakterystyki mechaniczne maszyn roboczych	27
2.2. Charakterystyki napędu i dobór silnika	29
2.2.1. Charakterystyki statyczne napędów przekształtnikowych	29
2.2.2. Ogólne kryteria wyboru silnika	32
2.2.3. Metody wyznaczania mocy znamionowej silnika	35
2.3. Przekształtniki energoelektroniczne	38
2.3.1. Modele przekształtników	38
2.3.2. Tranzystorowe przekształtniki napięcia z modulacją szerokości impulsów	41
2.3.2.1. Modulacja szerokości impulsów w przekształtniku półmostkowym	41
2.3.2.2. Przekształtniki mostkowe	46
2.3.2.3. Przekształtnik trójfazowy	48
2.3.2.4. Zasilanie tranzystorowych przekształtników napięcia	53
2.3.3. Przekształtniki tyrystorowe	56
2.3.3.1. Opis funkcjonalny przekształtnika	56
2.3.3.2. Sterowanie fazowe przy przewodzeniu ciągłym	60
2.3.3.3. Przewodzenie przerywane	62
2.3.3.4. Przekształtniki tyrystorowe w napędach prądu przemiennego	64
2.4. Część pomiarowo-sterująca	70
3. REGULACJA PRĘDKOŚCI I POŁOŻENIA.....	73
3.1. Struktura układów sterowania	73
3.2. Wymagania i ocena jakości regulacji	74
3.3. Uproszczona analiza układu regulacji prędkości	77
3.3.1. Model układu z regulatorem prędkości typu PI+	77
3.3.2. Transmitancje i charakterystyki modelu liniowego drugiego rzędu	79
3.3.3. Wpływ opóźnień na jakość regulacji	84
3.3.4. Wrażliwość na szумы pomiarowe	86
3.4. Dobór parametrów regulatora prędkości w liniowym zakresie pracy	87
3.4.1. Dane wejściowe	87
3.4.2. Dobór nastaw regulatora prędkości z uwzględnieniem opóźnień	89
3.4.3. Korekcja nastaw ze względu na szумы	91

3.4.4. Wybór współczynnika wagi b w regulatorze PI+	92
3.4.5. Przykład doboru nastaw cyfrowego regulatora prędkości	92
3.5. Regulacja prędkości z ograniczeniem przyspieszenia i momentu silnika	94
3.6. Regulacja położenia kąowego	96
3.6.1. Struktury układów regulacji położenia	96
3.6.2. Dobór parametrów i analiza układu w liniowym zakresie pracy	97
3.6.3. Kształtowanie czasooptymalnych odpowiedzi skokowych	101
3.7. Cyfrowy pomiar położenia i prędkości	102
3.7.1. Przetworniki pomiarowe	102
3.7.2. Metody cyfrowego różniczkowania położenia	104
3.7.3. Filtry i obserwatory w torze pomiarowym prędkości	106
4. UKŁADY NAPĘDOWE Z SILNIKAMI PRĄDU STAŁEGO	109
4.1. Wprowadzenie	109
4.2. Regulacja prądu twornika silnika prądu stałego	111
4.2.1. Schemat blokowy obwodu regulacji prądu twornika	111
4.2.2. Dobór nastaw regulatora prądu i uproszczona analiza liniowa	113
4.2.3. Ograniczenia w regulacji prądu twornika i wpływu nieliniowości	116
4.3. Regulacja strumienia wzbudzenia	119
4.4. Napędy tyrystorowe prądu stałego	121
4.4.1. Struktury napędów nienawrotnych	121
4.4.2. Struktury napędów nawrotnych	123
4.4.2.1. Wprowadzenie	123
4.4.2.2. Układy nawrotne z prądami wyrównawczymi	124
4.4.2.3. Układy nawrotne bez prądów wyrównawczych (z blokadą)	128
4.4.2.4. Układy nawrotne z przełączaniem mechanicznym	130
4.5. Napęd prądu stałego zasilany z tranzystorowego impulsowego przekształtnika napięcia	132
4.5.1. Układ z liniowym regulatorem prądu	132
4.5.2. Układ z histerezyowym regulatorem prądu	134
4.6. Dwustrefowa regulacja prędkości	135
5. UKŁADY NAPĘDOWE Z SILNIKIEM INDUKCYJNYM	139
5.1. Modele matematyczne maszyny indukcyjnej	139
5.1.1. Wprowadzenie	139
5.1.2. Wektory przestrzenne	139
5.1.3. Opis maszyny trójfazowej za pomocą wektorów przestrzennych	143
5.1.4. Transformacja napięć, prądów i strumieni	145
5.2. Układy napędowe z silnikiem indukcyjnym klatkowym	148
5.2.1. Możliwości regulacji prędkości obrotowej	148
5.2.2. Skalarne układy regulacji częstotliwościowej	153
5.2.2.1. Układ regulacji prędkości z pośrednim sterowaniem strumieniem – przez zmianę amplitudy napięcia stojana	153
5.2.2.2. Układ regulacji prędkości z pośrednim sterowaniem strumieniem – przez zmianę amplitudy prądu stojana	157
5.2.3. Wektorowe układy regulacji	159

5.3. Układy napędowe z silnikiem indukcyjnym pierścieniowym	177
5.3.1. Wstęp	177
5.3.2. Kaskada podsynchroniczna zaworowa silnika pierścieniowego	178
5.3.3. Napęd z silnikiem pierścieniowym zasilanym dwustronnie	182
5.4. Układ łagodnego rozruchu silnika indukcyjnego klatkowego	185
6. UKŁADY NAPIĘDOWE Z SILNIKIEM SYNCHRONICZNYM	189
6.1. Modele matematyczne silnika synchronicznego	189
6.1.1. Wprowadzenie	189
6.1.2. Modele silnika synchronicznego o magnesach trwałych	192
6.1.3. Modele silnika synchronicznego o wzбудzeniu elektromagnetycznym	197
6.2. Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych	200
6.2.1. Strategie sterowania	200
6.2.1.1. Wprowadzenie	200
6.2.1.2. Sterowanie z zachowaniem stałego kąta mocy	202
6.2.1.3. Sterowanie z zachowaniem maksymalnego współczynnika mocy	203
6.2.1.4. Sterowanie z zachowaniem stałego strumienia stojana	205
6.2.1.5. Sterowanie maksymalizujące stosunek momentu do amplitudy prądu stojana	206
6.2.1.6. Porównanie strategii sterowania	207
6.2.2. Struktury wektorowego sterowania PMSM	209
6.2.3. Metoda bezpośredniego sterowania momentem i strumieniem	211
6.2.4. Sterowanie w strefie osłabionego strumienia magnetycznego	213
6.3. Sterowanie silnikiem synchronicznym ze wzbudzeniem elektromagnetycznym	217
6.3.1. Zagadnienia optymalizacji sterowania	217
6.3.2. Układ z bezpośrednim przemiennikiem częstotliwości	222
6.3.3. Sterowanie silnikiem przekształtnikowym	226
6.3.3.1. Budowa i zasada działania	226
6.3.3.2. Struktura układu sterowania	231
6.3.3.3. Rozruch silnika przekształtnikowego	236
7. UKŁADY NAPIĘDOWE Z SILNIKAMI O KOMUTACJI ELEKTRONICZNEJ	239
7.1. Charakterystyka silników o komutacji elektronicznej	239
7.2. Układy z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego	239
7.2.1. Model matematyczny	239
7.2.2. Struktura i działanie układu sterowania	244
7.3. Napęd z silnikiem reluktancyjnym przełączalnym	250
7.3.1. Budowa i zasada działania silnika reluktancyjnego przełączalnego	250
7.3.2. Matematyczny opis silnika	251
7.3.3. Sterowanie silnikiem reluktancyjnym przełączalnym	254

8. STEROWANIE BEZCZUJNIKOWE	261
8.1. Charakterystyka metod sterowania bezczujnikowego	261
8.2. Odtwarzanie wektora strumienia magnetycznego i sterowanie bezczujnikowe silnikiem indukcyjnym	262
8.2.1. Symulator oparty na równaniach stojana zapisanych we współrzędnych α, β	262
8.2.2. Odtwarzanie wektora strumienia wirnika za pomocą obserwatora Luenbergera	264
8.3. Sterowanie bezczujnikowe silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych	267
8.3.1. Zmodyfikowany obserwator SEM silnika z podwójnym całkowaniem	267
8.3.2. Estymacja kąta położenia wirnika oparta na podejściu fizykalnym	271
8.4. Sterowanie bezczujnikowe silnikami bezszczotkowymi prądu stałego	273
8.5. Sterowanie bezczujnikowe silnikami reluktancyjnymi przełączalnymi	275
BIBLIOGRAFIA	279